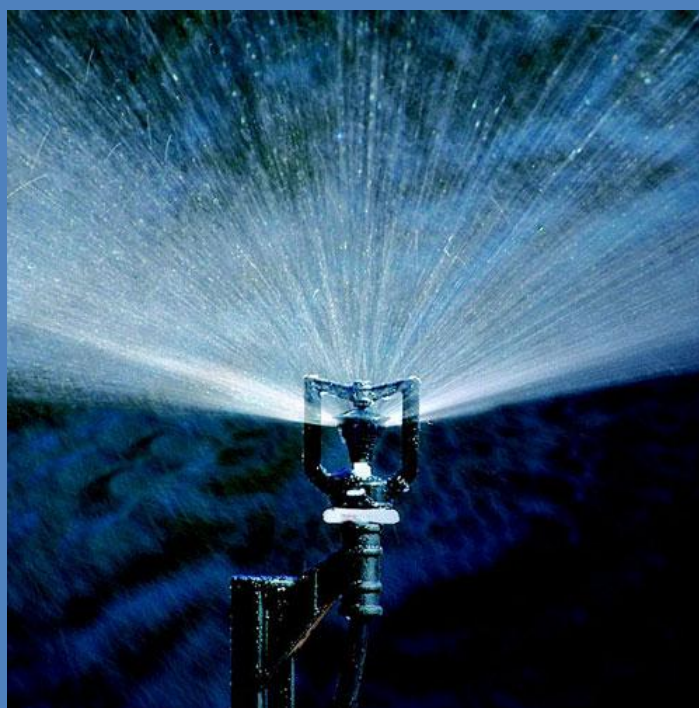


CARTILLA NÚMERO 30

ISBN 978-987-679-147-2

MANUAL DE DISEÑO Y MANEJO DE RIEGO PREZURIZADO PARA LA PROVINCIA
DE MISIONES



RAQUEL RYBAK¹

2011

INTA-ESTACIÓN AGROPECUARIA CERRO AZUL

(1) Ing. Agr. (Ph. D.) INTA EEA Cerro Azul, Misiones

PROGRAMA NACIONAL FRUTALES, PNFRU 52-052811

PROGRAMA NACIONAL FRUTALES

Proyecto PNFRU 52-052811

EEA INTA, CERRO AZUL

EEA, INTA Cerro Azul

Ruta Nacional 14 km 836

CC (6) 3313 Cerro azul, Misiones

biblioazul@cerro.inta.gov.ar

Editor

ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA CERRO AZUL

Agradecimientos

Dr. Eduardo Holzapfel H. porque me enseñó que el agua no tiene precio sino valor.

Dr. Gabriel Pícolo por haber revisado el material

Al Sr. Julio Osorio por su colaboración.

Junio 2011
200 ejemplares

Cuando los pozos se secan, nosotros sabemos el precio del agua

Benjamín Franklin

PREFACIO

El contexto internacional favorece a la Argentina que ha recuperado su potencialidad de producir alimentos a precios rentables. El crecimiento de la población mundial es de 2,1 % anual lo que se traduce en 240000 nacimientos por día (Bhur y Sinclair, 2006). Es decir, cada día nace una ciudad entera que hay que alimentar. La provincia de Misiones no es ajena a esta oportunidad única de producir más y mejores alimentos, en primer lugar para su propia población y con márgenes para satisfacer un modelo agro comercial. Para ello, los sectores de la producción agrícola deben esforzarse en adoptar tecnologías que aseguren rendimientos adecuados y rentabilidades sostenidas de sus cultivos, preservando los recursos naturales. Entre las tecnologías que aun son de escasa adopción en la provincia de Misiones están el riego y la nutrición adecuada de los cultivos. Con un clima subtropical húmedo se ha asumido que el riego es una tecnología prescindible en la región. La superficie con riego en todo el NEA argentino representa solamente el 5,2 % de la superficie irrigada total del país siendo la participación de Misiones insignificante en ese porcentaje. Esta realidad está cambiando y se estima que la adopción de riego y fertirriego seguirá incrementándose de aquí en adelante principalmente debido a la diversificación que ha tenido en las últimas décadas la agricultura misionera, que ha expandido sostenidamente actividades productivas como horticultura, fruticultura y viveros, todas ellas demandantes de riego en una parte o en toda su estación de crecimiento. En un futuro, aun cultivos industriales como la yerba mate (*Ilex paraguarienses*) y el té (*Camelia sinensis*), podrían ser beneficiados con riego si se tiene en cuenta los efectos del cambio climático global en nuestras latitudes, y que poco se ha estudiado sobre la respuesta al suministro oportuno de agua y fertilizantes en este tipo de cultivos.

La filosofía con que se ha escrito este manual no es preguntarle al cultivo hasta cuanto estrés hídrico puede soportar sin afectar su producción, sino cuanto puede incrementar su rendimiento si es bien provisto de agua todos los días en que la demanda no es cubierta por las precipitaciones durante su crecimiento. La provisión segura y suficiente de agua al cultivo depende de lo bien que haya sido realizado el diseño hidráulico y agronómico del proyecto de riego. Este manual presenta aspectos prácticos del diseño y manejo de riego presurizado. Se advierte, sin embargo, al estimado lector, que no es un texto de estudio ni puede tampoco sustituir la experiencia y el sentido común que debe ser parte de proyectos integrales de riego, y para cuya asistencia debería acudir a un técnico asesor.

Atentamente, el autor

TABLA DE CONTENIDOS

	<u>Pag.</u>
PREFACIO.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO	
1 PRINCIPIOS GENERALES RELACIONADOS AL RIEGO	¡Error! Marcador no definido.
2 RIEGO POR ASPERSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
3 RIEGO LOCALIZADO, GOTEO Y MICROASPERSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
FIGURAS	¡Error! Marcador no definido.
4 SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS PARA RIEGO	¡Error! Marcador no definido.
5 FERTIRRIGACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
6 COSTOS E INVERSIONES EN OBRAS DE RIEGO	¡Error! Marcador no definido.
7 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE RIEGO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO.....	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE REFERENCIAS.....	127

CAPÍTULO 1

PRINCIPIOS GENERALES RELACIONADOS CON EL RIEGO

El agua en el suelo

El agua en el suelo se encuentra en fase líquida y gaseosa. En fase líquida puede llenar el espacio poroso en suelos saturados o bien, este espacio puede contener agua y aire en suelos no saturados. Los poros del suelo se clasifican según su tamaño en:

Macroporos > 10 micrones

Microporos o capilares 0.1 a 10 micrones

De fuerza < 0.1 micrones.

Los macroporos no retienen agua, los capilares son los aprovechables para las plantas ya que retienen agua con una fuerza que la planta puede extraerla y los de fuerza retienen tan fuertemente el agua que las plantas no la pueden extraer.

Parámetros útiles del agua del suelo

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen poros}}{\text{Volumen de suelo}} \quad [\text{Eq. 1-1}]$$

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Masa suelo seco (g)}}{\text{Volumen sólidos (cm}^3\text{)}} \quad [\text{Eq. 1-2}]$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa de suelo seco (g)}}{\text{Volumen total del suelo (cm}^3\text{)}} \quad [\text{Eq. 1-3}]$$

La porosidad también puede expresarse como:

$$1 - \left(\frac{D_a}{D_r}\right) \quad [\text{Eq. 1-4}]$$

La compactación afecta la densidad aparente de los suelos y por lo tanto el agua disponible para las plantas.

$$\text{Saturación relativa} = \frac{\text{Volumen de poros llenos con agua}}{\text{Volumen total de poros}} \quad [\text{Eq. 1-5}]$$

Contenido de humedad en masa

Base peso seco

$$\% \text{ Humedad (BPS)} = \frac{\text{Masa agua (g)}}{\text{Masa suelo seco (g)}} * 100 = \frac{(SH-SS)}{SS} \quad [\text{Eq. 1-6}]$$

Donde

SH: suelo húmedo (g)

SS: suelo seco (g)

Ejemplo:

Suelo húmedo =150 g

Suelo seco =80 g

$$\% \text{ Humedad (BPS)} = \frac{(150 - 80)}{80} = 87,5 \% \text{ agua}$$

Base peso húmedo

$$\% \text{ Humedad (BPH)} = \frac{\text{Masa agua (g)}}{\text{Masa suelo húmedo (g)}} * 100 = \frac{(SH-SS)}{SH} \quad [\text{Eq. 1-7}]$$

Unidades de humedad de suelo

Expresar que el contenido de agua de suelo es 87,5% es lo mismo que decir 0,875 g agua/g suelo.

Contenido de humedad en volumen

$$\% \text{ Humedad (BPH)} = \frac{\text{Volumen de agua (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen suelo (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad [\text{Eq. 1-8}]$$

87,5 % en volumen o 0,875 cm³ agua/cm³ suelo

El contenido en volumen de agua de suelo es igual al contenido en masa multiplicado por la densidad aparente.

Más que conocer la humedad del suelo, en un proyecto de riego interesa conocer con qué energía un determinado volumen de agua está retenido en el suelo. La relación entre el contenido de humedad del suelo y su energía de retención se llama curva hídrica o de retención y es determinada en laboratorios de suelos. Los contenidos de humedad del suelo a una misma energía de retención son diferentes según la textura (Cuadro 1-1).

Cuadro 1-1: Agua aprovechable que puede almacenarse en distintas texturas de suelo

Textura	Agua almacenada cada 30 cm de profundidad		
	cm	l/m ²	m ³ /ha
Arena gruesa	1,2	12	120
Arena Fina	1,8	18	180
Franco arenosa	2,5	25	250
Franco limosa	3,5	35	350
Franco arcillosa	5,0	50	500
Arcilla	4,3	43	430

Desde el punto de vista del riego, interesa conocer el contenido de agua de un suelo en dos puntos de la curva de retención. El contenido de agua retenido por un suelo con una energía de 0,33 atmósferas o un 1/3 de bar y el retenido con una energía de 15 atmósferas o bares. Estos puntos de la curva son importantes porque definen dos constantes hídricas llamadas capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), siendo ambas de importancia práctica porque determinan la

humedad aprovechable de un suelo en términos de altura de agua según la Ecuación 1-9.

$$HA = \frac{(CC-PMP)}{100} \times \frac{dap}{dagua} \times Pe \quad [\text{Eq. 1-9}]$$

Donde:

HA: Altura de agua aprovechable o útil para el cultivo (mm). Puede definirse también como la capacidad de almacenaje de agua de un suelo.

CC: Contenido de humedad de un suelo, expresado en base a peso seco, retenido con una energía de retención igual a 1/3 de bar o 0,33 atmósferas. Indica el límite superior de agua útil para la planta retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad. En la práctica, se lo define como el contenido de agua de un suelo que ha sido saturado con agua y luego se lo ha dejado drenar libremente por 24 a 48 horas.

PMP: Contenido de agua del suelo, expresado en base a peso seco, retenido con una energía de retención igual a 15 atmósferas o bares. Indica el límite mínimo de agua útil para la planta, es decir el agua retenida con una energía mayor que ese límite no puede ser extraída por la planta.

dap: Densidad aparente del suelo (g/cm^3).

dagua: Densidad del agua pura que se asume igual a 1 g/cm^3 .

Pe: Profundidad representativa de la muestra analizada (mm).

Cuadro 1-2. Ejemplo de cálculo del agua aprovechable de un suelo hipotético

Profundidad	CC (%)	PMP (%)	dap (g/cm^3)	HA (cm)
0-30	37	19	0,98	5,292
30-50	42	24	1,2	4,320
50-90	33	21	1,1	5,280
Total				14,892 cm

El contenido total de agua útil del suelo del ejemplo es de 149 mm, es decir en los 90 cm de profundidad, la planta dispone de 149 litros de agua por metro cuadrado de terreno, lo que equivale a $1490 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Las plantas sin embargo, no obtienen agua uniformemente de toda la zona radicular. Generalmente se considera que las plantas cultivadas extraen 40 % del agua desde los primeros 20 cm de suelo, 30 % de los

siguientes 30 cm, 20 % de los siguientes 30 cm y solo 10 % a más de 80 cm de profundidad. Esto indica que el agua almacenada en el primer estrato de raíces se agotará más rápidamente que de los restantes estratos y en la práctica el contenido de humedad de ese primer estrato debería gobernar las decisiones de riego. Otra consideración importante es que la profundidad efectiva de las raíces (P_e) depende del estado fenológico del cultivo. Como regla general, se considera que un cultivo anual desarrolla el 90% de su profundidad radicular cuando alcanza el 50% de su desarrollo fenológico. En el caso de un frutal este potencial se alcanza cuando el árbol llega a la plenitud productiva. Por ejemplo un cultivo de maíz, en el suelo mencionado en el cuadro 2-1, al inicio de su crecimiento probablemente tendría una P_e igual a 30 cm. En ese caso, el agua disponible sería solamente 53 mm y no 149 como en todo el perfil. En el cuadro 1-3 se presentan algunos valores orientativos de profundidad radicular efectiva para especies cultivadas.

Métodos para determinar el contenido de agua del suelo

Para conocer el contenido de humedad de un suelo existen métodos directos e indirectos los cuales son usados según el fin de la determinación y el instrumental disponible.

Método directo

Gravimetría: El único método directo es el gravimétrico. Tiene la ventaja de ser preciso, simple y barato. No es adecuado para programar riego debido a su lentitud, ya que hay que esperar que la muestra de suelo pierda toda el agua. Consiste en extraer una muestra de suelo del sitio de interés, pesar la muestra, llevar la misma a estufa a 105°C por 24 horas y volver a pesar para establecer la diferencia. Es un método que se usa para calibrar los métodos indirectos. Para fines de riego, se extraen muestras cada 15 o 20 cm de profundidad hasta la profundidad teórica de exploración radicular, lo cual depende de la especie. Para especies con raíces de extracción someras basta con muestreos a 30 cm de profundidad, mientras que para cultivos con raíces más profundas se toman muestras hasta los 60 a 90 cm según la especie y el tipo de suelo.

Desde el punto de vista práctico, interesa conocer la humedad aprovechable es decir, la retenida entre CC y PMP. Estos valores pueden ser hallados con precisión en laboratorios de suelo que cuentan con ollas de presión en las que se satura la muestra y se la somete a las presiones de 1/3 (CC) y 15 bares (PMP), respectivamente e incluso a puntos intermedios entre estos para generar toda la curva de retención hídrica. Para un productor, frecuentemente es difícil acceder a estos laboratorios. Debido a ello, a continuación se describirá una aproximación para obtener estos valores que, si bien no tiene la precisión obtenida en un laboratorio sirve para estimar la humedad aprovechable de un suelo.

Capacidad de campo: Luego de una lluvia intensa debe seleccionarse un sector del área del que se quiera conocer la humedad aprovechable. Esta zona debe cubrirse con un plástico para evitar la evaporación. Veinticuatro a cuarentaiocho horas después se quita el plástico y se toman las muestras de diferentes profundidades colocándolas en recipientes herméticos de peso conocido los que deben ser tapados y sellados para que no pierdan humedad. Sin abrir los recipientes, se pesan las muestras y se registran los valores obtenidos anotando el peso del suelo húmedo (SH) más el peso del envase (E). Una vez hecho esto, deben colocarse las muestras de suelo en un horno o estufa a 105° por 24 horas o hasta peso constante. Luego deben pesarse las muestras de suelo seco y registrarse el valor como suelo seco (SS). Con estos valores se hallará el contenido de agua de la muestra a CC con la ecuación 1-10.

$$\phi_{CC} = \frac{(SH+E)-(SS+E)}{SS} \times 100 \quad [\text{Eq. 1-10}]$$

Donde:

SH: Peso del suelo húmedo (g)

SS: Peso del suelo seco (g)

E: Peso del envase (g)

Ejemplo:

Una muestra recién extraída y el envase pesaron 200 gramos. Una vez seca la muestra el peso es 150 gramos y el peso del envase es de 15 gramos. El contenido de

humedad aproximado a capacidad de campo ($\emptyset CC$) de esa muestra es igual a 23.33 %.

$$\emptyset CC = \frac{(200)-(165)}{150} \times 100 = 23.33 \%$$

Punto de Marchitez Permanente: Para conocer el contenido de agua retenido a PMP se usa una aproximación que consiste en multiplicar el $\emptyset CC$ por un factor igual a 0,55, en el ejemplo:

$$(\emptyset PMP) = 23.33 (\%) \times 0.55 = 12.83 \%$$

Donde ($\emptyset PMP$) es el contenido estimado de humedad de la muestra retenido con una energía aproximadamente equivalente al punto de marchitez permanente.

Métodos indirectos

Existen numerosos métodos indirectos para medir el contenido de humedad de un suelo. Algunos de ellos son más aptos para mediciones de laboratorio con fines de investigación como el psicrómetro de efecto Peltier o termocupla. Otros son adecuados para uso en el campo, especialmente con fines de programar riegos.

Tensiómetro: El tensiómetro es el instrumento más popular y frecuentemente es erróneamente empleado debido a falta de conocimiento de sus limitaciones. Mide el potencial matricial y por lo tanto la dirección del movimiento de agua en el suelo e indirectamente el contenido de humedad. Consiste de un tubo de vidrio con una tapa, un vacuómetro y una placa de cerámica porosa (permeable al agua e impermeable al aire). A medida que el suelo se seca sale agua del tubo hacia el suelo, este vacío es lo que registra el vacuómetro. La unidad de medida que se registra en el vacuómetro es el centibar y la escala varía entre 0 y 100 centibares. Sin embargo, a tensiones mayores de 80 centibares el aire penetra en el tubo de cerámica y el instrumento pierde precisión rápidamente. Por ello el punto de medición máximo de tensión con un tensiómetro son 80 centibares. En consecuencia, no es un instrumento adecuado para

suelos muy pesados y secos. Es apto en cambio para suelos relativamente húmedos o cultivos muy susceptibles a déficit hídrico. Por ejemplo, un suelo arenoso bien regado marcará cercano a 10 cb el día de riego, probablemente 20 cb el segundo día, entre 40 y 50 cb el tercero y más allá de esa lectura el suelo probablemente es regado nuevamente, por lo que sus lecturas están en rango de precisión. Tiene la ventaja de ser relativamente barato y fácil de usar.

Block de yeso: Utiliza la capacidad del agua de transmitir electricidad registrando la resistencia eléctrica de bloques de yeso cuando varía su contenido de humedad. El bloque de yeso consta en su interior de dos electrodos separados a una distancia de 0,5 cm. La humedad del bloque tiende a equilibrarse con el agua del suelo y a medida que la humedad aumenta, la resistencia entre los electrodos disminuye. Esta resistencia es medida por un puente eléctrico que marca un mayor contenido de humedad a medida que disminuye la resistencia. Da lecturas indirectas del contenido de agua aprovechable, es decir la retenida entre 0,33 y 15 atmósferas de presión. Mientras más húmedo el suelo, mayor será su conductividad y la aguja del instrumento se moverá hacia la derecha, al contrario cuánto más seco el suelo es mayor su resistencia y el amperímetro se volcará hacia la izquierda. Tiene la desventaja de no ser adecuado para suelos arenosos y son de poca durabilidad, su vida útil rara vez supera los tres o cuatro años.

Ejemplo:

Un suelo con un contenido de humedad de 20% (BPS) está en PMP

Un suelo con un contenido de humedad de 50% (BPS) está en CC

El block de yeso marca 50 %, esto quiere decir que el contenido de humedad de ese suelo es 35 % (50 % entre 20% y 50%).

Neutrómetro: Es un dispositivo que emite neutrones a gran velocidad desde una fuente radioactiva ubicada en el extremo de una sonda. Los neutrones al chocar con los hidrógenos del agua del suelo pierden velocidad y son leídos en un contador que los registra. El instrumento es un tubo de aluminio con capacidad de medir un radio de

± 25 cm. El aparato entrega una lectura de campo (Lc) y una lectura estándar (Lst). Con estos dos valores se obtiene R, valor que se calibra con un método gravimétrico para cada profundidad de suelo de interés. Tiene las ventajas de ser un método rápido, exacto y trabaja a varias profundidades. Las desventajas son que es caro, requiere calibración y es de difícil instalación en suelos pedregosos. En suelos muy ácidos como en Misiones, con mucha presencia de hierro las lecturas suelen ser erróneas. Suelos con altos contenidos de materia orgánica también afectan su calibración.

TDR: El TDR (del inglés Time domain reflectometry), mide el contenido volumétrico de agua del suelo basado en las propiedades dieléctricas del agua. Es uno de los más precisos, rápidos y exactos. Se lo usa con sondas de diferentes longitudes de cable y varillas para diferentes profundidades de suelo. Tiene la ventaja de registrar constantemente variaciones en el contenido de humedad de suelo, y por lo tanto es muy útil para programar los riegos. No es apto para suelos pedregosos o rocosos.

Cuadro 1-3. Profundidad radicular efectiva de especies cultivadas.

Especie	Profundidad efectiva cm
Cebolla	60
Ciruelos	180
Coliflor	60
Durazneros	180
Frutilla	60
Lechuga	60
Maíz	120
Manzanos	180
Morrones	60
Porotos	90
Repollo	60
Tomate	60
Te	160
Vid	180
Yerba mate	160
Zanahoria	90
Zapallo	120

¿Qué es regar?

Regar es aplicar agua en forma oportuna y uniforme en un perfil de suelo para reponer la evapotranspiración de los cultivos cuando las precipitaciones no son suficientes para ello, (el término evapotranspiración será analizado más adelante). A

modo de ejemplo, en el Gráfico 1 se presentan los valores promedio de 85 años de precipitaciones mensuales combinados con los de evapotranspiración de diseño (estimada con probabilidad de 90%), para la localidad de Cerro Azul (27° 39´S; 55° 26´ W), y para la serie climática (1936-2010). Según la figura, el mes más crítico desde el punto de vista del déficit es diciembre, cuando las lluvias no cubren la demanda. El ejemplo es para cultivos a cielo abierto. En invernáculos o cualquier tipo de estructura que cubra el cultivo, el riego siempre es necesario y no depende, o al menos no directamente, de las precipitaciones. Aunque el principal objetivo que se persigue al regar es satisfacer la demanda de la planta del agua que pierde por transpiración y evaporación del suelo el riego puede perseguir otros objetivos. Por ejemplo, la modificación del clima en ciertos ambientes (cooling), aumento de la humedad relativa o humidificación (foggers, Figura 2), protección de daño por heladas (aspersión o microaspersión, Figura 3). Otros objetivos pudieran ser el lavado de sales del perfil cultivable de suelo, la aplicación de fertilizantes solubles en agua (fertirriego). La aplicación de otras sustancias químicas con el agua de riego como fungicidas, herbicidas, nematicidas, alguicidas, ácidos. Independiente del objetivo, para que un proyecto de riego sea viable el beneficio siempre debe ser superior al costo.

Demanda de agua de los cultivos

Las plantas, como todo ser vivo, requieren agua para vivir. Además, transpirar es el único medio que les permite regular su temperatura interna. En días calurosos, la planta tiene que evaporar mucha agua para evitar un aumento desmedido de la temperatura. Si el suelo está húmedo, el agua pasa desde el suelo a la planta a través de las raíces y luego es conducida hacia las hojas donde se evapora a través de los estomas. Los estomas son pequeñas aberturas que posee la hoja para el intercambio de oxígeno, anhídrido carbónico y vapor de agua. Cuando el suelo tiene tan poca humedad que la planta ya no la puede extraer, la misma paulatinamente va cerrando los estomas y reduce la fotosíntesis y el crecimiento, hasta que se produzcan mejores condiciones ambientales. El primer proceso afectado por déficit hídrico es el alargamiento celular y por ende el crecimiento.

La demanda hídrica de un cultivo depende de su genotipo y de las condiciones climáticas. Respecto del clima especialmente importantes son la radiación solar, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa. La demanda depende además del cultivo, su estado de desarrollo, su tolerancia a estrés hídrico y el tipo de sistema radicular.

Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo por evaporación, y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO, 1977). La evapotranspiración es un proceso biofísico en el que interviene la planta, el suelo y el clima. La cantidad de agua que diariamente es evapotranspirada por un cultivo es la que debe ser repuesta periódicamente para mantener el potencial productivo del mismo. El agua evapotranspirada es repuesta mediante precipitaciones si éstas ocurren y son suficientes, o mediante riego si no llueve. Conviene aclarar que existen diferentes definiciones de evapotranspiración según sea el contexto de aplicación. A continuación describiremos brevemente las de uso práctico evapotranspiración potencial o de referencia (ET_p), evapotranspiración real (ET) y evapotranspiración de diseño (ET_a). La evapotranspiración potencial (ET_p) o evapotranspiración del cultivo de referencia, es la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo corto, verde, que cubre completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y nunca falto de agua, (FAO, 1977). La evapotranspiración del cultivo (ET) es la cantidad de agua que evapotranspira no un cultivo de referencia sino el cultivo de interés. En la práctica suele estimarse que ET es la ET_p multiplicada por un término llamado coeficiente de cultivo (K_c) el cual varía según la especie, el clima y el estado de desarrollo del cultivo. La ET si bien puede ser medida mediante diferentes clases de lisímetros estos solo se usan con fines de investigación; ET generalmente es estimada y no medida.

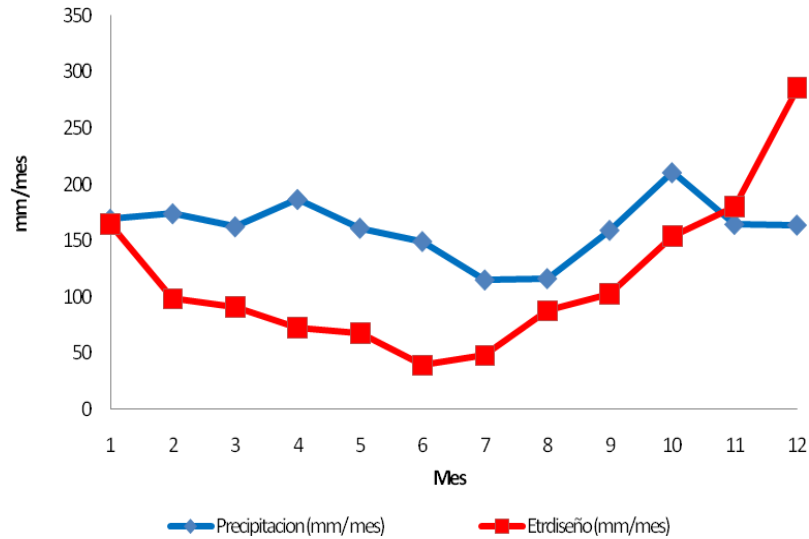


Figura 1. Precipitación mensual vs. Evapotranspiración mensual de diseño (estimada 90 % probabilidad) para obras de riego de arboles adultos de cítricos en la localidad de Cerro Azul, Misiones, serie climática 1936-2010. Datos climáticos Olinuk (2011).

Con fines de diseño de una red de riego se utiliza la evapotranspiración de diseño (ET_a) la cual estima ET desde los datos de evaporación de bandeja y valores de K_b y K_c . Donde K_b es un coeficiente de bandeja que varía entre 0,5 y 0,9. La evaporación de bandeja se expresa en mm/día, siendo usual en Misiones valores de 1 a 2 mm/día en invierno y de 4 a 6 mm/día en verano. Como una hectárea tiene una superficie de 10000 m^2 , una pérdida de 1 mm/día es equivalente $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día}$.

La tasa de riego expresada como lt/s/ha , $\text{m}^3/\text{ha/mes}$ o $\text{m}^3/\text{ha/temporada}$, es la cantidad de agua que se debe proporcionar al cultivo para abastecer el déficit que se presenta durante la estación de crecimiento en ausencia de lluvias. La tasa de riego se determina dividiendo ET por la eficiencia de aplicación del agua de riego, la cual depende del método de riego que se utilice.

El volumen de riego necesario para una estación de crecimiento es la tasa de riego multiplicada por la superficie a regar. Una regla en todo diseño de riego, es diseñar para la condición de demanda crítica. Es decir para la máxima demanda hídrica del cultivo que generalmente ocurre en los meses de verano. Determinar la máxima demanda con la mayor probabilidad posible depende de los años de datos con que cuente una serie climática. Lo usual es usar una distribución teórica de frecuencia, como la de Weibull y determinar mediante esta, la probabilidad de tener una

determinada demanda (evapotranspiración del cultivo en el mes más crítico). Cuánto más alta la probabilidad elegida más caro resultará el proyecto porque menor será el riesgo. Por eso en proyectos de riego algunos eligen trabajar con un 50% de probabilidad y otros con 85-90%, depende del grado de riesgo que el regador esté dispuesto a asumir. ¿Qué significa trabajar con una probabilidad de diseño de 85%?. Significa que al menos el 85 % del tiempo se estarán cubriendo los requerimientos de agua del cultivo.

Medición y estimación de ET

La medición de ET puede realizarse con un lisímetro de pesada donde diariamente se riega y por diferencias de peso se mide el agua evapotranspirada. Otro tipo de lisímetro es el de drenaje que obtiene ET mediante un completo balance de agua. Las mediciones lisimétricas si bien son precisas, no se realizan frecuentemente, excepto con fines de investigación para determinar ETp. ET, normalmente es estimada con modelos matemáticos o bien a partir de la estimación de ETp mediante la Ecuación 1-11.

$$ET = ETp \times Kc \quad [\text{Eq. 1-11}]$$

Donde:

ET: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETp: Evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial (mm/día)

Kc: es el coeficiente de cultivo

El Kc o coeficiente de cultivo es un factor que se usa para tener en cuenta el consumo de agua de un cultivo según su edad fisiológica y estado vegetativo diferenciándolo del cultivo de referencia. Cada especie tiene sus propios valores de Kc que son promedios que varían durante la estación de crecimiento de acuerdo al estado de desarrollo, el porcentaje de cobertura del suelo, el índice de área foliar, la altura del cultivo y el clima entre otros factores. En el Cuadro 1-4 se presentan los valores de Kc para las principales especies cultivadas en la provincia de Misiones. Estos valores son solamente una guía para aquellos proyectos en que no hayan datos localmente

desarrollados. Los valores de K_c también pueden ser consultados en el Volumen 24 de la Serie Riego y Drenaje de FAO, considerando las fechas de siembra y cosecha y el mes de máximo desarrollo.

Para calcular ET_p existen dos caminos, el más preciso es estimarla a partir de modelos matemáticos que tienen en cuenta los factores biofísicos del balance energético que determinan el fenómeno de la evapotranspiración. De esos modelos, dos son de mayor aceptación. La elección de uno u otro depende de la cantidad y calidad de datos que se disponga. Así el modelo de FAO-Penman Monteith (FAO; 24), es el más preciso por considerar ambos componentes del fenómeno, el balance energético y el factor aerodinámico. Sin embargo, también es el más complejo debido a que requiere datos meteorológicos que no están frecuentemente disponibles en las casillas meteorológicas. El segundo modelo, aunque menos preciso, es el de Priestley y Taylor y suele ser utilizado en lugar del de Penman Monteith por requerir menos variables medidas para su cálculo ya que prácticamente ignora en su cómputo el factor aerodinámico del fenómeno. Otros modelos se basan en balance de agua pero son menos precisos.

Otra forma de obtener ET_p , es calcularla a partir de datos de la evaporación de bandeja (tanque evaporímetro tipo A), multiplicado por el valor K_b (coeficiente de bandeja). El K_b o coeficiente de bandeja depende de muchos factores, es un número adimensional que fluctúa entre 0.6 y 0.9 y con fines prácticos suele asumirse igual a 0.8.

$$ET_p = EB \times K_b \quad [\text{Eq. 1-12}]$$

Donde:

EB: Evaporación de bandeja mm /día

K_b : Coeficiente de bandeja

Finalmente a partir de ambas ecuaciones la evapotranspiración de diseño (ET_a) es calculada dividiendo el valor de ET por la eficiencia de riego como factor.

$$ETa = \frac{ETp \times Kc}{EF} \quad [\text{Eq. 1-13}]$$

ETa: Evapotranspiración del cultivo de diseño estimada a partir de datos medidos de evaporación de bandeja (mm/día)

ETp: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Kc: Coeficiente de cultivo (factor)

EF: Eficiencia del riego como factor ($0 < EF < 1$)

Cuadro 1-4. Valores de Kc para algunos cultivos en la provincia de Misiones

Cultivo	Porcentaje de estación de crecimiento					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
	Establecimiento inicio	Desarrollo	Fructificación	Inicio Madurez	Madurez Fisiológica	
Tomate	0,3- 0,4	0,6- 0,8	1,10-1,25	0,8-1	0,6-0,8	
Pimiento	0,3- 0,4	0,6- 0,7	0,95-1,10	0,95-1,10	0,8-0,9	
Hortalizas	0,3- 0,4	0,6- 0,7	0,9- 1,10	0,9- 1,10	0,8- 0,9	
Zapallo	0,3- 0,5	0,6- 0,75	0,95- 1	0,8- 0,95	0,6- 0,7	
Sandías	0,3- 0,5	0,3- 0,4	0,3- 0,4	0,3- 0,4	0,3- 0,4	
Melón	0,3- 0,5	0,6- 0,75	0,95- 1	0,8- 0,95	0,6- 0,7	
Cebolla	0,3- 0,5	0,3- 0,4	0,3- 0,4	0,3- 0,4	0,3- 0,4	
Tabaco	0,3- 0,4	0,7- 0,9	1- 1,10	0,8- 0,9	0,6- 0,7	
Maíz	0,3- 0,5	0,7- 0,85	1-1,2	0,3- 0,4	0,3- 0,4	
Yerba mate	0,6- 0,7	0,6- 0,7	0,8- 0,9	0,8- 0,9	0,6- 0,7	
Te	0,6- 0,7	0,6- 0,7	0,8- 0,9	0,8- 0,9	0,6- 0,7	
Vid	0,3- 0,5	0,6- 0,8	0,3- 0,4	0,3- 0,4	0,3- 0,4	
Cítricos	0,6- 0,7	0,6- 0,7	0,8- 0,9	0,8- 0,9	0,6- 0,7	
Palto	0,6- 0,7	0,6- 0,7	0,8- 0,9	0,8- 0,9	0,6- 0,7	
Frutales	promedio 1					
Durazneros	0,4-0,5	0,75-0,85	1,10-1,20	1,10-1,20	0,7-0,9	
Frutillas	0,2-0,4*		0,5	0,6	0,4	

Fuente Stewart y Nielsen, 1990, FAO 24.

Cuando utilizamos métodos para conocer el contenido de humedad del suelo como los descritos en párrafos anteriores, estamos intentando conocer cuándo regar o, en otras palabras, la frecuencia de riego. Para contestar esta pregunta en primer lugar debemos establecer el criterio de riego (CR). CR es un parámetro que nos dice cuanta del agua aprovechable de un suelo estamos dispuestos a agotar hasta volver a regar. Un CR frecuentemente utilizado es 0,5. Es decir volver a regar cuando se agota el 50% de la cantidad de agua que el suelo puede almacenar. En el ejemplo de determinación

de agua aprovechable (Cuadro 1-2), el suelo podía almacenar en una profundidad de 90 cm una altura de agua igual a 143 mm. Si se aplica un CR igual a 0,5 debería volverse a regar cuando el suelo tenga 70 mm de agua aprovechable. Expresado en una ecuación

$$FR = \frac{HA \times CR}{ETa} \quad [\text{Eq. 1-14}]$$

Donde:

FR: Frecuencia de riego (días)

CR: Criterio de riego (factor)

ETa: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

En el ejemplo del Cuadro 1-2, el suelo tenía una HA de 149 mm en los 90 cm de profundidad. Considerando una evapotranspiración de diseño de 6 mm día y un cultivo en pleno desarrollo que explore hasta 90 cm de profundidad entonces:

$$FR = \frac{149\text{mm} \times 0.5}{6\text{mm/día}} \cong 12.5 \text{ días}$$

Siguiendo con el ejemplo, si el cultivo explorara menor profundidad, 50 cm de suelo, por ejemplo, entonces la HA sería 96 mm y no 149 mm y la frecuencia de riego debería ser aumentada a 8 días. Un aspecto a tener en cuenta es cuando regamos con sistemas localizados de alta frecuencia. Donde alta frecuencia generalmente significa diariamente, ya que lo que se repone es solamente el volumen que la planta evapotranspira ese día más un plus para tener en cuenta que la eficiencia de riego no es 100%. En ese caso la frecuencia es diaria porque CR es 1. Aun así es importante conocer la relación entre la humedad aprovechable y la frecuencia y criterio de riego según lo explicado. En primer lugar, para cuando no regamos con sistemas localizados de alta frecuencia o bien para cuando tenemos el aporte de precipitaciones y queremos saber después de una lluvia cuantos días debemos esperar para comenzar a regar nuevamente. Otra opción para responder a la pregunta cuando regar, es en lugar de

considerar el contenido de agua del suelo, basarse en indicadores del estado hídrico de la planta. Entre los métodos que tienen en cuenta el cultivo para definir cuando regar los que se emplean frecuentemente son instrumentos que determinan el estado hídrico de la planta midiendo alguna variable indirecta que correlacione bien. Por ejemplo, la temperatura de la hoja (termómetro infrarrojo), el potencial xilema (bomba Scholander), la resistencia estomática a la difusión de vapor de agua (porómetro) entre otros. Usar estos indicadores requiere entrenamiento y experiencia en interpretar los parámetros por lo que la principal limitante que tienen estos métodos es la necesidad de personal calificado.

Métodos de riego

La pregunta ¿cómo regar?, tiene relación con el método a emplear. Existen dos grupos de métodos de riego, pudiendo ambos ser tecnificados o no. El primero es el riego gravitacional, mediante el cual el agua circula libremente por gravedad. En Argentina, 70% de la superficie irrigada emplea métodos gravitacionales. El segundo grupo abarca los métodos presurizados en los que el agua es distribuida a través de tuberías a presión entregándola a la planta mediante emisores. En nuestro país, 20% de la superficie irrigada es regada por aspersion y aproximadamente un 10% mediante riego localizado (CNA, 2002). En el Cuadro 1-5, son resumidos los métodos de riego más empleados en el mundo. La elección de un método de riego u otro depende de muchos factores, el clima determina el balance energético y por lo tanto afecta la demanda hídrica y la oferta de agua. El cultivo, ya que cada cultivo tiene métodos que son más o menos adecuados según sean extensivos o intensivos, más o menos susceptibles a enfermedades, de mayor o menor tolerancia a estrés, estén en hileras o no entre otros muchos factores. La elección también dependerá de la superficie a regar, el tipo y la topografía del suelo, los recursos humanos y el análisis financiero que determinará si un cultivo es o no rentable para pagar la inversión que demande instalar un sistema de riego y sumar además beneficio económico que no se tendría en caso de no regar. Todos estos factores hacen que las condiciones de riego sean sitio específicas. Por ejemplo, el riego superficial en Misiones no es una opción recomendable dado que las altas pendientes harían económicamente inviable la

sistematización de suelos necesaria para evitar la erosión hídrica. Los suelos ácidos y con excesos de humedad favorecerían además la presencia de pudriciones radiculares, son sistemas de muy baja eficiencia entre otras razones.

Cuadro 1-5. Resumen principales métodos de riego empleados en la agricultura.

Sistema	Tipo	Eficiencia	Cultivo
Gravitacional			
	Tendido	30 %	Cualquiera
	Surcos	45 %	Hilerados: maíz, papa, frutales
	Bordes	50 %	ídem
	Regueras en contorno	60 %	ídem
	Platabandas	40 %	ídem
Presurizados			
Aspersión			
Estacionarios	Aspersores en Tubería fija Tubería móvil	80%	Hortalizas, ornamentales, parques y jardines, viveros.
Desplazamiento	Cañón regador Pivote central Pivote lateral Carrete enrollador	75 % 80% 80% 75 %	Frutales, praderas Cultivos extensivos Cultivos extensivos Cultivos extensivos
Microriego o riego localizado			
Goteo	Goteros integrados Goteros compensados Goteros de botón Cintas de riego Cintas perforadas	90 % 95 % 90 % 85 % 90 %	Frutales Hortalizas Cultivos de valor
Microaspersión		85 %	
Microyjet		85 %	

Respecto de los sistemas presurizados en cultivos que cubren toda la superficie como praderas y cereales, son más aptos los sistemas de aspersión siempre y cuando no haya limitantes como vientos excesivos, cultivos muy susceptibles a enfermedades, o suelos de baja conductividad hidráulica. En superficies pequeñas son preferibles sistemas de aspersión fijos o semimóviles, en superficies intermedias, de no más de 20 hectáreas, un carrete puede ser una buena opción. En grandes superficies ha de pensarse en pivotes. En la provincia de Misiones, los sistemas móviles desplazables

solo serían adecuados si se el terreno a regar es plano lo cual es poco probable. El pivote además de la altimetría, estará limitado en la provincia porque tiene un alto costo de inversión que lo hace rentable solo en cultivos extensivos y de alta renta. La elección de sistemas localizados generalmente es mejor alternativa en el caso de cultivos en hileras como frutales o cultivos en invernáculo, dónde se requiere un preciso control del volumen aplicado y se aprovecha el sistema para la aplicación de nutrientes. Qué tipo de sistema localizado se elige, dependerá del análisis económico, del sistema radicular de la especie a regar, de la posibilidad de buen filtraje, de la calidad de agua entre otros factores.

Unidades

En proyectos de diseño de redes de riego, es importante mantener una consistencia de unidades que faciliten los cálculos de diseño. Debido a ello, a continuación se presenta un cuadro de equivalencias de unidades comúnmente empleadas en riego.

Tabla de equivalencias.

Caudal	1 GPM	3.785 litros/minuto
	1 litro/segundo	60 litros/minuto
	1 metro cúbico/hora	16.667 litros/minuto
Presión	1 bar	10.197 m.c.a.
	1 PSI	0.703 m. c. a.
	1 Atmósfera	10.332 m. c. a.
	1 kilo Pascal	0.102 m. c. a
	1 kg/cm ²	10.332 m. c. a
Potencia	1 kw	1.34102 HP
	1 HP	0. 7457 kw

Peso	1 libra	0.4536 kg
	1 kg	2.2046 libras

Donde:

m.c.a: Metro columna de agua

GPM: Galones por minuto

PSI: Libra por pulgada cuadrada

Kw: Kilo watt

HP: Caballo de fuerza

Kg: Kilogramo

CAPÍTULO 2

RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión consiste en la aplicación de agua al suelo en forma de lluvia emitida por aspersores que dan diferentes diámetros de mojado. Dicho diámetro mojado depende de la descarga y la presión de trabajo del aspersor utilizado, el espaciamiento de los mismos y la textura del suelo. Es un sistema adecuado para cultivos de alta densidad como praderas y cereales y para cultivos hortícolas. Si están bien diseñados, alcanza eficiencias entre 75 y 85%. Sin embargo, su limitante más importante suele ser el alto costo inicial, ya que son equipos que trabajan a altas presiones y caudales, requiriendo gastos importantes de bombeo y tubería.

Si bien el riego por aspersión es utilizado en una amplia gama de tipos de suelo y relieve, es más adecuado para suelos con alta velocidad de infiltración y pendientes suaves. De lo contrario se corre el riesgo de anegamiento y/o escorrentía, sobre todo cuando el máximo caudal admisible y/o los tiempos de riego no han sido adecuadamente calculados. En zonas de temperaturas muy elevadas con alta tasa evaporativa es desaconsejable usar aspersión, igual en zonas con vientos excesivos superiores a 2,5 m/seg debido a problemas de rápida evaporación y deriva.

Componentes del sistema

Un sistema de riego por aspersión consta de: Unidad de bombeo, tuberías de conducción y distribución, aspersores, equipos complementarios y accesorios.

Unidad de Bombeo

La unidad de bombeo aspira el agua desde la fuente y la impulsa a la red de tuberías. Los distintos tipos de bombas para riego así como los criterios de elección y el dimensionamiento de las mismas son descritos en el Capítulo 4 de este manual.

Tuberías de distribución

Las tuberías de un sistema de riego por aspersión permiten conducir el agua a presión desde la unidad de bombeo hasta los aspersores. Según su función y

disposición en terreno, las tuberías para riego se clasifican en principal, secundaria, y laterales. En grandes redes, a veces es necesario colocar también tuberías terciarias con el fin de sectorizar el riego.

Principal: La tubería principal o matriz, conduce el agua desde la unidad de bombeo hasta los puntos de distribución, al llevar todo el caudal de diseño son de mayor diámetro que las secundarias y laterales. Las tuberías principales para riego por aspersión pueden ser: metálicas de acero galvanizado o aluminio, plásticas de polietileno (PE) o cloruro de polivinilo (PVC), o de concreto (material poco usado en la actualidad). En otros sistemas de riego como goteo y micro aspersión, las tuberías generalmente son plásticas (PE y/o PVC). Para diámetros de 50 mm o superiores, el PVC es más barato que el polietileno. No así para los diámetros inferiores a 50 mm, en que este último es el más económico. Hay dos tipos de polietileno, el de baja y el de alta densidad. El de baja densidad es el de uso más común. Las tuberías de PVC se clasifican según diámetro y clase, la clase de una tubería tiene relación con la presión que es capaz de soportar sin dañarse. Las clases de PVC empleadas para riego son: Clase 4 (4 kg/cm² o 40 m.c.a.), Clase 6 (6 kg/cm² o 60 m.c.a.) y Clase 10 (10 kg/cm² o 100 m.c.a.).

Secundarias: conducen el agua desde la tubería principal hasta los puntos en que se derivan las tuberías laterales. Estas tuberías se instalan fijas o móviles, dependiendo del tipo de sistema de riego por aspersión a utilizar. Las tuberías secundarias móviles son de PVC o aluminio, utilizándose también tuberías de acero galvanizado.

Laterales: son de aluminio, de acero galvanizado o de PVC y llevan insertos los aspersores. Estas tuberías pueden instalarse fijas o móviles, frecuentemente son móviles con el fin de disminuir la inversión.

Aspersores

Los aspersores (Figura 1), son dispositivos provistos de un mecanismo que les confieren movimiento. Estos dispositivos funcionan a presión y lanzan chorros de agua al aire que precipitan sobre el terreno en forma de lluvia. Generalmente, los aspersores

se colocan sobre tubos elevadores (Figura. 4) conectados con la tubería lateral, de modo que permiten alejar el aspersor de su conexión a distintas alturas. En sistemas móviles tiene incorporado acoples que permiten desacoplar el aspersor de su soporte, y de esta forma facilitar el traslado de los porta-aspersores.

Existen dos tipos de aspersores, estacionarios y rotatorios. Para riego agrícola los de uso generalizado son giratorios. El giro puede ser total o puede regularse para cubrir un sector circular. La rotación es producida por el impacto de un martillo desplazado por el chorro que golpea en un soporte. En el mercado existe una inmensa oferta de modelos de aspersores en cuanto a: material de fabricación (metálicos o plásticos), número de boquillas (1 o 2), presión de trabajo (desde 10 a 70 m.c.a), caudal o precipitación (varios), tipo de soporte (tubos o estacas), radio de alcance del chorro (3 a 150 m). Las empresas proveedoras de equipos e insumos de riego publican catálogos con especificaciones de diferentes marcas y tipos de aspersores, donde se detallan las condiciones de trabajo de los mismos (Cuadro 2.1). Ello permite elegir el aspersor más adecuado a las condiciones de suelo y al diseño hidráulico y agronómico del riego. Las distancias entre aspersores y laterales dependen del tipo de aspersor y presión de operación, por lo que son variables de diseño calculadas una vez elegido el aspersor. Existen muchas clasificaciones de aspersores, una forma práctica de clasificarlos es según su presión de trabajo en:

Aspersores de baja presión: Si bien trabajan a presiones entre 10 y 20 metros de columna de agua, (m.c.a), las presiones menores a 20 m.c.a suelen ser ineficientes. El radio de alcance de estos aspersores no es muy grande por lo que normalmente son usados para riego de árboles frutales o en cultivos que requieran baja presión (microaspersión).

Aspersores de presión media: Trabajan a presiones entre 20 y 40 m.c.a. Producen un círculo mojado cuyo diámetro varía entre 20 y 40 m.

Aspersores de alta presión: Trabajan a presiones entre 40 y 70 m.c.a. Son grandes aspersores especialmente adaptados para cultivos de elevado tamaño como maíz, soja, trigo. El diámetro del círculo mojado varía entre 60 y 150 m.

Otra forma de clasificar a los aspersores es según su caudal de descarga (Cuadro 2-2).

Equipos complementarios y accesorios

Los equipos complementarios más importantes de un sistema de riego por aspersión son filtros, depósitos e inyectores de fertilizantes, y en sistemas móviles las unidades de desplazamiento. Los equipos de fertilización son de distintos tipos de acuerdo a su funcionamiento y son descriptos en el capítulo 5.

En el caso de accesorios, estos son muchos y de muy variado uso. Por ejemplo, tubería de aspiración del agua, llaves de paso, válvulas controladoras y/o reguladoras de presión, válvulas solenoides, tableros, tapones etc. Se consideran también accesorios a una serie de elementos de acoplamiento y ajuste que recibe el nombre genérico fittings (del inglés ajustar). Por ejemplo curvas, uniones en T, reducciones, tapones entre muchos otros.

Cuadro 2.1. Detalles técnicos aspersor circular marca Perrot ZE 30 W (una tobera)

Abertura. tobera (mm)	Presión (m.c.a)	Alcance (m)	Consumo $m^3 h^{-1}$	Distancia aspersores (m)		Precipitación ($mm h^{-1}$)	
				cuadrada	triangular	cuadrada	triangular
5.5	25	15.25	1.82	18/18	18/24	5.61	4.21
	30	16.0	1.99	18/18	24/24	6.14	3.45
	35	16.5	2.14	18/24	24/24	4.97	3.71
	40	17.0	2.29	18/24	24/24	5.30	3.97
6.6	25	16.25	2.16	18/24	24/24	5.00	3.75
	30	16.5	2.37	18/24	24/24	5.48	4.11
	35	17.25	2.56	18/24	24/24	5.92	4.44
	40	17.75	2.74	18/24	24/24	6.34	4.75
7.6	25	17.0	2.96	18/18	24/24	9.1	5.1
	30	17.5	3.22	18/24	24/24	7.5	5.6
	35	18.0	3.48	18/24	24/24	8.1	6.0
	40	18.5	3.73	24/24	24/30	6.5	5.2

Cuadro 2.2. Clasificación de los aspersores según su descarga

Tipo de Aspersor	Descarga (l/hora)	Presión Necesaria (m.c.a.)
Mini	80 a menos de 600	15 a 25
Pequeños	600 a menos 2000	20 a 30
Medianos	2000 a menos 6000	30 a 40
Grandes	6.000 a menos 25000	45 a 55
Gigantes	25000 y mayores	60 y mayores

Tipos de sistemas de aspersión

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser móviles, semifijos y fijos (Cuadro 2-3) y Figuras 7 a 12.

Sistema Móvil

Los sistemas móviles de riego por aspersión tienen la desventaja de requerir mucha mano de obra por sus desplazamientos, pero la ventaja de estos diseños es que reducen el costo de las tuberías que inicialmente es alto. Por su requerimiento de mano de obra, estos sistemas no son adecuados para cultivos que deben regarse muy frecuentemente (diariamente o cada dos o tres días). Se utilizan en cambio para cultivos que necesitan riego ocasionalmente, y para aplicaciones especiales como en el control de heladas. En sistemas móviles, todos los elementos que componen la red de riego son móviles. La única salvedad es la unidad de bombeo que puede ser fija o móvil. El motor de la bomba es generalmente naftero o tipo diesel. Desde la unidad de bombeo se conectan las tuberías matrices o principales que por lo general son metálicas (aluminio o acero galvanizado), utilizándose también tuberías plásticas. Las longitudes de tuberías son generalmente de 6 y 9 m. El diámetro de estas tuberías está normalizado en función de su diámetro exterior, que va de 1 1/4 " hasta 6" o mayores. La unión de los tubos puede ser de cierre hidráulico, en que el hermetismo se consigue a través de un anillo de goma, o bien, con un tipo de cierre denominado mecánico, donde las uniones se aseguran con una palanca. Las tuberías secundarias y laterales son móviles y se derivan desde la tubería principal. Las tuberías móviles de distribución se acoplan por tramos de 6, 9 ó 12 m de largo. Cada tramo se une por medio de un sistema especial de acoplamiento rápido. El ángulo de acoplamiento es adaptable, lo que permite acomodar la tubería a las irregularidades del terreno. Normalmente se

utilizan tuberías plásticas o de aluminio por su reducido peso. Si el material de los tubos principales es acero galvanizado, en los secundarios y laterales se emplea también este material.

Sistema Semifijo

El sistema semifijo (Figura 7), lleva los mismos elementos que un sistema móvil, y actualmente en muchas regiones del mundo, incluido nuestro país, es el más utilizado por ser el que presenta mayores ventajas económicas. Además, es adaptable a diferentes superficies de terreno desde explotaciones muy pequeñas hasta grandes extensiones a regar. La unidad de bombeo es una instalación fija en el terreno, y es ubicada en el lugar más económico según la distancia a la fuente de agua y la pendiente del terreno. Respecto de las tuberías, la principal y secundarias son fijas, conectándose las secundarias con la tubería principal mediante válvulas hidrantes. Las tuberías laterales son las únicas móviles del sistema (de allí semifijo). Al ser portátiles se requiere que sean livianas por lo que normalmente son de aluminio o acero galvanizado extra liviano.

Sistema Fijo

La ventaja de los sistemas fijos es que requieren poca mano de obra, a diferencia de los sistemas anteriores. Una sola persona puede manejar el riego de grandes superficies (varias decenas de hectáreas). Sin embargo, requieren una alta inversión inicial comparada con sistemas portátiles. En los sistemas fijos todos sus componentes son fijos (Figuras 5 y 6). Los criterios para ubicar la unidad de bombeo y tuberías son los mismos que direccionan un sistema semifijo es decir pendiente y distancia de la fuente de agua. Las tuberías principales de un sistema fijo de riego por aspersión se colocan enterradas. Pueden ser plásticas (PE o PVC), o metálicas (acero galvanizado). Las tuberías secundarias y laterales, también se instalan enterradas y son de los mismos materiales que las principales pero de menor diámetro y clase.

Sistemas auto desplazables

Otros sistemas de riego por aspersión, que son variaciones del sistema móvil, son aquellos en que sus tuberías laterales están dispuestas sobre unidades que se desplazan a través de ruedas por el terreno a regar (Figuras 8 a 10). Estos sistemas son especialmente adecuados para sectores rectangulares o cuadrados del terreno. Normalmente se emplean en grandes superficies y algunos requieren altas presiones de trabajo por lo que es poco probable su uso en Misiones, donde además, pendientes muy pronunciadas dificultarían su manejo. Existen numerosos sistemas auto desplazables como ser:

a-Aspersión con lateral móvil y avance frontal: Este método es apto para cultivos hortícolas y empastadas. Está compuesto por tuberías de aluminio de 4" de diámetro y longitudes hasta de 400 m. El lateral gira funcionando como eje de un grupo de ruedas grandes, accionadas por un motor. Al finalizar el riego de un sector, se desconecta el lateral de la válvula, se acciona el motor y se hace avanzar el lateral hasta su próxima posición.

b-Aspersión con lateral móvil y giro o Pivote Central: Es un sistema mecanizado, compuesto por un lateral móvil de cientos de metros de largo, transportado sobre un sistema de ruedas. A lo largo del lateral se ubican aspersores que emiten chorros de agua, mojando de esta manera una gran superficie circular en el sentido horario, a un ritmo que puede ser determinado, mediante motores de distinto tipo que producen el movimiento. Son utilizados en grandes superficies para regar cultivos como maíz, trigo, soja.

c-Aspersión móvil autopropulsado de manguera rígida o cañón regador: Consiste en un carro que lleva un tambor en el cual va enrollada una manguera de polietileno. La estructura del carro es metálica y en ella se adapta el aspersor más adecuado para las condiciones del cultivo a regar. La forma de operación de este equipo de riego es dejando el tambor en una posición en la cual se conecta la manguera al suministro principal de agua y se hace avanzar el carro con el aspersor a lo largo del sector de riego a la posición más alejada. En seguida, comienza el riego y el tambor empieza a girar enrollando la manguera a velocidad variable de tal forma que la velocidad del aspersor sea constante, asegurando así uniformidad de aplicación del agua de riego. Terminado el riego del sector se traslada todo el equipo hasta la

siguiente posición. Existen autopropulsados de manguera rígida con capacidades que van desde los 15 m³/h hasta 150 m³/h (CNR, 1997).

Cuadro 2-3. Tipos de sistemas de riego por aspersión

Tipo	Posición terreno	Variantes
Estacionarios	Móviles	Tubería principal, secundaria y laterales móviles
	Semifijos	Tubería principal móvil Tubería principal fija
	Fijos	Todo es fijo
Desplazamiento	Laterales desplazables	Avance Frontal Pivote central Ala regadora sobre carro
	Aspersor gigante	Carrete o cañón regador Tambor autoenrollable

Diseño de una red de riego por aspersión

Información básica

Antes de realizar el diseño agronómico e hidráulico de una red de riego por aspersión es necesario contar con información básica del proyecto.

Terreno: Deben tenerse en cuenta aspectos como la superficie, forma, pendiente, cotas máximas y mínimas y si las hubiere curvas de nivel. Esto es esencial para distribuir las tuberías en forma conveniente al menor costo y con la máxima eficiencia. Otra información necesaria es la caracterización físico-hídrica del suelo que determina su capacidad de retención de agua. En ese sentido, para riego por aspersión además de conocer la humedad aprovechable, es imprescindible conocer las propiedades de infiltración del suelo (infiltración básica e infiltración acumulada). La

velocidad de aplicación de los aspersores no puede ser mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo, considerando también la pendiente del terreno, para evitar las pérdidas por escurrimiento superficial y/o anegamiento.

Agua: Es necesario conocer la disponibilidad total del recurso hídrico a través de la temporada de riego así como su calidad. Por otra parte, la localización de la fuente de agua determina la ubicación de la unidad de bombeo, y la longitud y distribución más adecuada de la tubería principal. De acuerdo a las cotas establecidas en el levantamiento topográfico, se definirá la ubicación de la toma en la fuente. Siempre que sea posible, la fuente de agua debería elegirse en el lugar que sea más económico para la red de tuberías.

Clima: En riego por aspersión, el factor climático de mayor relevancia es el viento, debiendo considerarse su velocidad y dirección. Para un riego eficiente la velocidad del viento debe ser menor a 2,5 m/seg. Otros factores climáticos asociados a la eficiencia del riego por aspersión son las altas temperaturas y la baja humedad relativa, los cuales aumentan las pérdidas por evaporación.

Fuente de energía: A diferencia del riego localizado, las presiones de trabajo en sistemas por aspersión rara vez permiten obtener la altura de carga requerida para poder regar solamente aprovechando desniveles favorables del terreno. Aunque hay excepciones, lo usual es que se necesite una unidad de bombeo, por lo que debe conocerse el tipo de energía disponible (combustibles o red eléctrica), así como sus costos.

Diseño agronómico de una red de riego por aspersión

El diseño agronómico de una red de riego, cualquiera sea el sistema, consiste en determinar la demanda de agua del cultivo, la frecuencia con que deberá ser regado el mismo y el espaciamiento entre emisores para lograr un cierto diámetro de humedecimiento. Para determinar la demanda de agua de un cultivo, es necesario conocer la cantidad de agua que utiliza para su crecimiento según su estado de desarrollo, más el agua evaporada desde el área de suelo ocupada por la planta. Esta demanda se expresa normalmente en mm/día. Para fines de riego la demanda es equivalente a la evapotranspiración de diseño ET, descrita en el Capítulo 1.

$$ET = (K_c \times ETP) \text{ (mm/día)} \quad [\text{Eq. 2-1}]$$

Donde:

K_c: Coeficiente del cultivo

ET: Evapotranspiración de diseño (mm/día)

El diseño de un sistema de riego por aspersión debe evaluar y o calcular los siguientes componentes principales: aspersores, red de tuberías y bomba.

Aspersores

Para determinar las características técnicas del aspersor y la cantidad de aspersores a utilizar, se deben conocer previamente los siguientes antecedentes: necesidades de riego del cultivo, máximo caudal admisible de aspersión, disposición de los aspersores y tiempo de riego diario.

A-Necesidades de riego del cultivo

El tipo de cultivo a regar determina junto con las condiciones de clima locales, las necesidades de agua por unidad de superficie o por planta mediante la evapotranspiración ET, la cual se expresa en mm/día o cm/día. En aspersión, las características físicas e hídricas del tipo del suelo a regar permiten determinar las necesidades de riego netas del cultivo, mediante la humedad aprovechable.

$$Ha = \frac{CC - PMP}{100} \cdot da \cdot Pe \cdot CR \text{ (cm)} \quad [\text{Eq. 2-2}]$$

Donde:

Ha: Lámina de agua neta a reponer en cada riego (cm)

CC: Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

PMP: Contenido de humedad en punto de marchitez permanente (%)

dap: Densidad aparente del suelo (gr/cm³)

Pe: Profundidad efectiva de las raíces (cm)

CR: Criterio de riego (variable de 0 a 1)

La profundidad efectiva de las raíces del cultivo a regar determina el criterio de riego (CR), es decir el porcentaje de agua que es admisible agotar en un perfil de riego antes de volver a regar. El CR recomendado es de 60% (CR=0,6) para cultivos de arraigamiento profundo, y 40% (CR=0,4) para cultivos de arraigamiento superficial. Una vez determinadas las necesidades de agua unitaria del cultivo (evapotranspiración máxima, ET) y la necesidad neta de riego cultivo (lámina de agua neta, Ha) es posible determinar la frecuencia de riego (FR) mediante la siguiente ecuación:

$$FR = \frac{Ha}{ET} \quad [\text{Eq. 2-3}]$$

Donde:

FR: Frecuencia de riego (días)

Ha: Agua aprovechable (cm)

ET: Evapotranspiración del mes de mayor demanda (cm/día)

Habiendo establecido la frecuencia de riego, se puede determinar la necesidad de riego de diseño, que es la altura de agua (volumen por unidad de superficie), que se debe aplicar en cada riego, de manera de asegurar una penetración suficiente de agua que permita retener en la zona radicular la cantidad de agua necesaria. La expresión para determinar la altura de la lámina de diseño Hd es la siguiente:

$$Hd = \frac{FR \cdot ET}{Ef \times ef} \quad [\text{Eq. 2-4}]$$

Donde

FR: Frecuencia de riego (días).

Nota: Si la frecuencia de riego es de 7 días, o menor, y no se riega el día domingo, debería aumentarse la altura de la lámina de agua de diseño (Hd), multiplicándola por un factor igual a 1.17 (CNR, 1997).

ET: Evapotranspiración diaria (mm/día)

ef: Eficiencia del sistema considerando pérdidas debido al viento

Ef: Eficiencia del riego por aspersión (se asume igual a 85%)

B-Caudal de aspersión o máxima precipitación permisible

El caudal de aspersión depende de la tasa de infiltración y de la pendiente del terreno a regar. La tasa de aplicación de agua mediante aspersores debe ser menor que la capacidad de infiltración del terreno para evitar la formación de encharcamientos y /o escorrentía superficial. La tasa de infiltración del terreno se debe determinar directamente en el predio a regar, mediante el método del anillo infiltrómetro, cuya metodología es sencilla y puede ser consultada en textos de física de suelos. Si esto no fuera posible, se puede utilizar para el diseño valores medios según la textura del suelo (Cuadro 2-4). Con el fin de evitar o reducir los daños por erosión en los suelos al aplicar agua por aspersión, el caudal permisible se debe corregir considerando la pendiente del terreno, de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 2-5.

Cuadro 2-4. Capacidad de infiltración de agua en el suelo

Tipo de Suelo	Capacidad de Infiltración de Agua (mm/hora)
Arenoso	20
Areno-Limoso	15
Limo-Arenoso	12
Limoso	10
Franco- Arcilloso	10
Arcilloso	8

Cuadro 2-5. Disminución de la capacidad de infiltración según la pendiente

Pendiente (%)	% de Disminución
> 5	0
5-8	20
9-12	40
13-20	65
Sobre 20	75

Fuente: Watts y Holzapfel (1990)

C-Disposición de aspersores

La disposición de los aspersores se refiere a la forma en que se deben distribuir los aspersores en el terreno a regar, de modo que el sistema pueda operar en forma eficiente y económica. Para establecer este ordenamiento es fundamental conocer la forma y dimensiones del predio y también el sistema de riego por aspersión más conveniente de utilizar. De este modo, conociendo el ancho y longitud del predio a regar, se puede elegir la disposición de tuberías laterales y de los aspersores en ellas. Este ordenamiento de aspersores puede diseñarse formando cuadrados, rectángulos o triángulos (Fig. 5). La disposición cuadrangular, en que las posiciones de aspersores forman rectángulos o cuadrados, es la más conveniente para sistemas móviles o semifijos. La disposición triangular, formando triángulos equiláteros o isósceles, es la más conveniente para sistemas fijos. En zonas con pendientes altas, como suelen existir en Misiones, con el fin de evitar diferencias de presión debido a cambios de elevación del terreno, es aconsejable colocar los laterales paralelos a las curvas de nivel del terreno y la tubería principal se coloca en el sentido de la mayor pendiente. Además, para lograr una mejor distribución del agua cuando los vientos son fuertes, se recomienda colocar los laterales de manera de formar un ángulo de entre 45° a 90° con respecto a los vientos predominantes. Las distancias entre tuberías laterales (d_l) y entre aspersores (d_a), son normalmente múltiples del largo estándar de la tubería de acoplamiento rápido; o sea, 6 m. De esta manera, para sistemas semifijos se usan las siguientes distancias (d_a/d_l): 6/6, 6/12, 12/12, 12/18, 18/18, 18/24, 24/24, 24/30, 30/30 y mayores, hasta 66/66 (CNR, 1997).

Con el objeto de mantener una alta uniformidad del riego, debe existir un traslape de mojado entre aspersores, por lo que el distanciamiento entre aspersores, tanto sobre el lateral como entre laterales, será función del diámetro de mojado y de la velocidad del viento. En el Cuadro 2-6 se presentan espaciamientos recomendados en función del diámetro (D) de mojado.

Habiendo elegido la distancia entre tuberías laterales (líneas de aspersores) y la distancia entre aspersores en ellas, es posible determinar el número de posiciones de líneas de aspersores y la cantidad de aspersores que operarán en cada línea. En general, se consideran aspersores para regar círculos completos (aspersor en círculo),

pero en los extremos de los laterales se pueden instalar aspersores que riegan medio círculo.

Cuadro 2-6. Espaciamiento de aspersores

Velocidad Viento (m/s)	Disposición Cuadrada	Disposición Triangular
Sin viento	65% D	75% D
2.0	60% D	70% D
3.5	50% D	60% D
>3.5	30% D	30% D

D= Diámetro de mojado (Watts y Holzapfel, 1990)

D-Tiempo de riego diario

La cantidad de horas de riego al día a considerar en el diseño de un sistema de riego por aspersión depende del tipo de sistema a utilizar. En los sistemas fijos es posible regar durante las 24 horas del día, ya que no se requiere movimientos de equipos o instalaciones. En los sistemas semifijos o móviles se deben efectuar cambios o movimientos de equipos, tuberías portátiles y aspersores durante las horas del día. Por esta razón, es recomendable diseñar estos sistemas con un tiempo de riego diario que no supere 15 horas.

Teniendo presente los antecedentes señalados, es posible seleccionar el tipo de aspersor más apropiado para regar un determinado cultivo en un predio de condiciones conocidas. Una vez elegido un tipo de aspersor, se conocen su descarga (m³/hora), el caudal de aspersión o máxima precipitación admisible (mm/hora) y su presión de operación (m.c.a). Finalmente, deben establecerse las condiciones en que van a operar los laterales con los aspersores conectados a ellos. A continuación se hace referencia a las condiciones de operación de los aspersores en sistemas de riego por aspersión semifijos, que son los más utilizados. En base a todos los antecedentes ya señalados, es posible determinar las siguientes condiciones de operación de los aspersores:

- a-Cantidad de horas de riego diarias de cada aspersor o número de cambios o movimientos de tuberías laterales portátiles posibles de efectuar en el día.
- b-Cantidad de líneas de aspersores que deben operarse en paralelo
- c- Número de días de riego efectivos por ciclo (depende de la FR)
- d- Caudal total de aspersores que operan simultáneamente

Estas condiciones de operación se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$T_{RD} = \frac{Hd}{qa} \quad [\text{Eq. 2-5}]$$

Donde:

T_{RD} : Tiempo de riego diario del aspersor (horas)

Hd : Altura de lámina de agua de diseño (mm)

qa : Caudal de aspersión (mm/h)

$$Nm = \frac{T_{RD}}{T_{RM}} \quad [\text{Eq. 2-6}]$$

Donde:

Nm : Número de movimientos de líneas de aspersores al día

T_{RM} : Tiempo de riego máximo diario (horas)

$$Nas = \frac{N_p}{N_m \cdot FR} \quad [\text{Eq. 2-7}]$$

Donde

Nas : Número de líneas de aspersores que deben operar en paralelo

N_p : Número de posiciones de líneas de aspersores

$$Ndr = \frac{N_p}{Nm \cdot Nas} \quad [\text{Eq. 2-8}]$$

Donde

Ndr : Número de días de riego en que efectivamente van a operar los aspersores

$$Q_a = N_a \times N_a \times d_a \text{ (m}^3\text{/hora)} \quad [\text{Eq. 2-9}]$$

Donde

Q_a: Caudal total de todos los aspersores que operan simultáneamente

N_a: Número de aspersores por línea o tubería lateral

d_a: Descarga del aspersor (m³/hora)

Diseño hidráulico de una red de riego por aspersión

El diseño hidráulico de una red de riego, cualquiera sea el método, consiste en dimensionar los diámetros y longitudes de las tuberías de riego y calcular la presión requerida en el sistema, de manera tal de seleccionar la motobomba adecuada para vencer dichos requerimientos de presión según el caudal a elevar.

Presión, carga hidráulica, altura manométrica total o dinámica

La presión requerida de una bomba es la sumatoria de las siguientes alturas o presiones:

A-Altura estática: Se denomina altura estática o carga estática total a la diferencia de altura entre el punto de toma de agua y donde se entrega. Se divide en carga estática de aspiración y carga estática de elevación.

B-Pérdidas de carga por fricción (H_f) y pérdidas de carga por singularidades (H_s): Son calculadas con las fórmulas de diseño hidráulico descritas abajo. Las pérdidas de carga por fricción (H_f), corresponden a la pérdida de energía, que experimenta el agua en su recorrido en el interior de la tubería, desde la entrada hasta el final de ella. El efecto de lo anterior provoca una disminución de la presión interna del sistema, produciéndose un diferencial de presión. Esta diferencia de presión es lo que se conoce como pérdida de carga. La pérdida de carga en una conducción está estrechamente relacionada con el caudal conducido, diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías (pérdidas por fricción). Otro factor que afecta la presión son las pérdidas por singularidades (H_s), que se producen por el cambio de dirección del

agua cuando la misma es forzada a desviar su trayectoria recta debido a la presencia en la red de uniones, válvulas y otros fittings existentes.

C- Requerimientos de presión (P) del sistema: Si la bomba debe llenar un estanque a presión, o mover un aspersor, o salir a través de un gotero, se debe considerar la presión de trabajo de estos elementos de riego, valores que figuran en los respectivos catálogos.

D-Pérdidas de carga por accesorios: Se debe considerar, además, los requerimientos de presión o pérdidas de energía que se producen en accesorios de riego tales como filtros, inyectoros de fertilizantes etc.

E-Altura representativa de velocidad ($V^2/2g$): Corresponde a la energía cinética del agua dentro de la tubería, que depende de la velocidad del agua (V). Se relaciona con la velocidad de salida del agua desde la tubería. Su valor, se expresa en m.c.a. Para efectos de diseño, ésta se suma a los requerimientos de presión del sistema, con el fin de obtener la Altura o Carga Manométrica Total (HT).

Red de tuberías

Estando definidos las características técnicas de los aspersores a utilizar, el número de posiciones de líneas de aspersores y su ubicación en el terreno a regar, la cantidad de aspersores por línea y su espaciamiento, el número de líneas de aspersores que operan simultáneamente y las condiciones de operación del sistema, es posible diseñar la red de tuberías, determinando el diámetro de las mismas, las pérdidas de carga en las tuberías y las presiones de operación en los puntos de la red. A continuación se indican las normas y criterios más relevantes para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías laterales, secundarias y principales. Generalmente se acepta que la presión de operación de los aspersores, a lo largo del lateral o de laterales que operan simultáneamente, no debiera desviarse en más de un 20% de la presión de trabajo del aspersor. Este criterio de no sobrepasar el 20% de la presión de trabajo del aspersor se aplica para el diseño de la red de tuberías.

Diseño de tuberías laterales

El diseño de las tuberías laterales, en las cuales se instalan los aspersores, depende de la geometría establecida para la red de tuberías, de las condiciones topográficas del terreno, de la distancia entre aspersores, del caudal que descargará por cada uno de ellos y del tipo, material y diámetros de las tuberías disponibles en el mercado. Para tuberías laterales de sistemas fijos se pueden utilizar tuberías plásticas (PVC o PE) o metálicas (acero galvanizado). Para el cálculo de las pérdidas de carga de tuberías plásticas se puede utilizar las fórmulas de Hazen & Williams o la de Darcy&Weisbach. Para el cálculo de tuberías de acero se puede utilizar la fórmula de Scobey. Para tuberías laterales portátiles de sistemas semifijo y móviles se pueden utilizar tuberías de aluminio, de acero galvanizado liviano o de PVC. Para el cálculo de las pérdidas de carga de tuberías de aluminio y de acero se puede utilizar la fórmula de Scobey o la de Muñizaga. Además, los manuales que entregan los fabricantes de tuberías con acoplamientos rápidos incluyen gráficos para calcular las pérdidas de carga de sus tuberías.

Fórmula de Hazen & Williams para tuberías de PVC

$$J = \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.869}} \quad [\text{Eq. 2-10}]$$

Donde:

J: Pérdida de carga (m/m)

Q: Caudal (m³/seg)

C: Coeficiente de rugosidad de Willams (Cuadro 2-7)

D: Diámetro interior (m), (Cuadro 2-9)

Fórmula de Christiansen

Las pérdidas de carga de tuberías laterales, con un sólo diámetro y que tienen aspersores a intervalos regulares, se pueden calcular también utilizando la fórmula de Christiansen que se expresa a continuación:

$$H = L \times J \times F \text{ (m)} \quad [\text{Eq. 2-11}]$$

Donde:

H: Pérdida de carga en la tubería (m)

L: Longitud total de la tubería (m)

J: Pérdida de carga unitaria en una tubería de diámetro D por la que pasa el caudal total o suma de las descargas de los aspersores.

F: Coeficiente experimental

Donde:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6N^2} \quad [\text{Eq. 2-12}]$$

N : Número de derivaciones (número de aspersores para el caso de laterales).

m : 1,9 (exponente de "V" en la fórmula de Scobey para determinar "J").

Cuadro 2-7. Coeficiente de rugosidad de Hazen & Williams para diferentes materiales.

MATERIAL	C
PVC	150
Acero	140
Asbesto Cemento	135
Hormigón Vibrado	130
Plástico Corrugado	125
Polietileno	120

Nota: el diámetro interior es igual al diámetro nominal menos 2 veces el espesor de la tubería (mm)

Fórmula de Darcy & Weisbach para tuberías de PVC

$$H_f = 7.89 \times 10^7 \times \frac{Q^{1.75} \times L}{D^{4.75}} \quad (\text{para un diámetro menor a 125 mm}) \quad [\text{Eq. 2-13}]$$

$$H_f = 9.59 \times 10^7 \times \frac{Q^{1.828} \times L}{D^{4.828}} \text{ (para un diámetro mayor a 125 mm)} \quad [\text{Eq. 2-14}]$$

Donde:

H_f: Pérdida de carga (m).

Q: Caudal (l/s).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro (m).

Fórmula de Scobey para tuberías metálicas (aluminio y acero galvanizado)

$$J = \frac{K_s}{387} \times \frac{V^{1.9}}{D^{1.1}} \quad [\text{Eq. 2-15}]$$

Donde

J: Pérdida de carga en metros de columna de agua por metro de tubería

K_s: Coeficiente de rugosidad (Cuadro 2-8)

V: Velocidad media del agua (m/seg)

D: Diámetro de la tubería (m)

Cuadro 2-8. Coeficientes de rugosidad de Scobey

Material Tuberías	K _s
Acero nuevo sin protección	0,40
Acero galvanizado con acoplamientos rápidos	0,42
Acero poco usado	0,44
Plásticas	0,32
Aluminio con acoplamientos rápidos	0,40

Fórmula de Muñizaga para tuberías metálicas

$$J = 0,00154 \times K^{0,317} \times D^{-5,317} \quad [\text{Eq. 2-16}]$$

Donde:

J: Pérdida de carga (m).

K: Rugosidad (mm), acero $K=1$ mm (tubería protegida contra corrosión); $K=2$ (tubería no protegida).

Q: caudal (m^3/s).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro interior tubería (m).

Diseño de tuberías secundarias

El diseño de las tuberías secundarias depende de tipo de sistema, ya sea fijo, semifijo o móvil. En los sistemas fijos, las tuberías laterales se derivan a intervalos regulares desde la tubería secundaria. En este caso se utilizan generalmente tuberías plásticas (PE o PVC) o metálicas (acero galvanizado). El cálculo de las pérdidas de carga en tuberías fijas, es similar a las utilizadas en otros tipos de redes de tuberías de distribución de agua. También se puede utilizar la fórmula de Christiansen.

En los sistemas móviles se emplean tuberías livianas de aluminio, de acero galvanizado y también plásticas. En estos sistemas debe estudiarse la situación más desfavorable, de mayor caudal y mayor longitud, que puede presentarse en la tubería secundaria, al desplazarse las tuberías laterales que son portátiles. En los sistemas semifijos, las tuberías secundarias son generalmente fijas y se colocan enterradas. Estas tuberías entregan el agua a las tuberías laterales mediante válvulas hidrantes. Las pérdidas de carga se calculan en base a los caudales que distribuyen las tuberías laterales y en la posición más alejada de ellas. Normalmente se utilizan tuberías plásticas, de PVC, cuyas pérdidas de carga se determinan mediante la fórmula de Hazen & Williams o Darcy & Weisbach. O bien se recurre a valores tabulados que entregan la pérdida de carga por metro de tubería según diámetro y para cada caudal de las mismas.

Cuadro 2-8. Diámetro interior de tuberías PVC.

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)			
	4 atm	6 atm	10 atm	16 atm
25	22,6	22,6	22,0	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36,0	34,0
50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57,0	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8
90	86,4	84,6	81,4	76,6
110	105,6	103,6	99,4	93,6
125	120,0	117,6	113,0	106,4
140	134,4	131,8	126,6	119,2
160	153,6	150,6	144,6	136,2
180	172,8	169,4	162,8	153,2
200	192,0	188,2	180,8	170,4
225	216,0	211,8	203,4	191,4

Pérdidas de carga menores (Hs)

Las pérdidas de carga ocasionadas por accesorios de riego como válvulas, reducciones, uniones T etc., se denominan pérdidas singulares Hs y pueden ser calculadas con la siguiente fórmula:

$$H_s = \sum \frac{K \times V^2}{2 \times g} \quad [\text{Eq. 2-16}]$$

Donde:

Hs: Pérdida de carga (m.c.a.)

K: Coeficiente experimental de cada elemento (tabulado en textos de hidráulica).

V: Velocidad media del agua (m/seg)

g: Aceleración de gravedad (m/seg²)

La velocidad V en la Ecuación 2-16 es igual a:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \quad [\text{Eq. 2-17}]$$

Las pérdidas singulares deben ser calculadas para cada uno de los accesorios que se incorporen en la red, es decir supongamos que en la red hemos incorporado una válvula de pié, codos y válvulas. Entonces las pérdidas por singularidades sería la sumatoria de las pérdidas de cada accesorio como lo muestra la Ecuación 2-18.

$$H_s = \sum \left(\frac{K_{codo} \times V^2}{2 \cdot g} \right) + \sum \left(\frac{K_{codo} \times V^2}{2 \cdot g} \right) + \sum \left(\frac{K_{valpie} \times V^2}{2 \cdot g} \right) + \sum \left(\frac{K_{valretorno} \times V^2}{2 \cdot g} \right) \quad [\text{Eq. 2-18}]$$

Otra opción es consultar valores de tabla para cada singularidad. Una tercera opción muy utilizada por diseñadores de redes es considerar que la totalidad de pérdidas de carga por singularidades corresponden a un 15% de las pérdidas de carga en tuberías (H_f).

Diseño de la tubería principal

La tubería principal en general no tiene derivaciones, y se calcula con el caudal total que ocurre al estar todos los aspersores funcionando. Esta tubería se coloca fija y enterrada, utilizándose tuberías de PVC. Para el cálculo de diámetro de la tubería principal se debe usar el criterio de velocidades máximas entre 0,6 a 2,25 m/s. Para velocidades menores a 0,6 m/s los diámetros son excesivos y la tubería es cara. Para velocidades superiores a 2,25 m/s las pérdidas de carga son muy elevadas, sobrecargan excesivamente la bomba y aceleran el envejecimiento de la tubería. Se recomienda no sobrepasar el valor de 1,5 m/s.

Dimensionamiento y selección de la bomba

Para dimensionar y seleccionar una bomba deben conocerse dos variables, el caudal de diseño de la unidad de bombeo que corresponde a la suma de las descargas de los aspersores que funcionan en forma simultánea, y la altura manométrica total. Esta altura, corresponde a la suma de la altura geométrica de elevación, más las pérdidas de carga producidas en el sistema ambas, por tuberías y por singularidades, y más la presión de operación del aspersor. El tipo de unidad de bombeo a utilizar

depende principalmente de la energía disponible en el predio, ya sea eléctrica o a explosión por combustión interna en motores diesel, a gasolina o tractores. El dimensionamiento y selección de bombas para riego se describen detalladamente en el Capítulo 4 de este manual.

Ejemplo de diseño agronómico e hidráulico de una red de riego por aspersión con laterales móviles.

Riego por aspersión para 5 ha de Maíz

Información básica del terreno:

Textura: Franco arcilloso

Densidad aparente (D_a)=1.5 g/cm³

Capacidad de campo (CC)=24 %

Punto de marchitez permanente (PMP)= 12%

Velocidad de infiltración: 10 mm/h

CR=50%

Pe= 0,90 m

En base a la evaporación de bandeja se determinó una ETa para el mes de enero, resultando 5,5 mm/día (ETP = 170.5 mm/mes y Kc = 0,90).

En base a lo visto se determinaron las alturas de láminas de agua H y Hd de acuerdo a lo siguiente:

$$H = \frac{21-13}{100} \times 1.5 \cdot 80 \times 0.5 = 48 \text{ (cm)}$$

$$H = 48 \text{ mm}$$

$$FR = H/ET = 48/5,5 = 8.7 \approx 9 \text{ días}$$

$$Hd = \frac{Fr \times ET}{0.90 \times 0.85} = 64.7 \text{ mm}$$

Hd es la lámina de aguade diseño que se debe aplicar en cada riego.

Aspersores selección y disposición

De acuerdo a lo señalado en el punto disposición de aspersores, se establecieron las siguientes distancias: 24 m entre aspersores y 24 m entre laterales. Con estas distancias se calculó el número de posiciones de laterales (np) y el número de aspersores por tubería lateral (na), utilizando las dimensiones del predio a regar (longitud 500 m y ancho 100 m), resultando 21 posiciones y 5 aspersores por lateral.

El aspersor seleccionado es un Perrot Z30, con una tobera de 7.7 mm de abertura. La presión de operación es de 40,0 m.c.a., con la cual produce una descarga de 3,73 m³/hora, y una precipitación de 6.5 mm/h pudiendo regar 576 m² cuando los aspersores están ordenados en forma cuadrangular, (un cuadrado de 24m x 24 m). En base a la altura de la lámina de diseño (Hd = 64.7 mm) que se debe aplicar en cada riego y a el caudal de aspersion (da) del aspersor elegido, se determinó el tiempo de riego diario (Trd) de cada aspersor, igual a 9,96≈10 horas diarias. Considerando 15 horas de riego por día y 10 horas de riego por aspersor se determinó que se pueden hacer solamente 1.5 cambios de lateral por día (Nm = 1.5).

El número de líneas de aspersores que deben operar en paralelo es el siguiente:

$$Nas = \frac{N_p}{Nm(Fr - 1)} = \frac{20}{1.5 \times 9} = 1.48 \approx 2$$

Se considera (Fr - 1) igual a 9 días, debido a que no se regará los días domingos.

El número de días de riego en que efectivamente van a operar los aspersores es el siguiente:

$$Ndr = \frac{N_p}{Nm \times Nas} = \frac{20}{1.5 \times 2} = 3.495 \cong 6.66 \cong 7 \text{ días}$$

De los 10 días (FR), se regarán 7 días, uno es domingo y 2 días podrán utilizarse para efectuar otras prácticas agrícolas.

El caudal total de todos los aspersores que funcionan simultáneamente es el siguiente:

$$Qa = Nas \times Na \times da \quad Qa = 2 \times 5 \times 3,73 = 37.3 \text{ (m}^3\text{/hora)} = (10.36 \text{ l/s})$$

Este caudal corresponderá al caudal de diseño de la tubería principal y de la unidad de bombeo. Debido a que operarán dos líneas de aspersores en paralelo, los cuales se moverán desde un extremo del predio hacia el otro extremo, el caudal de diseño de la tubería secundaria será $18.65 \text{ m}^3\text{/hora} = 5.18 \text{ l/s}$

En el cálculo de la red de tuberías, se respetó el criterio de no sobrepasar el 20% de la presión de trabajo de los aspersores, a fin de evitar desviaciones importantes en sus descargas. De esta manera, se determinaron los diámetros de tuberías, se calcularon las pérdidas de carga utilizando las fórmulas vistas en la sección diseño hidráulico (Pag. 23 a 27). La carga dinámica total que deberá vencer la motobomba resultó igual a 53 m.c.a. considerando una altura de succión de 1 m, una pendiente del terreno hacia la unidad de bombeo de 3%, una altura de aspersor de 0,60 m, presión descarga del aspersor de 40 m.c.a. y las pérdidas de carga en la unidad de bombeo y red de tuberías.

$$HP = \frac{10.36 \times 53}{75 \cdot 0.75} = 9.76 \cong 10HP$$

La motobomba necesaria para operar este sistema de riego por aspersión resultó ser la siguiente:

Motobomba con motor eléctrico trifásico, de 10 HP para elevar un caudal de $52,22 \text{ m}^3\text{/hora}$ a una altura manométrica de 53 m.c.a.

Detalles técnicos

Aspersor

El aspersor seleccionado es un Perrot Z30 tiene una tobera con abertura 7.7 mm, su presión de trabajo es de 40 m.c.a, con descarga $3.73 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ y una precipitación de 6.5 mm h^{-1} ordenados en forma de un cuadrado de 24 x 24 metros.

Red de Tuberías

Las tuberías laterales, incluyendo los aspersores, son los componentes móviles del sistema. Las tuberías laterales portátiles se consideraron de aluminio liviano de acoplamiento rápido. Las tuberías secundarias y principales se consideraron PVC clase 4. Las derivaciones de la tubería secundaria hacia las laterales se realiza a través de hidrantes, los cuales son semejantes a un sistema simplificado de válvulas, compuesto de un collarín, una copia, una válvula tipo bola y un terminal.

Unidad de Bombeo

La unidad de bombeo incluye el grupo motobomba, la cañería de aspiración con válvula de pie y colador, las válvulas de retención y de corte en la descarga, una unión extensible para desarmar la interconexión hidráulica. La instalación eléctrica es en línea trifásica hasta el tablero de comando de fuerza, el tablero de comando de fuerza completo y la conexión desde el tablero hasta la motobomba.

Ejemplos de cálculo de variables para diseño de riego por aspersión fija.

1-Un agricultor posee 50 has para regar mediante un sistema por aspersión. La información básica que tiene de su lote es la siguiente.

$$VI = 0.46T^{-0.6} \text{ (cm/min)}$$

$$FR = 10 \text{ días}$$

$$ET = 8 \text{ mm/día}$$

$$\text{Horas riego diario} = 20$$

$$\text{Número de días de riego} = 150$$

Presión aspersor= 4.5 atm = 45 m.c.a

Distribución aspersores = 24 x 24m

Eficiencia = 90%

Diferencia de cota desde la fuente al área a regar = 5m

Se desea conocer:

1-a. La velocidad de aplicación del aspersor.

$Ha = ET \times FR = 8 \text{ mm/día} \times 10 \text{ días} = 80 \text{ mm/día} = (80 \text{ mm/día})/Ef = (80 \text{ mm/día})/0.9 = 8.8 \text{ mm/día}$

$VI = 0.46T^{-0.6}$ $IA = 0.46/0.4 T^{0.4} = 1.15T^{0.4} = IA = 8 \text{ cm} = 1.15 T^{0.4}$ entonces $TR = 127.63 \text{ min}$

IA: es la infiltración acumulada

VI: es la velocidad de infiltración

Con un $TR = 123.63 \text{ min}$ la $VI = 0.46 (127.63)^{-0.60}$

$$VI = 0.0250 \frac{\text{Cm}}{\text{min}} \times \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 15.04 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

$$Q = 15.04 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{h}} \times 24 \times 24 \text{ m}^2 = 8.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Si $VI = 15.4 \text{ mm/h}$ para aplicar 80 mm $(80/15.04) = 5.31$ horas funcionando el aspersor.

1-b. El caudal de bombeo

$$Q = \frac{HA \times A}{Ef \times FR \times HR} = \frac{0.080 \text{ m} \times 50000 \text{ m}^2}{0.8 \times 10 \text{ días} \times 20 \text{ horas}} = 222.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 61.7 \text{ l/s}$$

2- Un productor ganadero ha decidido regar por aspersión un potrero de alfalfa de 129 ha. Con los datos de infiltración del suelo se ha seleccionado un aspersor marca Perrot ZE 30D de doble boquilla cuyas características son:

Presión 3 bares= 30 m.c.a

Descarga= 2.84 m³/h

Espaciamiento=18 m x 18m

Además se sabe:

ET del cultivo= 8 mm/día

Capacidad total de retención del suelo = 0.24 cm/cm

Pe del cultivo = 1 m

Horas disponibles de riego = 16.

Se desea conocer:

2- a. El número de aspersores requerido para regar el área asumiendo una eficiencia de aplicación de 90 %.

$Ha = 0.24 \text{ cm/cm} \times Pe \times CR = 0.24 \text{ cm/cm} \times 100 \text{ cm} \times 0.5 = 12 \text{ cm} = 120 \text{ mm}$

$FR = Ha/ET = 120 \text{ mm}/8 \text{ mm/día} = 15 \text{ días}$

Volumen a aplicar = descarga/área = $(2.84 \text{ m}^3/\text{h})/18 \text{ m} \times 18 \text{ m} = 8.7654 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{m}^2)$
 $\times 1000 \text{ mm/m} = 8.7654 \text{ mm/h}$

Altura a aplicar = $Ha/Ef = 120 \text{ mm}/0.9 = 133.33 \text{ mm}$

$TR = 133.33 \text{ mm}/8.7654 \text{ mm/h} = 15.21 \text{ horas}$

Por lo tanto se puede regar 1 sector o un área por día

Área = $129 \text{ ha}/15 \text{ días} = 8.6 \text{ ha/día}$

Nº de aspersores = $\text{Área regada por día}/\text{espaciamiento} = 86000 \text{ m}^2/18 \text{ m} \times 18 \text{ m} = 86000 \text{ m}^2/324 \text{ m}^2 = 266 \text{ aspersores}$

2-b. La potencia del equipo de bombeo si se ha calculado la altura dinámica total (presión de trabajo aspersor + pérdida de carga por fricción + pérdida de carga por singularidades + desnivel de 5 m) y ha resultado 55 m.c.a

$Q = 2.84 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ seg} \times 1000 \text{ l}/\text{m}^3 = 0.788 \text{ l}/\text{seg}$

$Q = 0.788 \text{ l}/\text{seg} \times 266 = 209.82 \text{ l}/\text{seg}$

$HT = 30 \times 30 \times 0.2 = 36 \text{ m.c.a}$

$$HP = \frac{Q \times ht}{Ef \times 75} = \frac{209.82 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 36}{0.75 \times 75} = 143.3 \text{ HP}$$

3- Un agricultor cuenta con un equipo de bombeo de 20 HP que posee una eficiencia de 85 %, compro además aspersores de 1.53 l/seg que trabajan a una presión de 40 m.c.a. y tienen un patrón de espaciamiento de 18m x 18 m, con un factor de tuberías de 0.02 y debe aplicar 100 mm.

Se desea conocer:

3-a. Número de aspersores que pueden operar en forma simultánea si el desnivel con la fuente de agua es de 10 m

$$HP = Q \times ht / 0.85 \times 75$$

$$ht = P_{\text{aspersor}} + \text{desnivel} + 0.2 \times P_{\text{aspersor}} = 40 + 10 + (0.2 \times 40) = 40 + 10 + 8 = 58 \text{ m.c.a}$$

$$20 = Q \times 58 / 63.75 \quad Q = 63.75 \times 20 / 58 = 20.18 \text{ l/s}$$

$$Q = 20.18 \text{ l/seg}$$

$$N^{\circ} \text{ aspersores} = Q_t / q_{\text{aspersor}} = 20.18 \text{ (l/seg)} / 1.53 \text{ (l/seg)} = 13.19 \approx 14 \text{ aspersores.}$$

3-b. Tiene una tubería disponible para utilizar dos laterales ambos con igual número de aspersores, cual debe ser el diámetro mínimo de dicha tuberías.

$$N^{\circ} \text{ aspersores} = 7 \quad Q_t = 7 \times 1.53 \text{ l/seg} = 10.71 \text{ l/seg} = 0.01071 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H_f = 8 \text{ m}$$

$$F_{ms} = 0.4081$$

$$F = 0.02$$

$$L = 7 \times 18 \text{ m} = 126 \text{ m}$$

$$\text{Entonces el diámetro de la tubería es } D = 65.25 \text{ mm} = 6.5 \text{ cm}$$

Si tuviera solo un lateral con 14 aspersores entonces el diámetro de la tubería es

$$D = 9.697 \text{ mm} = 9.7 \text{ cm}$$

$$F_{sm} = 0.369$$

$$H_f = 8 \text{ m}$$

$$L = 126 \times 2$$

CAPÍTULO 3

RIEGO LOCALIZADO, GOTEO Y MICROASPERSIÓN

Los equipos de riego localizado suministran agua y fertilizantes al cultivo en forma dirigida. El agua es conducida a través de una red de tuberías y entregada a cada planta mediante emisores que disipan la presión entregando el agua a gotas (goteros y cintas), o la entregan en forma de fina llovizna (microyeteo y microaspersor). En el terreno, el agua se distribuye formando un bulbo mojado cuya forma y tamaño depende del tipo de suelo (angostos y profundos en suelos arenosos y anchos y menos profundos en suelos arcillosos); caudal del emisor y el tiempo de riego. Normalmente el bulbo mojado representa entre 30 % (goteo) y 50 a 60% (microaspersión) del total del volumen de suelo explorado por las raíces. Los sistemas de riego localizado son los más eficientes desde el punto de vista del uso del agua, debido al preciso control del volumen aplicado y a la uniformidad de aplicación. Si están bien diseñados pueden alcanzar eficiencias de 95 % (goteo) y 90 % (microaspersión). Esto los hace idóneos en aquellos casos donde escasea el recurso hídrico, y para la aplicación de fertilizantes sin pérdidas por drenaje profundo y/o escorrentía. El riego localizado diseñado con criterio es un riego de alta frecuencia, ya que solo se aplica el volumen equivalente a la evapotranspiración diaria. Esto permite mantener en el suelo niveles adecuados de humedad, evitando los excesos que frecuentemente se dan en riegos de tipo superficial y/o aspersión.

Desde el punto de vista de la protección vegetal, los sistemas localizados confieren ventajas a los cultivos respecto de otros sistemas. En primer lugar, la localización evita el mojado de las hojas. Esto es sumamente ventajoso en la provincia de Misiones donde un clima subtropical húmedo crea las condiciones ambientales favorables para numerosas enfermedades foliares que atacan a los cultivos. En segundo lugar, comparado a otros métodos, el riego localizado al mojar un pequeño porcentaje del sistema radicular, protege a las raíces de pudriciones radiculares frecuentes en suelos ácidos misioneros. Finalmente el microriego favorece el control de malezas, ya que las calles del cultivo quedan secas y aun en la línea solo una pequeña zona es humedecida lo cual inhibe el crecimiento de plantas invasoras.

En Misiones, donde los suelos presentan en algunos casos pronunciadas pendientes, los sistemas localizados son ventajosos, ya que su diseño es fácilmente adaptable a las irregularidades del terreno. Esto, además de no exigir la sistematización de suelo que demanda un sistema superficial, evita otros problemas adicionales como escurrimiento y drenaje sub superficial. Como desventaja de los sistemas localizados puede mencionarse la dependencia del sistema a una buena calidad de agua debido a la alta sensibilidad a la obturación de los emisores. Esto hace que requieran adecuados filtros los que además deben ser limpiados frecuentemente para evitar pérdidas de uniformidad en el agua aplicada.

Componentes del sistema

Un sistema de riego localizado consta de: cabezal de riego, red de distribución y conducción y emisores.

1-Cabezal de Riego

En el cabezal de riego como se ilustra en la Figura 12, se ubican los siguientes componentes: tubería de succión, unidad de bombeo, equipos de inyección de fertilizantes, válvulas reguladoras de caudal y/o presión, válvulas de protección, sistema de filtros y programadores si los hubiera. Normalmente es una casilla de mampostería que protege un conjunto de equipos y accesorios. La operación de un cabezal de control depende del grado de automatización del mismo, puede ser totalmente automatizado, en cuyo caso la operación de todos los elementos mencionados depende de sensores basados en variables como humedad, temperatura y presión. Semiautomatizados basados en un reloj que controla el tiempo de riego, o un caudalímetro que controla el volumen aplicado. O bien, pueden ser cabezales de riego sin automatización cuya operación es manual a voluntad del operador, quien cierra o abre la red mediante válvulas de paso y pone en funcionamiento la bomba.

1-a Unidad de Bombeo

La unidad de bombeo aspira el agua desde la fuente y la impulsa a la red de tuberías. La mayoría de las instalaciones de riego por goteo y microaspersión usan

bombas centrífugas de eje horizontal (Figuras. 14 y 15). Los distintos tipos de bombas para riego así como los criterios de elección y el dimensionamiento de las mismas son descritos en el Capítulo 5.

1-b Equipos complementarios y accesorios

Los equipos complementarios más importantes de un sistema de riego localizado son filtros y depósitos e inyectores de fertilizantes (Fig. 16 a 21). Los equipos de fertilización son de distintos tipos de acuerdo a su funcionamiento y son descritos en el Capítulo 5.

1-b-1. Unidad de filtraje

El problema más frecuente en las instalaciones de riego localizado es la obturación de los emisores. El tipo o tipos de filtros necesarios en una instalación de riego localizado, dependerá de la naturaleza y tamaño de las partículas contaminantes (Cuadro 3- 1)

Cuadro 3- 1. Selección del tipo de filtro dependiente del elemento contaminante

Contaminante	Tipo de Filtro		
	Hidrociclón	Filtro de grava	Filtro de malla
Arena	✓		✓
Limo y arcilla		✓	✓
Orgánicos		✓	✓

Fuente: CNR

Filtro de arena: Son tanques metálicos o de plástico, llenos de arena o piedras de un determinado tamaño. Cuando el agua atraviesa el tanque, la arena realiza el filtrado de limos, arenas finas y materia orgánica. El diámetro del tanque está en relación directa con el caudal de agua que se desea filtrar, utilizándose como referencia tasas de filtraje entre 10 y 15 l/s/m² de superficie filtrante (1m² de superficie filtrante equivale a tener un filtro de 1,13 m de diámetro). Dentro del cabeza de riego, el filtro de arena va situado a la entrada, entre la válvula de compuerta y los filtros de malla. El tamaño mínimo de la partícula que queda retenido en el filtro, es función del caudal y del tamaño de la arena

o piedra utilizada en el filtro. En términos generales, todos los filtros de arena trabajando con 60 m³/h de caudal por m² de lecho de piedra (superficie filtrante), son capaces de retener partículas 10 veces más pequeñas que el diámetro medio de sus piedras. El precio aproximado a la fecha de un filtro de arena con capacidad de filtrar 7000 l/hora es de 490 dólares.

Filtros de malla: Normalmente se sitúan en el cabezal, inmediatamente después del tanque fertilizante. Los filtros de malla pueden retener menos cantidad de partículas que un filtro de arena. El caudal filtrado por un filtro de malla dependerá de la calidad de agua, la superficie de filtrado, el porcentaje de orificios y la pérdida de carga permitida. Para un filtro de malla fina, se admite, normalmente, un caudal máximo de 250 m³/h por m² de superficie filtrante de acero inoxidable y 100 m³/h para una malla de nylon para un mismo diámetro de orificio. En un filtro de malla limpio las pérdidas de cargas varían de 1 a 3 metros y se debe limpiar cuando ésta aumenta en 3,5 metros, lo que significaría una pérdida de presión en los filtros de malla entre 4,5 a 6,5 metros. El valor aproximado a la fecha de un filtro de malla para filtrar unos 7000 l/h es de 50 dólares.

Filtros de anillas. Son cilindros que en su interior están compuestos por un conjunto de anillas con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado. El agua es filtrada al pasar entre dos anillas consecutivas. La calidad del filtrado dependerá del espesor de las ranuras. Se pueden conseguir según el número de ranuras, hasta una equivalencia a una malla de 200 mesh. Las pérdidas de carga de un filtro limpio oscilan entre 1 y 3 m.c.a. Su limpieza manual es muy sencilla: se abre la carcasa, se separan las anillas y se limpian con un chorro de agua. El valor aproximado a la fecha de un filtro de anillas de 2 pulgadas de diámetro es de 460 dólares.

¿Cómo selecciono un filtro?

El criterio de selección de los filtros es el caudal que debe filtrar y el tipo de impurezas del agua. En el caso de los filtros de anillas, la selección está basada en el

tamaño y número de las ranuras existente entre las anillas, lo cual viene definido por el fabricante. Lo básico es determinar el caudal de diseño y luego seleccionar, a través de catálogos, el filtro de anillas más apropiado a ese caudal y con un número de mesh apropiado según el nivel de filtraje que se requiera.

En el caso de un filtro de malla lo fundamental que debe considerarse es el tamaño de los orificios de la malla; dependiendo de ellos el mejor o peor filtraje que se realice. Un criterio utilizado es que el tamaño del orificio sea aproximadamente 1/7 del menor diámetro de paso del gotero, valor que se puede elevar a 1/5, en el caso de microaspersores o microyet. En el Cuadro 3-2, se indica la relación entre tamaño de orificio y N° de mesh. Esta última medida es la que se utiliza para seleccionar el filtro adecuado.

En el mercado existe una amplia gama de de filtros, para diferentes caudales de filtraje y diferentes tipos de malla, la pérdida de carga que se produce al pasar el agua por el filtro viene indicada de fábrica y es un dato que debe sumarse a la hora de calcular los requerimientos de presión del sistema.

Cuadro 3- 2: Relación Mesh vs. tamaño de orificios. Malla de acero inoxidable.

Nº mesh	Orificio (mm)	Nº mesh	Orificio (mm)
3.5	5.600	32	500
4	4.750	35	425
5	4.000	42	355
6	3.350	48	300
7	2.800	60	250
8	2.360	65	212
9	2.000	80	180
10	1.700	100	150
12	1.400	115	125
14	1.180	150	106
16	1.000	170	90
20	850	200	75
24	710	250	63

Fuente: CNR.

1-b-2. Accesorios: Como se ilustra en las Figuras 16 a 28, en una red de riego existen muchos accesorios y de muy variado uso. Por ejemplo, tubería de aspiración de agua, llaves de paso, válvulas controladoras y/o reguladoras de presión, válvulas solenoides, tableros, fittings etc.

2-Tuberías de conducción y distribución

Las tuberías de un sistema de riego por goteo y/o microaspersión permiten conducir el agua a presión desde la unidad de bombeo hasta los emisores. Estas tuberías se pueden clasificar en tubería principal, secundaria y laterales.

- a- **Principal:** La tubería principal o matriz conduce el agua desde la unidad de bombeo hasta los puntos de distribución. Al llevar todo el caudal de diseño son de mayor diámetro que las secundarias y laterales. Generalmente son plásticas: polietileno (PE) o cloruro de polivinilo (PVC) y se colocan enterradas en el terreno.
- b- **Secundarias:** Conducen el agua desde la tubería principal, a la que se une mediante derivaciones operadas por válvulas de corte, hasta los puntos en que se derivan las tuberías laterales. Las tuberías secundarias generalmente son de PVC, y también van enterradas en el terreno
- c- **Laterales:** Generalmente son de PE y llevan insertos los emisores. Estas tuberías no van enterradas sino distribuidas en la superficie de la unidad de riego y tienen diámetros de 12, 16 y 20 mm.

En la red de tuberías generalmente se instalan válvulas de diferentes tipos (esfera, compuerta, angular, ventosa, solenoide) y con distintas funciones (de corte, reguladoras de presión, de aire o ventosas, solenoides para el control automático de operaciones de riego).

3-Emisores

Los emisores (Figuras. 29-33), son los dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la tubería lateral al suelo. Su función es entregar los caudales necesarios a muy baja presión y en forma uniforme y localizada. El caudal de estos elementos varía entre 1 y 10 l/h, (goteros y cintas) y 8 hasta 120 l/h (microaspersores y microyets). En sistemas localizados se utilizan los siguientes emisores con diferentes modelos de cada uno:

3-a. Goteros: Los goteros más utilizados son goteros de laberinto en línea, goteros de botón con laberinto y goteros de botón autocompensados. Los goteros de laberinto

se caracterizan por tener una estructura interna de laberinto que provoca un régimen turbulento en el flujo del agua. Los goteros de laberinto en línea van insertados en las tuberías de polietileno. Los goteros de botón sobre la línea se colocan insertados en las tuberías laterales de polietileno, mediante un sacabocado o bien manualmente. Los goteros de botón pueden ser del tipo laberinto o autocompensados. Los autocompensados tienen en su interior membranas o diafragmas que dificultan u obstruyen el paso del agua al aumentar la presión, con lo cual mantienen un caudal constante ante fluctuaciones de presión. Estos goteros son indicados para suelos con topografía irregular, y para sistemas con tuberías laterales de gran longitud. La cantidad de goteros y su espaciamiento son variables de diseño relacionadas a: tipo de cultivo (especialmente su patrón de desarrollo radicular), distancias de plantación y textura del suelo.

3-b. Cinta de riego y tuberías perforadas (T-Tape, Bi-Wall, Ro-Drip): Son tuberías que se fabrican de polietileno y/o polibutileno de pequeño espesor. Llevan en su interior un canal de flujo turbulento en vórtice que permite mantener las partículas extrañas en suspensión evitando obstrucciones. La cinta de riego puede durar una a tres temporadas de riego como máximo, y debe usarse para sectores de riego de dimensiones moderadas, especialmente se usan en hortalizas. Todas ellas suministran un caudal a lo largo de su recorrido, por lo que sus características no se definen en caudal por cada salida como un gotero, sino en caudal por metro lineal de cinta. Su principal inconveniente es la falta de uniformidad y las obturaciones por lo que necesitan buenos equipos de filtraje.

3-d. Microaspersores y Microjets: Estos emisores aplican el agua de riego como una lluvia de gotas finas a baja altura. Los microaspersores y microjets permiten dar un mojado localizado a las plantas. La diferencia entre microaspersores y microjets, es que en los primeros el chorro de agua va rotando y en los últimos es estático. Las descargas normales de un microaspersor o microjet son altas, llegando a usarse caudales entre 25 y 120 l/h. Cuando se emplean estos emisores los sistemas se diseñan para realizar riegos frecuentes. Las principales ventajas de regar con

microaspersores y microjets son las siguientes: se pueden aplicar altos caudales a baja presión (15 a 20 m.c.a.), se aplica el agua en forma localizada sobre la zona de las raíces del cultivo, aumentando por este motivo la eficiencia de aplicación del riego. La principal limitante del sistema es el costo de inversión, dado que se requiere generalmente de más de un microaspersor o microjet por planta. Los microjets son boquillas compuestas de una sola pieza, sujeta a un soporte que la eleva a una altura de 10 a 20 cm sobre el suelo. Los ángulos de mojado de un microjet pueden ser de 360°, 280°, 270°, 180°, 90° ó 40°, lo que resulta de gran utilidad. Así por ejemplo, con una boquilla de 300° se tiene un mojado casi circular excluyéndose del área de mojado un arco de 60° que no se humedece y que puede corresponder a la ubicación del tronco del árbol, de tal modo de no humedecer esa zona de la planta, evitando que se enferme. Los microaspersores son del mismo material que los microjets, pero compuestos de dos piezas, una base y una cabeza. En la base está el orificio de salida del agua y la cabeza la distribuye en áreas de 180° y 360°. Este tipo de emisores están usándose cada vez más, sustituyendo en algunos casos a los goteros y se usan casi exclusivamente en frutales. A pesar de tener diámetros de paso relativamente pequeños son poco sensibles a las obturaciones debido a la velocidad de salida del agua.

Diseño de una red de riego localizado

Todo proyecto de riego debe ser previamente diseñado. Existen dos tipos de diseño, el agronómico que es el que determina los requerimientos de agua del cultivo y el hidráulico que dimensiona el tipo de bomba necesaria y los diámetros, longitudes y distribución de las tuberías.

Información básica

Antes de realizar el diseño agronómico e hidráulico de una red de riego localizado, es necesario contar con información básica del terreno a regar. Dicha información necesaria es la misma que la descrita para riego por aspersión en el Capítulo 2 de este manual.

Diseño agronómico de una red de riego localizado

Al ser riegos de alta frecuencia, para calcular los requerimientos de agua de un cultivo regado por microriego generalmente se tiene en cuenta la ET diaria del cultivo en mm/día y el espacio asignado a cada planta de una línea.

El volumen de agua requerido por árbol o cultivo será:

$$V_a = E_{Ta} \times EP \times SH \quad [\text{Eq. 3-1}]$$

Donde:

V_a : Volumen requerido en litros por planta por día.

EP : Espaciamiento entre arboles o cultivos en la hilera en (m)

SH : Espaciamiento entre hileras (m).

El volumen total de aplicación estará dado por el V_a dividido la eficiencia de aplicación.

$$V_t = \frac{V_a}{EF} \quad [\text{Eq. 3-2}]$$

Donde:

V_t : Volumen total requerido en litros por planta por día.

EF : Eficiencia de aplicación

La elección del emisor está basada en varios parámetros como costos, velocidad de aplicación, posibilidad de limpieza, compensación de presión. Un aspecto a tener en cuenta es la fuente de agua, hay que evitar usar emisores con orificios demasiado pequeños si el agua de riego contiene muchas impurezas. Respecto del número de emisores por planta, esto dependerá del tamaño de la planta, del espaciamiento, del tipo de emisor, de las horas disponibles para regar y del área de suelo que se quiera efectivamente mojar. En Misiones, las raíces de árboles adultos tienden a extenderse horizontalmente a través del suelo debido a las lluvias abundantes en buena parte del año, por lo que es importante al diseñar asegurar una buena cobertura de mojado. El riego localizado normalmente es de alta frecuencia, razón por la cual los sistemas de

goteo proveen cobertura solamente a un pequeño porcentaje del sistema radicular desde que el agua es repuesta todos los días. En promedio, es suficiente lograr un bulbo de mojado que cubra el 30% de todo el sistema radicular. Esto técnicamente es así, pero en Misiones debido a la tendencia a distribución de raicillas de absorción hacia los laterales, es importante una buena cobertura y esta cobertura de mojado no debe subestimarse. Debido a ello, tanto el caudal del emisor como su espaciamiento deben ser cuidadosamente elegidos según el distanciamiento entre árboles y la textura del suelo. En el Cuadro 3-2 se presentan algunas observaciones a modo de guía.

Una vez conocido el volumen que debe aplicarse, es necesario seleccionar el tipo de emisor (goteros, cintas, microsaspersor), el número de emisores por planta y el espaciamiento de los emisores en la línea.

Ejemplos

Goteros: Al seleccionar un gotero debe tenerse en cuenta aspectos como: las necesidades de agua de cultivo, el marco de plantación, la textura del suelo a regar, la relación caudal/presión, la sensibilidad a los taponamientos, la durabilidad, si son autocompensados o no entre otros aspectos. La textura del suelo a regar determina a la forma del bulbo mojado. Con el fin de producir el porcentaje de mojado necesario para el desarrollo del cultivo, en suelos arenosos los goteros deben tener un espaciamiento menor que en suelos arcillosos. Los goteros más comunes entregan caudales entre 2 y 4 litros hora y trabajan a presiones entre 10 a 15 m.c.a o 0.7 a 1 lb/pulg² (Cuadro 3-3). La pendiente también influye sobre el tipo de gotero a seleccionar. Así para terrenos con pendientes superiores al 5% es recomendable optar por goteros autocompensados.

Cuadro 3-2. Sugerencia de número, tipo y disposición de emisores según especie en la provincia

de Misiones

Especie	Tipo emisor	Sugerencia
Frutales. carozo	Goteros	2 laterales c/goteros 4 l/h a 1 m en la línea.
	Microaspersor	Al menos un aspersor
Hortalizas	Gotero	1 lateral por hilera c/goteros de 4 l/h a 0.5 m en la línea
	Cinta	1 o dos cintas por mesa con emisores cada 20 cm
Manzana	Goteros	2 laterales c/goteros 4 l/h a 1 m en la línea.
	Microaspersor	Al menos un microaspersor
Vid	Goteros	1 lateral c/goteros de 2 a 4 l/h a 1 m en la línea.
Frutilla	Gotero	1 lateral por hilera c/goteros de 4 l/h a 0.5 m en la línea.
	Cinta	1 o dos cintas por mesa con emisores espaciados a 0.2 m
Cítricos	Goteros	2 laterales c/goteros 4 l/h a 1 m en la línea.
	Microaspersor	Al menos un microaspersor por planta
Nuez Pecan	Microaspersor	Al menos un microaspersor por planta
Arándanos	Gotero	1 lateral por hilera de plantas c/goteros de 4 l/h a 1 m en la línea.

Cuadro 3-3. Relación caudal/presión

Relación caudal/presión del emisor

Caudal l/hora	Presión m.c.a					
	5	10	15	20	25	30
2	1,5	2,05	2,45	2,85	3,15	3,15
4	2,9	4,10	4,9	5,8	6,5	7,1
8	5,8	8	9,8	11,3	12,6	13.8

Fuente: CNR

El número de goteros va a depender de la proporción de suelo que queremos mojar la cual suele ser 30 a 40%.

$$N^{\circ}\text{goteros} \geq \frac{(SH \times ES) \times PM}{100 \times Am} \quad [\text{Eq. 3-3}]$$

Donde

SH: Espaciamiento entre plantas en la hilera m

ES: Espaciamiento entre hileras m

PM: Porcentaje mojado

Am: Área mojada por el emisor

El área mojada por el emisor depende de varios factores para calcularla se utiliza la siguiente ecuación.

$$Am = \pi \cdot D^2 / 4 \quad [\text{Eq. 3-4}]$$

El diámetro mojado del emisor puede obtenerse del Cuadro 3-4.

Cuadro 3-4. Diámetro mojado según textura, profundidad efectiva y estratificación del suelo.

Profundidad raíces y Textura	Grados de estratificación del suelo		
	Homogéneo	Estratificado	En capas
Diámetro mojado en m			
Profundidad 80 cm			
Ligera	0,50	0,80	1,10
Media	1,00	1,25	1,70
Pesada	1,10	1,70	2,00
Profundidad 170 cm			
Ligera	0,80	1,50	2,00
Media	1,25	2,25	3,00
Pesada	1,70	1,70	2,50

Fuente: Watts & Holzapfel, 1990.

Por ejemplo en un sistema radicular de 1.80 cm, en una textura media de un suelo homogéneo el diámetro mojado sería 1.25 m por lo tanto

$$Am = 3.1416 \times (1.25)^2 / 4 = 1.23 \text{ m}^2$$

El marco de plantación de 3.5 x 3.5 m = 12.25 m²

El número de goteros sería

$$N^{\circ} \text{goteros} \geq \frac{(12.25 \text{ m}^2) \times 30}{100 \times 1.23 \text{ m}^2} = 2.98 \approx 3 \text{ goteros}$$

La siguiente pregunta es a que distanciamiento colocar los emisores en la línea para asegurar que el traslape de los bulbos moje ese 30% que se desea mojar. La distancia entre plantas en el ejemplo es 3,5 m por lo tanto el distanciamiento será

$$De = ES / N^{\circ} \text{ goteros} \quad [\text{Eq. 3-5}]$$

Donde:

De: distancia entre emisores m

En el ejemplo

$$De = 3.5 / 3 = 1.16 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

Resta calcular el tiempo de riego. Para ello es necesario conocer el caudal requerido el cual es la evapotranspiración de diseño multiplicada por el marco de plantación y llevado a litros/árbol/día. Por ejemplo, si la evaporación de bandeja para el mes de máxima demanda es 5 mm día, el KC es 1,1 porque está en su mes de máximo consumo y el K de bandeja se asume 0,8 y para una eficiencia de 90%.

$$ETa = (5 \text{ mm/día} \times 1.1 \times 0.8) / 0.9 = 4.88 \text{ mm/día}$$

$$Va = 0.00488 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 0.5978 \text{ m}^3 \approx 60 \text{ litros/planta/día}$$

Si se han seleccionado goteros que entregan 4 litros/hora

Entonces el tiempo de riego (TR) será:

$$TR = Va / N \text{ goteros} \times \text{caudal goteros} \quad [\text{Eq. 3-6}]$$

$$TR = 60 \text{ (litros/día)} / 3 \times 4 = 5 \text{ horas de riego diario}$$

Si se hubiera seleccionado un gotero cuyo caudal fuera de 8 litros hora debería regarse la mitad de tiempo.

Frecuencia de riego

Respecto de la frecuencia de riego FR, de ser necesario se utiliza la ecuación vista en el capítulo aspersión. Sin embargo, en sistemas de riego por goteo se recomienda reponer láminas de agua diariamente, ya que las aplicaciones son controladas con mayor precisión y las pérdidas por evaporación serán mínimas. De esta manera, lo habitual es adoptar una frecuencia diaria. En Misiones dado las características de los suelos pudieran adoptarse otras frecuencias pero nunca mayor a 3 días.

Ejemplo de diseño agronómico de un sistema de riego por goteo utilizando cintas de riego.

Diseño de un riego de un cultivo de repollo, regado por cinta. Las plantas están separadas 0,4 m entre ellas y 0,7m entre líneas. Supondremos un Kc de 0,9 para su máximo requerimiento en el mes de mayo. La evapotranspiración es de 2,9 mm/día.

Entonces:

$$E_{td} = \frac{2.1 \times 0.9}{0.8} = 2.36 \text{ mm/día}$$

El volumen requerido por planta será

$$V_a = \frac{2.36 \text{ mm}}{\text{día}} \times 0.4 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} = 0.66 \text{ l/día/planta}$$

Supongamos que en 100 metros de longitud hay 250 plantas de repollo, en 1 m habrá 2.5 plantas.

Entonces:

$$V_{ml} = V_t \times N^{\circ} \text{plantas} \quad [\text{Eq. 3-7}]$$

Donde:

V_{ml} : Volumen de agua que se debe entregar por metro lineal de cinta (l/día/m)

V_t : Volumen a aplicar por planta (l/día/m),

N° plantas: Número de plantas por metro lineal

Reemplazando

$$V_{ml} = 0.66 \text{ l/planta/día} \times 2.5 \text{ planta/m} = 1.65 \text{ l/día/m}$$

Para saber cuánto tiempo debemos regar para entregar dicho caudal, debemos conocer el caudal que entrega la cinta. Supongamos una cinta que entregue 4 litros/hora/metro.

Entonces el tiempo de riego será

$$T_{riego} = \frac{V_{ml}}{Q_{cm}} = (1.65 \text{ l/día/m}) / (4 \text{ l/h/m}) = 0.4125 \text{ horas de riego} \approx 25 \text{ minutos}$$

Donde:

T_{riego} : Tiempo de riego con cinta en horas

Q_{cm} : Caudal que entrega la cinta en l/h/m

V_{ml} : Volumen que se debe entregar por metro lineal de cinta diariamente (l/día/metro)

Diseño hidráulico de una red de riego localizado

Una vez realizado el diseño agronómico de una red de riego, debe efectuarse el diseño hidráulico el cual consiste en calcular la red de tuberías (longitud, diámetro), y la presión que el sistema requiere de manera tal de seleccionar la bomba que entregue el caudal y la presión necesaria mediante la fórmula:

$$\text{Potencia Bomba (HP)} = \frac{HT \times Q_{\text{diseño}}}{\eta \times 0.75} \quad [\text{Eq. 3-8}]$$

Donde:

HT: Altura de carga o presión total requerida en el sistema (m)

Q diseño: Caudal de diseño (l/s)

H: Rendimiento de la bomba (factor)

0.75: Rendimiento del motor.

Lo primero que debemos conocer es el caudal de diseño. Siguiendo con el ejemplo del diseño agronómico de goteo visto anteriormente, vamos a suponer que deseamos regar 3 hectáreas del ejemplo todas al mismo tiempo. El número de plantas por ha es 816 plantas, (10000 m²/3.5 m x 3.5 m)

$$\begin{aligned} Q_{\text{diseño}} &= 816 \text{ (planta/ha)} \times 3 \text{ has} \times 3 \text{ (goteros/planta)} \times 4 \text{ (litros/hora} \times \text{gotero)} = \\ &= 29376 \text{ l/hora} = 8.16 \text{ l/s} \end{aligned}$$

La presión total que el sistema debe entregar corresponde a la altura de carga total que incluye la presión de trabajo de los emisores, pendiente si esta es negativa, las pérdidas de cargas en todas las tuberías y las pérdidas de carga de las singularidades.

En el ejemplo

Presión de trabajo del gotero es 12 m.c.a

La pendiente es 2 metros

El caudal de diseño es 8.16 l/s

Resta conocer las pérdidas de carga en las tuberías: Principal, secundaria, y laterales y las pérdidas de carga por singularidades.

Para las pérdidas de carga en las tuberías deben conocerse el diámetro interno de las mismas, el material y la longitud. Para su cálculo las fórmulas más utilizadas son las de Darcy & Weisbach o la de Hazen & Willams. Emplearemos en el ejemplo la de Hazen & Willams.

Pérdida de carga tubería principal

$$H_f = J \times L$$

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(C \times 150)^{1.85} \times D^{4.86}}$$

Donde:

J: Pérdida de carga (m).

Q: Caudal (m³/s).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro (m).

$$J = \frac{0.00816^{1.85}}{(0.28 \times 150)^{1.85} \times 0.105^{4.86}} = 0.0077 \text{ m/m}$$

Se asume en el ejemplo que la distancia de la fuente de agua a la unidad de riego que es el tramo que corresponde de tubería principal es de 100 m. entonces:

$$H_f = J \times L = 0.0077 \times 100 = 0.77 \text{ (m.c.a)}$$

Donde:

H_f: Pérdida de carga en la tubería (m.c.a)

L: Largo de la tubería (m)

Pérdidas de carga tubería secundaria

Se asume en el ejemplo que la superficie a regar es un predio de 100 m de largo por 300 de ancho y que a la mitad ubicamos la derivación de la tubería secundaria. Es decir L es igual a 150 m. Pero debido a que se quiere regar todo el predio ambas

tuberías operarán simultáneamente por lo tanto L total es 300. El caudal Q es la mitad de caudal total es decir 0.00408 m³/seg.

$$J = \frac{0.00408^{1.85}}{(0.28 \times 150)^{1.85} \times 0.0864^{4.86}} = 0.00556 \text{ m/m}$$

$$H_f = J \times L = 0.00556 \times 300 = 1.67 \text{ m.c.a}$$

Pérdida de carga laterales

La pérdida de carga de tuberías laterales en riego localizado normalmente no son calculadas, sino que es un valor tabulado de fábrica, según el modelo de gotero hay una longitud máxima de lateral admisible. Esta longitud máxima está basada en el criterio de uniformidad, que establece que debe mantenerse una variación máxima de descarga del gotero no superior al 10% de la descarga nominal. Así cada gotero tiene para cada diámetro nominal de lateral, (12 mm, 16 mm o 20 mm), una longitud recomendable y la pérdida de carga es para esa longitud máxima admisible. En el ejemplo se eligió un gotero de 4 l/hora intercalado en tubería lateral de 16 mm de diámetro y se determinó un largo de lateral de 100 metros, utilizando el gráfico de pérdidas de cargas respectivo (In-Line Dripper Netafim). En dicho gráfico, para 100 m de longitud de lateral y goteros a 1 m de distancia, resulta una pérdida de carga de 1,6 m en el lateral. Otra forma de proyectar el lateral es aplicar un criterio arbitrario que establece que la máxima pérdida de carga admisible por tuberías laterales es 20 % de la presión de trabajo. Así un gotero cuya presión de trabajo sea 12 m.c.a, admitiría 2,4 m como máxima pérdida de carga. Entonces cada diámetro de lateral entregará un largo máximo de lateral para esa pérdida de carga y debe dimensionarse cada sector de riego según esa longitud

De esta manera el cálculo de H_f es igual a:

$$HT = 0.77 + 1.67 + 1.6 = 4.04 \text{ m.c.a}$$

Pérdidas de carga en singularidades

$$H_s = 4.04 \times 0.15 = 0.6 \text{ m.c.a}$$

Además se considera utilizar 2 filtros cuya pérdida de carga es de 5 m.c.a cada uno. De esta manera la Altura de carga total (HT) es igual a

$$HT = 4.04 + 0.6 + 12 + 2 + 0.90 + 10 = 29.54 \text{ m.c.a}$$

Potencia Bomba

$$HP = 8.18 \text{ l/s} \times 29.54 / 75 \times 0.75 = 4.29 \approx 4.5 \text{ HP}^*$$

* En obras de riego, la superficie total de riego frecuentemente es sectorizada de manera tal de operar el riego por unidad de riego, regando un determinado número de unidades a la vez. Por ejemplo en el diseño que venimos ejemplificando podría haberse determinado regar una hectárea a la vez. Así la mayoría de los cálculos, aunque no todos, se reducirían aproximadamente a un tercio y una bomba de 1,5 HP de potencia alcanzaría para regar la superficie del ejemplo. Se expuso el caso de regar simultáneamente toda la superficie para remarcar que en los cálculos hidráulicos todas las pérdidas de carga deben ser consideradas según el plan de operación de la red. En caso contrario, el riego tendrá altos coeficientes de variación. Es frecuente observar como en redes mal diseñadas se riegan uniformemente las primeras plantas en una línea, mientras que a las últimas no les llega el agua por falta de presión en todo el sistema, como consecuencia de un sub dimensionamiento hidráulico de la red. El área a regar debe dividirse en unidades que se rieguen con determinada frecuencia y durante una cantidad de horas establecidas para cada día. El número de unidades dependerá de la frecuencia de riego y del tiempo de riego diario determinado para los goteros. Para que estas unidades puedan ser abastecidas con una tubería principal, debe colocarse una válvula que permita operarla en forma independiente. Una vez establecidas las unidades del área a regar, estas se dividen en subunidades para

facilitar la operación eficiente del sistema. Estas subunidades se abastecen mediante tuberías secundarias o submatrices. El número óptimo de subunidades como ya se ha mencionado se determina con criterios económicos (costo de tuberías, bombeo, personal etc.).

Observaciones adicionales

En los puntos de diseño hasta ahora vistos, por razones de practicidad deliberadamente se han omitido algunas consideraciones que sin embargo deben ser mencionadas. La primera de ellas es sobre el porcentaje de sombreado. Un factor que a veces es tenido en cuenta cuando se hace el diseño agronómico de la red de riego localizado. El porcentaje de sombreado es un factor que se agrega a la ecuación para calcular el volumen a aplicar y que tiene en cuenta el área de sombra que producen al mediodía las plantaciones. Este valor reduce el valor de la ETa de los cultivos para determinar el agua neta que debe reponerse en cada riego. Algunos proyectistas usan el porcentaje de sombreado en sus cálculos, lo que reduce el volumen a aplicar y otros prefieren considerar este factor igual a 1, por lo que no modifica el resultado de la ecuación. Así la ecuación queda:

$$ETa = Eb \times 0.8 \times [P + \frac{1}{2} (1 - P)] \quad [\text{Eq. 3-9}]$$

P: es el porcentaje de sombreado al mediodía expresado como factor.

El segundo aspecto tiene que ver con el diseño hidráulico. En el diseño expuesto anteriormente no se ha considerado un factor llamado factor de salidas múltiples. El factor de salidas múltiples F calculado mediante el coeficiente f de Christiansen (descrito en el capítulo dedicado a aspersión), es aplicable al cálculo de la pérdida de carga en tuberías secundarias, terciarias si las hubiera, y laterales que son los que tienen salidas múltiples. En el caso de secundarias las múltiples salidas corresponden a cada lateral y en el caso de laterales a cada emisor. El criterio al aplicar un factor de reducción, es considerar que cada descarga va reduciendo el caudal que fluye por la tubería, y consecuentemente esto va reduciendo la pérdida de carga según el número de salidas. Algunos proyectistas usan este factor calculando las pérdidas de carga

incluyendo el coeficiente de Christainsen y otros no lo incluyen. Los que no lo incluyen sobredimensionan el requerimiento de presión considerando este excedente como un factor de seguridad en cuanto al dimensionamiento de la bomba. Otros proyectistas toman un porcentaje de reducción arbitrario reduciendo entre 5 y 10 % la pérdida de carga lo que atribuyen al factor de salidas múltiples.

El tercer y cuarto aspecto que se quiere mencionar está relacionado también al diseño hidráulico. Las pérdidas de carga por singularidades tienen varias opciones para su cálculo. El más simple es consultar el valor de tabla de cada singularidad puesta en la red, incluyendo accesorios como filtros e inyectores de fertilizantes. La segunda vía es asumir que la pérdida de carga por singularidades equivale a un 15% de las pérdidas de carga por tuberías. En el ejemplo presentado anteriormente hemos seguido esa aproximación. La tercera opción es calcular la pérdida de carga de cada singularidad según la fórmula que se describe en el Capítulo 2 de este manual.

Finalmente, una consideración sobre el diseño del diámetro de las tuberías principal y secundaria. Cuando se diseña el diámetro de las tuberías pueden aplicarse criterios de diámetro óptimo económico cuya explicación escapa a los objetivos de este manual. La segunda opción es seleccionar los diámetros aplicando criterios de diseño. En este sentido, un criterio frecuentemente usado es que las pérdidas por fricción en tuberías no sobrepase el 20% de la presión de trabajo del emisor, este concepto en riego por aspersión es bastante útil. En riego localizado no si se tiene en cuenta la baja presión de trabajo de los emisores Debido a ello en riego localizado es preferible usar el criterio que la velocidad de agua dentro de la tubería no sobrepase 1.5 m/s.

Red de tuberías

El diseño de la red de tuberías debe realizarse de modo que permita una aplicación uniforme del agua mediante goteros, con los menores costos de tuberías y equipo de bombeo y de operación del sistema. Además, deben definirse los tipos de tuberías a utilizar y sus presiones de trabajo necesarias. Las diferencias de descarga de los emisores en una unidad de riego no deben ser superiores al 10% de la descarga promedio. Por razones prácticas, se supone la descarga promedio como la descarga del gotero a la presión mínima de diseño. Este criterio de uniformidad se recomienda

aplicarlo al diseño de las tuberías, pero también debe cuidarse de no aumentar significativamente los costos del sistema al aplicarlo.

Diseño de Tuberías laterales

El diseño de las tuberías laterales depende de la pendiente del terreno, de la descarga del gotero y de su espaciamiento. Además, dependerá de la pérdida de carga disponible de acuerdo al criterio de uniformidad. El material utilizado normalmente en estas tuberías es el polietileno y pueden ser de los siguientes diámetros nominales: 12 mm, 16 mm y 20 mm. El cálculo de las pérdidas de carga que se producen en estas tuberías depende del tipo de gotero que se intercala o inserta en ellas. Los fabricantes de goteros entregan gráficos y tablas de cálculo para determinar las descargas de goteros a distintas presiones de trabajo, la longitud máxima recomendada para líneas de goteros en función de la pendiente del terreno, de la variación de flujo, y la pérdida de carga en la línea de goteros en función de la longitud de la línea y de la distancia entre goteros.

Diseño de Tuberías secundarias

El diseño de las tuberías secundarias de las cuales se derivan las tuberías laterales dependerá de la distancia entre líneas de goteros, y del caudal total de descarga de dichas líneas en los puntos de derivación. Además, dependerá de la pérdida de carga disponible de acuerdo al criterio de uniformidad. El material utilizado normalmente en estas tuberías es el PVC clase 4 o 6. Los diámetros nominales de tuberías más utilizados son de 32 a 200 mm. Estas tuberías tienen un largo estándar de 6 m. Normalmente, se diseñan submatrices de diámetros variables. Las pérdidas de carga que se producen en tuberías de PVC se determinan mediante la fórmula de Hazen & Williams o Darcy & Weisbach. Cuando se utilizan tuberías secundarias de un sólo diámetro, los tramos que tienen derivaciones laterales, se pueden calcular utilizando la fórmula de Christiansen detallada en el Capítulo Riego por Aspersión.

Diseño de la tubería principal

La tubería principal en general no tiene derivaciones y se calcula con el caudal total que ocurre al estar descargando todos los goteros de una unidad. El material de estas tuberías es normalmente PVC, utilizándose también tuberías de polietileno. Para el cálculo de las pérdidas de carga que se producen en estas tuberías se pueden utilizar las fórmulas de Hazen & Williams o de Darcy & Weisbach.

El diseño de redes por aspersión y microyet es muy similar al diseño por goteo con la única diferencia que debe considerarse el ángulo de mojado en el diseño.

FIGURAS 1 A 6

FIGURAS 7 A 11

FIGURAS 12 A 17

FIGURAS 18 A 22

FIGURAS 23 A 27

FIGURAS 28 A 33

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE BOMBAS PARA RIEGO

Las bombas son dispositivos utilizados en riego presurizado que entregan al sistema la presión necesaria para elevar, conducir y distribuir el agua de riego desde su punto de captación hasta el sector a regar. Existen diferentes tipos y modelos. Según la orientación del eje de la bomba esta puede ser vertical u horizontal. Según el tipo de motor que mueve la bomba estas pueden ser eléctricas (electrobombas) o a combustión (diesel o nafta). Existen bombas radiales (impulsan el agua en un ángulo de 90° respecto al eje) o helicoidales (impulsan el agua en forma paralela al eje) o una combinación de ambas (bombas mixtas).

En sistemas de riego que utilizan motores eléctricos son empleadas las de tipo radial o centrífuga, útiles cuando se requieren elevar caudales moderados a altas presiones. Cuando se requiere elevar grandes caudales a bajas presiones son indicadas las bombas de tipo helicoidal que como su nombre lo indica, trabajan impulsando el agua como si fuera una hélice. En bombas centrífugas el agua es aspirada por una tubería que sale desde el centro de la carcasa y es impulsada al exterior por la tubería de salida. Es decir, el agua sube impulsada por el gradiente de presión que se produce entre la atmósfera y el interior de la carcasa. Los álabes están diseñados para impulsar el agua hacia la zona externa del rodete. La tubería de aspiración debe estar perfectamente sellada al aire, para evitar que se rompa la columna aspirante y, por ende, se mantenga el diferencial de presión.

Criterios de dimensionamiento de una bomba

Las variables utilizadas para dimensionar una bomba son el caudal a elevar, la presión o altura manométrica total y la potencia.

1-Caudal: El caudal es el volumen que descarga la bomba por unidad de tiempo. Se expresa en litros por segundo, o litros por minutos, o $m^3 \text{ seg}^{-1}$.

2-Presión, carga hidráulica, altura manométrica total o dinámica: La presión de una bomba es la sumatoria de las siguientes alturas o presiones:

A-Altura estática

Se denomina altura o carga estática total a la diferencia de altura entre el punto de toma de agua y donde se entrega. Se divide en carga estática de aspiración y carga estática de elevación.

B-Las pérdidas de carga por fricción (H_f) y pérdidas por singularidades (H_s) que son calculadas con las fórmulas de diseño hidráulico descritos en los capítulos 2 y 3.

C- Requerimientos de presión (P) del sistema

Si la bomba debe mover un aspersor, o hacer salir agua a través de un gotero, se debe considerar la presión de trabajo de estos elementos de riego, valores que figuran en los respectivos catálogos.

D-Pérdidas de carga por singularidades y accesorios: Se deben considerar además, los requerimientos de presión o pérdidas de energía que se producen en accesorios de riego tales como filtros, válvulas, inyectoras de fertilizantes etc.

E-Altura representativa de velocidad ($V^2/2g$): Corresponde a la energía cinética del agua dentro de la tubería, que depende de la velocidad del agua (V). Se relaciona con la velocidad de salida del agua desde la tubería. Su valor, se expresa en m.c.a. Para efectos de diseño, ésta se suma a los requerimientos de presión del sistema, con el fin de obtener la Altura o Carga Manométrica Total.

Ejemplo:

Se desea bombear 12 lt/seg a través de una tubería de 90 mm de diámetro interior, entonces la altura de velocidad que se debe vencer se calcula utilizando la fórmula propuesta para el cálculo de la velocidad en el Capítulo 2.

$$V = \frac{4 \times 0.012}{\pi \times 0.0864^2} = 2.04 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto la altura representativa de velocidad es:

$$\frac{V^2}{2 \times g} = \frac{2.04^2}{2 \times 9.8} = 0.104m$$

Este valor, se debe considerar en el cálculo de la Altura Manométrica Total.

Potencia de la bomba

La energía que entrega la bomba al agua es la potencia de la bomba. De este modo, la potencia en el eje de la bomba considerando su eficiencia, es aquella que corresponde para elevar una determinada masa de agua por unidad de tiempo, comunicándole presión al fluido para vencer la altura de carga. Se puede determinar a partir de:

$$HP = \frac{Q \times H}{75 \times \eta} \quad [\text{Eq. 4-1}]$$

o expresada en Kilowatts

$$KW = \frac{Q \times H}{102 \times \eta} \quad [\text{Eq. 4-2}]$$

Donde:

HP: Potencia en el eje de la bomba (HP) (del inglés power horse = caballo fuerza)

KW: Potencia en el eje de la bomba (KW)

Q: Caudal elevado (l/s).

H: Carga o altura total o dinámica

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

Ejemplo

Se desean elevar 14 lt/s, con una carga manométrica total de 45 m y una eficiencia de la bomba de 75%. La potencia calculada es:

$$HP = \frac{14 \times 45}{75 \times 0.75} = 11.2 \text{ HP}$$

O bien en KW:

$$KW = \frac{14 \times 45}{102 \times 0.75} = 8.235 \text{ KW}$$

La bomba seleccionada deberá tener una potencia de por lo menos 12 HP. La potencia comunicada a la bomba es proporcionada por una máquina motriz la cual, en su eje, deberá entregar una potencia efectiva igual o mayor a la requerida por roce y otras; la potencia del motor se determina por la siguiente expresión:

$$Potencia \ motor = \frac{PBomba}{\eta_{motor}} \quad [Eq. 4-3]$$

Donde

η_{motor} : Eficiencia del motor

El valor de la potencia del motor eléctrico indica la potencia absorbida en la red y es aproximadamente un 20% mayor que las necesidades de la bomba. Las eficiencias de los motores eléctricos oscilan alrededor del 84% ($\eta = 0,84$); en cambio, los de combustión interna tienen una eficiencia menor ($\eta = 0.40$ a 0.60).

Curvas características

Las curvas características de las bombas son gráficos que figuran en los catálogos de bombas y son provistas por el fabricante (Ver Cuadro 1 en Anexos). Son curvas que relacionan presión, caudal, potencia y rendimiento. Antes de adquirir una bomba siempre debe consultarse su curva característica para dimensionarla adecuadamente según las necesidades. Cada bomba está diseñada para elevar un cierto caudal a una cierta altura con una cierta potencia y velocidad del rodete.

Para operar con estas curvas de catálogo, se deben seguir las siguientes etapas:

1. En los ejes horizontales de la figura, ubicar el caudal a impulsar en lt/s o lt/min.
2. En el eje vertical del gráfico, ubicar la altura manométrica total.
3. Desde los valores anteriormente citados, proyectar una línea vertical, para el caso del caudal y una línea horizontal, para el caso de la altura manométrica.
4. El punto de intersección de ambas líneas se desplaza hacia arriba, hasta tocar con la curva de diámetro de rodete más cercana.
5. La ubicación del punto anterior, indicará la eficiencia a la cual operará el sistema.
6. Para obtener la potencia, se prolonga una línea vertical desde el valor de caudal determinado, hacia el gráfico inferior de la figura, hasta interceptar la curva de igual diámetro de rodete.
7. Desde ese punto se prolonga una línea horizontal hasta el eje vertical del gráfico, el cual indicará la potencia que consumirá el sistema.

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

a- Si al seleccionar un tipo de bomba desde un catálogo, los valores de caudal que entrega esa bomba no satisfacen la altura manométrica necesaria, se debe descartar esa bomba y buscar otro tipo.

b- Si se satisfacen los requerimientos de caudal y altura manométrica, pero los valores de eficiencia son muy bajos, se debe descartar esa bomba y buscar una que entregue un valor de eficiencia mayor.

c- La potencia requerida por el sistema puede ser abastecida con las fuentes energéticas disponibles, es decir, electricidad mono o trifásica.

Estimación del diámetro

El diámetro para el sistema de impulsión se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\phi = \sqrt{(0.236 \times Q)} \quad [\text{Eq. 4.4}]$$

Donde

ϕ : Diámetro de la tubería (mm)

Q: Caudal a transportar en (l/h),

Ejemplo

Si el caudal a elevar es de 6000 l/h el diámetro estimado según la ecuación 4.4 será:

$$\phi = \sqrt{(0.236 \times 6000)} = 37.62 \text{ mm}$$

Por lo que se recomienda un diámetro de 50 mm.

Costos de operación

Los costos de operación de los equipos de bombeo se pueden determinar mediante las ecuaciones 4-5 si el motor es a combustión o 4-6 para motores eléctricos.

$$Cb = \frac{Q \text{ (lt/seg)} \times H \text{ (mca)} \times Cc \text{ (lt/HP/hora)} \times Pc \text{ (\$/lt)}}{75 \times Eb} \quad [\text{Eq. 4-5}]$$

$$Cb = \frac{Q \text{ (lt/seg)} \times H \text{ (mca)} \times Pe \text{ (\$/KWH)}}{100,57 \times Eb \times Eme} \quad [\text{Eq. 4-6}]$$

Donde:

Cb: Costo horario de bombeo, \$/hora

Q: Caudal

Cc: Consumo de combustible

PC: Precio del combustible

Pe: Precio de la energía eléctrica

Ef: Eficiencia de la bomba

Eme: Eficiencia del motor eléctrico

Consideraciones relacionadas a bombas para riego

Potencia para bombas eléctricas: Si la potencia del motor es superior a los 3 HP (2,2 KW), se debe contemplar la instalación de una red trifásica, debido a que se produce un alto consumo de energía durante el arranque o partida de la bomba.

Altura neta de Succión Positiva (NPSH): Es la cantidad de energía requerida para mover el agua dentro del impulsor, y depende del diseño de la bomba. Corresponde a la energía que necesita una bomba para no cavitarse. La presión con que inicia su movimiento el agua antes de entrar a la bomba es la atmosférica, y sabemos que al someter a un fluido a presiones menores que la atmosférica, el líquido tiende a hervir. En una tubería esto ocurre al momento que el equipo aspira el agua, ya que se debe desarrollar una presión menor a la atmosférica. En esa condición, se producirán zonas de baja presión que pueden producir burbujas de vapor las que al ser arrastradas a zonas de mayor presión interna colapsan. Este fenómeno se llama cavitación. El proceso al repetirse con alta frecuencia en la superficie metálica de la bomba, corroe el metal. Esto debe ser evitado. Cuando la altura neta de succión positiva evita la cavitación evitará también la producción de burbujas. Los fabricantes de los equipos de bombas, mediante pruebas de laboratorio, establecen el valor mínimo requerido de la altura neta de succión positiva (NPSHR)

Velocidad específica: Es la velocidad en r.p.m. (n) a la cual funcionaría el rodete si se redujera proporcionalmente su tamaño para dar un gasto igual a 1 con una carga total unitaria.

Cebado: Consiste en llenar de agua la tubería de succión y la carcasa de la bomba con el propósito de provocar la succión del agua evitando que queden bolsas

de aire en su interior. En las bombas denominadas autocebantes, este proceso no es necesario.

Golpe de ariete: Cuando se interrumpe el flujo de agua en una tubería debido a cierres bruscos de válvulas y/o cortes súbitos de energía, se producen variaciones en la presión, que afecta a las paredes de la cañería. A estas presiones se les denomina golpe de ariete; su efecto puede atenuarse utilizando válvulas de seguridad y dispositivos reguladores de presión.

Sistema de impulsión: La sección de aspiración debe contar con un chupador y una válvula de pie.

Bombas en paralelo: Con esta conexión se logra aumentar el caudal de entrada. Consiste en colocar 2 o más bombas a aspirar desde un mismo lugar, con el propósito de aumentar el caudal elevado. La bomba que entrega la menor altura de elevación será la utilizada para el diseño del sistema en paralelo.

Bombas en series: Utilizando este sistema se puede lograr una mayor altura de elevación, manteniendo constante el caudal (Q). El caudal que eleva la primera bomba es captado por la segunda y el que ésta eleva es impulsado por la siguiente, lo que puede ocurrir en varias etapas con el propósito de aumentar la altura. Se deben utilizar bombas de la misma potencia para completar el sistema; cada una de estas bombas, deberá estar situada de manera que trabajen a la misma carga total, es decir, que cada una de ellas eleven agua a la misma altura manométrica total.

Aspiración: Una bomba puede, teóricamente, aspirar agua desde 10,33 metros de profundidad, que es el equivalente a una atmósfera de presión esto significa que la máxima distancia a la que puede colocarse la bomba sobre la superficie de agua libre es de 10,33 m a 45° de latitud y a nivel del mar. En la práctica, esta altura de succión es menor debido a factores como la altura de instalación respecto al nivel del mar, a la tensión de vapor de agua, a la altura neta de succión positiva (NPSH) y a las pérdidas por fricción del agua en la tubería de aspiración. Por ello para bombas centrifugas se recomienda 6,5 m como máxima altura de succión y 8 m para bombas autocebantes.

Leyes de afinidad: Todo cambio en la velocidad con que giran los impulsores producirá cambios la presión, capacidad, potencia y velocidad específica, según diferentes proporciones que pueden ser calculadas mediante formulas de afinidad.

CAPÍTULO 5 FERTIRRIGACIÓN

Fertirrigación es el proceso mediante el cual los fertilizantes que un cultivo necesita son aplicados junto con el agua de riego. Cualquier nutriente puede ser incorporado en el agua de riego, siempre que sea soluble en ella. Cuando se aplican otras sustancias que no son fertilizantes (fungicidas, nematicidas, insecticidas, hipoclorito de sodio, ácidos), el riego recibe el nombre de quemigación.

Sistemas de riego para la fertirrigación

El método de riego empleado para fertirrigación está determinado por su eficiencia. Técnicamente cualquier método de riego puede usarse para fertirriego. Pero si un sistema tiene una eficiencia de aplicación de 40% (sistema superficial), quiere decir que por cada 100 litros de agua aplicada 60 litros se pierden por escorrentía y/o drenaje profundo. En consecuencia, de 100 kg de fertilizantes aplicados 60 kg también se perderán con el agua de riego. Por esa razón, para fertirriego se usan sistemas localizados, aunque también los pivotes de aspersión (eficiencia 80 %) normalmente operan fertirrigando. El riego localizado, sea goteo, cinta, microaspersión o microjet, optimiza la aplicación de fertilizantes y agroquímicos a través del sistema de riego porque coloca el fertilizante en la zona que rodea las raíces de absorción. Tiene además la ventaja de poder establecer un programa de fertilización de acuerdo al estado de crecimiento del cultivo, ya que al regar frecuentemente es fácil adaptar las dosis aplicadas semanalmente.

Fertilizantes adecuados para fertirrigación

Los fertilizantes utilizados con el agua de riego deben cumplir dos requisitos, deben ser solubles en agua y, si se aplican más de uno a la vez, estos deben ser compatibles entre sí para evitar precipitados que taponen los emisores. Los mejores fertilizantes en orden de solubilidad son: en primer lugar todos aquellos formulados especialmente para fertirrigación. Le siguen: urea [46-0-0], nitrato de calcio [15.5-0-0],

nitrate de sodio [16-0-0], cloruro de potasio [0-0-60], fosfato diamónico [16-48-0], nitrate de amonio [34-0-0] y sulfato de amonio [21-0-0]. Los menos solubles son el sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro. Los productos de baja solubilidad no deben ser utilizados en fertirrigación. Cuanto más puro sea un fertilizante más adecuado será para fertirrigación.

El segundo aspecto sobre fertilizantes adecuados está relacionado con la compatibilidad de mezclas fertilizantes. No se deben mezclar fertilizantes que contengan calcio con otros que contengan fósforo, ya que la reacción química de ambos productos puede formar fosfato de calcio el cual obstruye los emisores.

Preparación de la solución madre

En la preparación de la solución madre se debe utilizar el volumen de agua necesario para disolver todo el fertilizante. La Ecuación 5-1 permite estimar el volumen de agua requerido dado una cierta cantidad de fertilizante a disolver

$$V_{\text{agua}} = \frac{F_{\text{disolver}} (\text{kg})}{\text{SF} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}}\right)} \times 1200 \quad [\text{Eq. 5-1}]$$

Donde:

V_{agua}: Volumen mínimo de agua requerido para solubilizar una determinada cantidad de fertilizante (l)

F_{disolver} = Cantidad de fertilizante a disolver (kg)

SP = Solubilidad del fertilizante (g/l). Este valor se obtiene de tablas o en los marbetes de los fertilizantes.

1200 = factor de unidades (gramos a kilos) e involucra un factor de seguridad de 20 % para compensar el efecto del cambio de la temperatura de la solución madre en la solubilidad del compuesto.

Ejemplo

Se desea aplicar 2 kilos de nitrato de calcio. La solubilidad de este compuesto es 1.202 kg por litro de agua el volumen de agua para disolver esta cantidad de fertilizante sería:

$$V_{\text{agua}} = \frac{2 \text{ kg}}{1.202 \text{ g/l}} \times 1200 = 1.996 \cong 2 \text{ litros de agua}$$

Procedimiento para preparar la solución madre

- 1° Agregar agua a un balde o deposito hasta la mitad del total de solución a preparar.
- 2° Adicionar el fertilizante.
- 3° Agitar hasta que todo el producto se encuentre disuelto.
- 4° Agregar agua hasta completar el volumen necesario y agitar nuevamente.
- 5° Inyectar la solución al sistema de riego.

Sistemas de inyección de fertilizantes

Los métodos de inyección más empleados son: inyector que utiliza la presión del agua en la red de cañerías (inyector Venturi), bombas auxiliares, tanques presurizados e inyección aprovechando la succión positiva en el chupador de la bomba.

a. Inyector Venturi: Es un dispositivo hidráulico con forma de dos embudos unidos por la parte más angosta. El agua al pasar por la reducción aumenta rápidamente su velocidad. Esto provoca una presión negativa en la sección posterior que es aprovechada para inyectar una solución madre en ese punto. Hay diversos tamaños y modelos en función de: caudal de succión deseado (l/h), caudal que pasa por el inyector (l/min), pérdida de carga que produce al sistema (m.c.a) y modo de instalación. En general, el Venturi se instala en una tubería secundaria utilizando una válvula de tipo compuerta o mariposa. En otras instalaciones, ésta puede ser reemplazada por un filtro de malla o una válvula reguladora de presión. Si no se desea

alterar significativamente la presión de todo el sistema de riego, se puede utilizar una bomba centrífuga para generar la diferencia de presión. Esta bomba debe ser instalada en la tubería secundaria o como parte del sistema de bombeo. El flujo principal debe dividirse en dos, pasando uno de ellos por el inyector (flujo secundario). La diferencia de presión entre la entrada y salida del inyector determina el flujo a través de este dispositivo y el caudal de succión. Cuando la válvula reguladora está completamente cerrada, todo el flujo se conduce a través del inyector y en ese caso la succión es máxima. El problema asociado a esta situación es la enorme pérdida de carga inducida al sistema. Si la válvula está completamente abierta, la diferencia de presión entre los puntos anterior y posterior es mínima, por lo tanto el flujo secundario es muy bajo y el flujo de succión cero.

Operación: La operación del inyector comienza con la apertura de las dos válvulas auxiliares, una instalada a la entrada y la otra a la salida del Venturi. Para lograr succión se debe cerrar parcialmente la válvula reguladora de presión hasta que se haya conseguido el flujo de succión propio del dispositivo. Cuando se desea que el sistema termine de operar, basta con abrir totalmente la válvula reguladora de presión y cerrar totalmente una de las válvulas auxiliares.

La pérdida de energía (H_f) que provoca la instalación y operación del Venturi debe ser calculada en forma precisa durante el proceso de diseño del sistema de riego, para ello se debe consultar el manual del producto ya que la pérdida de carga la constituye la diferencia de presión entre la entrada y salida del dispositivo. En el rango de poca pérdida de presión (hasta 10 m.c.a), el caudal de inyección es bajo. Para trabajar con el caudal nominal del inyector (caudal máximo), la diferencia de presión entre la entrada y la salida debe ser grande. En la práctica esto se consigue instalando el inyector asociado a la bomba principal.

Ejemplo

Se quiere fertirrigar 2000 m² de invernadero de tomates y se desea aplicar el equivalente a 3 unidades de nitrógeno por hectárea en la forma de nitrato de potasio. El recipiente para preparar la solución madre es de 50 litros. El caudal del sistema de riego es de 2.5 lt/s y una intensidad de precipitación de 0.91 mm/hora. La evaporación

de bandeja para la semana es de 5 mm/día. Se desea conocer cómo preparar la solución madre a inyectar utilizando un Venturi instalado en una red secundaria que tiene capacidad para derivar 100 l del caudal principal (caudal secundario).

Paso 1: Calcular el tiempo de riego

$$ET_p = EB \times K_b \times K_c \quad [\text{Eq. 5-2}]$$

Donde:

Etc Evapotranspiración potencial (mm/día)

EB: Evaporación de bandeja (mm/día)

Kb: Coeficiente de bandeja

Kc: Coeficiente de cultivo

Datos

EB = 5 mm/día

Kb=0.8

Kc=1.0.

La evapotranspiración del cultivo (ET) es 4 mm/día. Asumiendo una eficiencia de riego de 90%, la altura de agua a aplicar (ETa) es $4/0.9=4.44$ mm/día.

El tiempo de riego será igual a la ETa dividida la precipitación máxima

$$TR = \frac{ET_a}{P_{max}} = \frac{4.44}{0.92} \times \frac{\text{mm/d}}{\text{mm/h}} = 4.82 \text{ horas} \cong 5 \text{ horas}$$

El tiempo de riego será igual a 5 horas (300 minutos). El tiempo efectivo para inyección sin embargo deberá ser 260 minutos. Esto debido a que una vez operando el riego debe esperarse 10 minutos antes de iniciar la inyección y finalizarse los mismos 30 minutos antes de cerrar el riego con el fin que los últimos minutos permitan enjuagar todo resto de fertilizante de las tuberías.

Paso 2: Calcular la cantidad de fertilizante a disolver

En segundo lugar debe calcularse cuantos kg de fertilizante hay que disolver para preparar la solución madre. Para calcularlo, se sabe que la superficie a cultivar es 2000 m², es decir 20 % de hectárea y en el ejemplo se requieren 3 unidades de N por hectárea.

$$\text{Fertilizante a disolver} = \frac{3}{0.13} \times 0.2 = 4.61 \text{ kg KNO}_3 \quad [\text{Eq. 5-4}]$$

La solubilidad de/ KNO₃ es de 133 g/l, por lo tanto se necesita disponer de 42 litros de solución de acuerdo a la Ecuación 5-1. Para ello, pesar 4.61 kg de fertilizante, agregar 20 litros de agua, luego agitar vigorosamente y luego completar con agua hasta alcanzar 41.6 litros de solución madre.

Paso 3. Estimar el caudal del inyector (Q_i).

Como se dispone de 260 minutos para efectuar la inyección, el caudal del inyector es de 0.116 l/minuto.

$$Q_{\text{inyeccion}} = \frac{41.6}{260} = 0.16 \text{ l/minuto} \quad [\text{Eq. 5-5}]$$

Finalmente

Se necesita 4.61 kg de KNO₃ inyectado. El volumen de solución madre es 41.6 litros.

Bombas inyectoras auxiliares

Otra opción para inyectar fertilizantes es usar una bomba inyectora, que a diferencia del Venturi permite una dosificación precisa del químico a inyectar. Son bombas de bajo caudal y alta presión de trabajo, y están contruidos de materiales

resistentes a la corrosión como acero inoxidable o plásticos especiales. Existen dos tipos de bombas, las de membrana y las centrífugas. Las de membrana son indicadas para la aplicación de ácidos en donde se requiere inyectar en forma continua un caudal pequeño. Las bombas centrífugas son de mayor caudal y permiten la inyección de grandes volúmenes de solución madre en poco tiempo.

A- Bombas de Membrana: Este tipo de bombas funciona como un motor a explosión de dos tiempos, fase de admisión y fase de compresión. En la fase de admisión se produce aspiración y la solución madre ocupa todo el espacio de la cavidad que deja la membrana. En la fase de compresión, la membrana presiona el líquido contra el cuerpo de la bomba originando una gran presión. Un sistema en válvulas regula el flujo en ambas fases (aspiración y compresión).

Los caudales de este tipo de bombas son bajos (10 a 200 l/h). Las presiones de trabajo son altas (60 a 120 m.c.a.). Este modelo de bomba resulta ideal para la aplicación de ácidos como ácido fosfórico, ácido nítrico o ácido sulfúrico.

Bombas Centrífugas: Son de mayor caudal (20 a 150 l/min), pero de menor presión (30 a 60 m.c.a). El cuerpo también está fabricado con materiales resistentes a la corrosión. En general, todo sistema de fertirrigación trabaja con caudales reducidos. Cuando se trabaja con bombas centrífugas, el caudal se puede controlar con una válvula de mariposa a la salida de la bomba. Nunca instalar la válvula reguladora de caudal en la tubería de succión, ya que podría causar la cavitación de la bomba. También es recomendable un caudalímetro para facilitar la regulación del sistema. Este tipo de bombas, son difíciles de regular para trabajar con pequeños caudales. Para aplicar fertilizantes, las bombas centrífugas trabajan mejor que las de membrana ya que permiten la inyección de volúmenes grandes de solución madre.

Ejemplo:

En un predio de 10 ha de citrus se desea aplicar 1 unidad de nitrógeno por día en forma de nitrato de potasio. El predio esta subdividido en tres sectores de igual tamaño. La bomba inyectora tiene un caudal de 50 l/min. Se dispone de un depósito

fertilizador de 200 litros. Se desea saber ¿Cuál es el volumen de solución madre a preparar y el tiempo que demorará el proceso de inyección?

Cálculos

El KNO_3 tiene 13% de N, por lo tanto se requiere preparar 153,8 kilos de producto comercial en tres fracciones, uno para cada sector de riego. Cada inyección ocupará 51,3 kilos de KNO_3 .

Como el KNO_3 es de alta solubilidad, puede utilizarse 100 litros de agua para preparar la solución madre. El tiempo de inyección de la solución será de 2 minutos. Si se reduce el caudal de la bomba en un 50% (25 lt/min), el tiempo de inyección subirá a 4 minutos, En este caso, habría que cerrar parcialmente la válvula de paso con el objetivo de alargar el tiempo de inyección a lo deseado. Sin embargo, el tiempo de inyección no es crítico, por lo tanto, da lo mismo que la inyección sea efectuada en 15 o 20 o 30 minutos.

C-Tanques presurizados

Este método consiste en hacer pasar parte del flujo por un tanque hermético. La instalación es similar a la de un inyector tipo Venturi, donde se instala una fuente de pérdida de carga (válvula de compuerta, codo, filtro de malla o válvula reguladora de presión) y dos derivaciones, una a cada lado de la fuente. La pérdida de carga da origen a un flujo secundario que circula por el tanque. Previo al funcionamiento del sistema, se coloca una cierta cantidad de fertilizante dentro del tanque. El agua que ingresa al tanque disuelve lentamente el fertilizante produciendo una solución madre que posteriormente es inyectada a la tubería matriz. La principal ventaja de este sistema es que no requiere de energía eléctrica o motor a combustión y la pérdida de carga que origina es bastante menor que el Venturi. La desventaja es que la aplicación de fertilizante no es constante en el tiempo y la operación es difícil cuando el sistema de riego está dividido en más de un sub-sector. La velocidad de mezcla entre la solución madre y el flujo que pasa a través del inyector es función de: solubilidad y peso específico del producto, el tamaño y forma del tanque y el caudal de inyección.

Para estimar la cantidad de fertilizante que permanece en el inyector después de transcurrido cierto tiempo, se puede utilizar la Ecuación 6-6.

$$n = 100 \times \exp\left(\frac{-x \times 100}{100}\right) \quad [\text{Eq. 6-6}]$$

Donde:

n : % de la solución madre que permanece en el estanque transcurrido el tiempo t

x :Flujo a través del tanque presurizado (l/h)

t :Tiempo de inyección (h)

Ejemplo:

Se dispone de un inyector cuyo estanque presurizado es de 60 litros. El caudal secundario que pasa por el inyector es de 120 l/h. Se desea aplicar 20 kg de urea. Se desea saber ¿Qué porcentaje de urea permanece en el estanque transcurridas 2 horas?

La concentración inicial de la solución madre es de 33.3% (20 kg de urea en 60 litros de agua). Para el ejemplo, x es 120 l/h y t 2 horas. Aplicando la Ecuación 6-6, el valor de n = 9.07 %. La respuesta indica que después de dos horas de iniciado el proceso de fertilización, aun queda en el estanque el 9% de la concentración inicial. La concentración final de la solución en el tanque y el peso de fertilizante que permanece en el sistema es:

$$C_f = \left(\frac{n}{100}\right) \times C_i \quad [\text{Eq. 6-7}]$$

$$W_t = C_f \times V_c \quad [\text{Eq. 6-8}]$$

Donde:

C_f : Concentración final de la solución madre después de transcurrido t horas.

C_i : Concentración inicial de la solución madre.

Wt : Peso de urea en el estanque después de transcurrido t horas.

Vc : Volumen del tanque presurizado.

Combinado las Ecuaciones 6-7 y 6-8

$$Cf = \left[\frac{9.07}{100} \right] \times \left[\frac{33.3}{100} \right] = 0.032$$

$$Wt = 0.032 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 60\text{l} = 1.82\text{kg}$$

Al final de dos horas, aún quedan 1,8 kg de urea en el estanque. Si el tiempo de inyección es 3 horas, la cantidad de urea sería 0,55 kg.

D-Inyección por succión positiva

Este tipo de inyector es el más fácil de implementar y consiste en conectar el depósito fertilizador al tubo de succión del equipo de bombeo. En el chupador de la bomba se produce presión negativa o succión, por lo tanto es un buen punto para inyectar solución madre al sistema de riego. Este método presenta la dificultad de corrosión prematura de toda pieza metálica en el cabezal, debido a la acción de ácidos y fertilizantes que en este lugar se encuentran muy concentrados. Entre el tanque fertilizador y el punto de inyección se debe instalar una válvula de paso para iniciar o detener el proceso de inyección. Especial cuidado se debe tener en la operación del sistema para evitar la entrada de aire a la bomba, cuando el estanque haya quedado casi vacío.

Cálculo de inyectores

Para dimensionar correctamente el inyector se debe calcular la tasa de inyección para lo cual es recomendable:

a-Determinar el área de riego: Si el sistema trabaja con más de una sub-unidad, se recomienda trabajar con aquella de mayor superficie

b-Calcular la necesidad de agua del cultivo (Va)

c-Calcular el tiempo de riego.

d-Determinar las necesidades nutricionales del cultivo

e-Seleccionar los productos a emplear en el programa y calcular la cantidad de los diferentes fertilizantes a utilizar.

f-Con la información de la solubilidad de los diferentes productos, determinar el volumen de agua necesario para preparar la solución madre. El volumen de agua debe ser aquel que disuelve todo el fertilizante. Si se trabaja con varios tipos de productos, seleccionar aquellos de menor solubilidad.

g-Estimar el tiempo de inyección que es menor al tiempo de riego. La inyección debe comenzar cuando se ha estabilizado el flujo en el sistema, eso indica que todas las tuberías están llenas de agua.

h-Calcular la tasa de inyección dividiendo el volumen de solución madre por el tiempo de inyección. Para calcular inyectores que apliquen productos de limpieza y/o biocidas, se debe utilizar todo el tiempo de riego para el cálculo.

i- Calibrar los inyectores: La fertirrigación requiere de una cuidadosa calibración del equipo. Los fabricantes de los diferentes componentes proporcionan, por medio de catálogos, información útil para la calibración y manejo del sistema.

Limpieza del sistema de fertirrigación

Hipoclorito de sodio: El compuesto más común utilizado en la limpieza y mantención de sistemas de riego es el hipoclorito de sodio. El ion cloro tiene diversas propiedades químicas dependiendo de su concentración. A baja concentración (1-5 ppm) actúa como un bactericida o un agente oxidante del ion Fe^{+3} . A alta concentración (100-1000 ppm) actúa como agente oxidante de la materia orgánica. Cuando el cloruro es inyectado al agua de riego, el cloro puede tomar la forma de dos moléculas diferentes: ácido hipocloroso e hipoclorito. El ácido hipocloroso es 40 a 80 veces más poderoso como biocida que el hipoclorito.

Tasa de inyección de hipoclorito de sodio para limpieza del sistema

$$T_i = \frac{0.36 \times Cl \times Q}{C_{ia}} \quad [\text{Eq. 6-9}]$$

Donde:

Ti: Tasa de inyección de la solución de hipoclorito de sodio (l/hora)

Cl: Concentración de cloro libre que se desea lograr en las laterales de riego (ppm)

Q : Caudal de la bomba (l/s)

Cia: Concentración del ingrediente activo del producto (%).

Ejemplo:

Se trabaja en un sistema de riego por goteo de 10 hectáreas dividido en tres subsectores de riego de 3.33 hectáreas cada uno. El caudal de la bomba es 12.33 l/s. Se desea aplicar Clorox como fuente de hipoclorito. La concentración del ingrediente activo en Clorox es 5%. La concentración del cloro libre a nivel de laterales de riego es 5 ppm. Calcular la tasa de inyección de Clorox al sistema de riego.

Paso 1. Se reemplaza directamente los valores del ejemplo en la Ecuación 6-9.

$$Ti = \frac{0.36 \times 5 \times 12.33}{5} = 4.44 \text{ l/h}$$

La tasa o velocidad de aplicación de hipoclorito de sodio de acuerdo a las condiciones del ejemplo es 4.44 l/h por cada sub-sector de riego.

Nota*: Para limpieza de precipitados de sales en la red de fertirriego se puede emplear ácidos en lugar de hipoclorito de sodio y estos deben ser también dosificados adecuadamente.

CAPÍTULO 6

COSTOS DE PROYECTOS DE RIEGO

El costo de un sistema de riego depende fundamentalmente del tamaño del equipo, el grado de automatización, el tipo de cultivo (frutales, hortalizas, praderas), tipo de fabricación (industrial o artesanal) y materiales utilizados (cinta o goteros, aspersores). Todo proyecto implica una inversión inicial y además de los costos de instalación, de operación y mantenimiento existen factores financieros, amortizaciones, costos de oportunidad que también deben ser tenidos en cuenta en un análisis económico del riego.

Los sistemas de riego presurizado, especialmente los adecuadamente tecnificados y diseñados, exigen una alta inversión inicial. Debido a ello, la decisión de instalar una red de riego debe estar acompañada de un manejo adecuado del cultivo en todos sus aspectos tecnológicos, ya que de otra forma los beneficios que se obtienen pueden ser desalentadores desde el punto de vista de la inversión. Por ejemplo poco valdría obtener frutos de un adecuado tamaño porque se ha regado oportunamente, pero enfermos o con deficiencias nutricionales porque no se han atendido los aspectos sanitarios y nutricionales del cultivo.

En los costos de una red de riego tienen alta incidencia factores ajenos a la inversión en sí misma. Por ejemplo, el tipo y localización de la fuente de agua. No es lo mismo contar con el recurso a 100 metros del predio a regar que a 1000 m, ni es igual desde el punto de vista de los costos captar agua de un arroyo cercano al lugar que se quiere regar, que necesitar construir una pequeña represa de temporada o un pozo profundo. Es de suma importancia además, la incidencia que tiene en los costos la energía disponible en el lugar. Por ejemplo, si existe o no energía eléctrica, de existir energía si la tensión es alta o baja, si la corriente es mono o trifásica etc. Si el predio no tiene red de luz, los precios del combustible entre otros factores también inciden en la economía del proyecto. La superficie a regar es otro aspecto que incide altamente en los costos de inversión analizados globalmente. A medida que aumenta la superficie el costo por hectárea disminuye.

Los costos de las obras de riego pueden clasificarse en costos de inversión y costos anuales. Los costos de inversión, como su nombre lo indica se refieren a todos los costos de equipos e insumos que demande instalar una obra de riego. En los costos de inversión se incluyen también obras complementarias y asesoría técnica, pero no incluyen gastos operativos de un sistema funcionando. Los gastos de operación del sistema corresponden a los costos anuales. El análisis económico detallado de proyectos de inversión escapa a los alcances de este manual. Sin embargo, con el fin de que le lector se familiarice con los costos de inversión de obras de riego, en los Cuadros 6-1a 6-6, se han incluido los costos de inversión de sistemas de riego tecnificado para diferentes proyectos de riego por aspersión y goteo. A grandes rasgos, los presupuestos presentados incluyen todos los ítems con los que el agricultor se encuentra, al momento de implementar un sistema de riego tecnificado según diversos presupuestos publicados por la CNR y adaptados a precios actuales y de mercado local

Costos anuales

Los costos anuales de un sistema de riego son los costos anuales de operación, costos anuales de mantenimiento y costos anuales de reposición.

Costos anuales de operación

Personal e insumos

Los costos anuales de personal para operar los sistemas de riego por aspersión, incluyendo los insumos de operación, se pueden estimar en un 1% del costo de la inversión para sistemas semifijos y móviles, y en un 0,5% de dicho costo para sistemas fijos y riego localizado. Energía y lubricantes

Los costos anuales de energía eléctrica o de combustibles y lubricantes se deben calcular en base a la potencia de los equipos de las unidades de bombeo y a las horas de operación anual de dichos equipos.

Los consumos de combustible promedio estimados para los motores nafteros son los siguientes:

Para motores enfriados por aire, el consumo es de 0,473 l/HP-hora

Para motores enfriados por agua, el consumo es de 0,379 l/HP-hora

Los consumos de combustible para motores diesel son los siguientes:

Motor diesel de 34 HP 7,15 l/hora

Motor diesel de 70 HP 14,16 l/hora

Lubricantes

Para los equipos de combustión interna se pueden considerar los siguientes costos de lubricantes por hora de operación:

Aceite: US\$ 0,0072/HP

Grasa: US\$ 0,072

Costos anuales de mantenimiento

Los costos anuales de mantenimiento de un sistema de riego se pueden estimar en un 2% del valor total de la inversión en equipos e instalaciones hidráulicas y en un 1% del valor de la instalación eléctrica en baja tensión.

Costos anuales de reposición

Para establecer los costos anuales de reposición es necesario conocer la vida útil de cada uno de los componentes de un sistema de riego por aspersión.

Cuadro 6-1. Costos de inversión de un proyecto de riego tipo para 1 hectárea de hortalizas con riego por cintas y 1 hectárea de frutales con riego por goteo. (Se incluye, los costos del cabezal de riego en común y la automatización de todo el sistema). Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011.

Nº	Ítem	Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Costo\$
1	Cabezal de control	Bomba eléctrica	1	Unidad	2,000	2,000
		Filtro anillas 2"	1	Unidad	764	764
		Filtro de mallas 2"	1	Unidad	450	450
		Estanque fertilizador	2	Unidad	120	240
		Caseta 3x3 acma radier	1	Unidad	2,290	2,290
		Fitting y succión	1	Gl	700	700
		Automatización	1	Gl	3,800	3,800
		Subtotal				
2	Red de Riego frutales 5x5 m 1 ha con doble tubería línea de goteo	Polietileno 16 mm	4.000	M	0,6	2,400
		Gotos 4 l/h	4.000	Unidad	0,5	2,000
		Tuberías matrices PVC	20	Tiras	25	500
		Tuberías terciarias PVC	20	Tiras	25	500
		Zanjeadura	240	M	2,50	600
		Fittings	Gl	Gl	480	480
		Conducción	Gl	Gl	550	550
		Válvulas y otros	Gl	Gl	540	540
		Subtotal				
3	Red de riego 1 ha hortaliza, cinta de riego 1,2 m	Cinta de riego 16 mm	8.000	M	0,4	3,200
		Tuberías matrices PVC	20	Tiras	23	460
		Tuberías terciarias PVC	30	Tiras	19	570
		Zanjas	300	M	2	600
		Fittings	Gl	Gl	460	460
		Conducción	Gl	Gl	750	750
		Válvulas y otros	Gl	Gl	750	750
		Subtotal				
4	Instalación	Mano de obra	2	ha	800	800
	Subtotal					7,590
5	Diseño	Especialista	Gl	Gl	Gl	1200
	Subtotal					8,790
	Total					\$ 26,604

Adaptado de CNR, Gl; líneas generales.

Cuadro 6-2. Presupuesto de inversión proyecto aspersión 5 has de Maíz. Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011.

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total Costo \$
1.	EQUIPO DE RIEGO				
1.1	Línea de Riego				
	Aspersores VINILIT modelo 5033/91	N°	12	120	1,440
1.2	Red Hidráulica				
	Tuberías laterales de acoplamiento rápido:				
	Tubo Al de 3" con coplas y abrazaderas	m	144	68	9,792
	Tubo Al de 2" con coplas y abrazaderas	m	120	45	5,400
	Tuberías principales y secundarias:				
	PVC C-4, D = 90 mm	m	546	6,23	3,401
1.3	Válvulas y Piezas Especiales				
	Válvula abre hidrante	N°	2	257,5	515
	Válvula de compuerta 3"	N°	2	256	512
	Reducción de 3x2"	N°	2	83	166
	Hidrantes de conexión	N°	7	258	1,806
	Base aluminio con tornillo tuerca	N°	12	51	612
	Tapón de aluminio 2"	N°	2	63	126
	Codo de aluminio 3"	N°	2	80,60	161,20
	Fittings y piezas especiales	Gl	1	2,472	2,472
1.4	Unidad de Bombeo				
	Motobomba Vogt, Modelo N 629/190; 10 HP	N°	1	3,500	3,500
	Interconexiones hidráulicas motobomba	Gl	1	3,600	3,600
	SUBTOTAL				33,473.20
2	INSTALACION EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Excavación y relleno de zanjas	Gl	1	10,000	10,000
2.2	Colocación de tuberías y armado de cabezal	Gl	1	4,000	4,000
	SUBTOTAL				14,000
3	CONSTRUCCION DE OBRAS ANEXAS				
3.1	Instalación eléctrica en baja tensión	Gl	1	6,000	6,000
	SUBTOTAL				6,000
4	GENERALES				
4.1	Transporte de materiales	Gl	1	2,500	2,500
4.2	Topografía y estudios de suelos	Gl	1	1,500	1,500
4.3	Diseño, Supervisión y Puesta en Marcha de la Instalación	Gl	1	4,500	4,500
	SUBTOTAL				8,500
	COSTO TOTAL				61,973.20

Adaptado de CNR, Gl;líneas generales.

Cuadro 6-3. Presupuesto de inversión proyecto aspersión móvil en 20 has de Praderas. (Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011).

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total Costo \$
1.	EQUIPO DE RIEGO				
1.1	Línea de Riego				
	Aspersores NELSON modelo P85	N°	9	1,600	14,400
1.2	Red Hidráulica				
	Tuberías laterales de acoplamiento rápido:				
	Tubo Al de 4" con coplas y abrazaderas	m	180	107	19,260
	Tubo Al de 3" con coplas y abrazaderas	m	120	67	8,040
	Tuberías principales y secundarias:				
	PVC C-10, D = 140 mm	m	978	34	33,252
1.3	Válvulas y Piezas Especiales				
	Válvula abre hidrante	N°	2	255	510
	Válvula de compuerta 4"	N°	2	400	800
	Reducción de 4x3"	N°	2	80	160
	Hidrantes de conexión	N°	9	257	2,313
	Base aluminio con tornillo tuerca	N°	9	50	450
	Tapón de aluminio 3"	N°	2	44	88
	Codo de aluminio 4"	N°	2	247	494
	Fittings y piezas especiales	Gl	1	10,700	10,700
1.4	Unidad de Bombeo				
	Motobomba Vogt, Modelo N 630/240; 40 HP	N°	1	12,000	12,000
	Interconexiones hidráulicas motobomba	Gl	1	1,090	1,090
	SUBTOTAL				103,557
2	INSTALACION EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Excavación y relleno de zanjas	Gl	1	46,000	46,000
2.2	Colocación de tuberías y armado de cabezal	Gl	1	9,064	9,064
	SUBTOTAL				55,064
2.	CONSTRUCCION DE OBRAS				
3.1	ANEXAS	Gl	1	14,000	14,000
	Pozo de Aspiración y Caseta protectora cabezal y cámaras de válvulas	Gl	1	28,000	28,000
3.2	Instalación eléctrica en baja tensión y alta tensión	km	0,5	16,000	16,000
3.3	Línea de alta tensión				
	SUBTOTAL				58,000
4.	GENERALES				
4.1	Transporte de materiales	Gl	1	3,000	3,000
4.2	Topografía y estudios de suelos	Gl	1	2,000	2,000
4.3	Diseño, Supervisión y Puesta en Marcha de la Instalación	Gl	1	10,000	10,000
	SUBTOTAL				15,000
	COSTO TOTAL				231,621

Adaptado de CNR, Gl; líneas generales.

Cuadro 6-4. Presupuesto de inversión proyecto riego por goteo en 25 has de vid. (Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011).

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total Costo \$
1.	EQUIPO DE RIEGO				
1.1	Línea de Riego				
	Gotero en Línea, 4 l/h, 16 mm	N°	73,326	0,60	43,995
	Tuberías laterales, polietileno VINILIT, diámetro 16 mm	m	72,720	0,70	50,904
	Collares de Conexión	N°	1,212	2	2,424
1.2	Red Hidráulica				
	Tubería principal: PVC C-4, D = 200 mm	m	804	31	24,924
	Tuberías secundarias: PVC C-4, D = 160 mm	m	198	19,7	3,900.6
	PVC C-4, D = 140 mm	m	702	15	10,530
	PVC C-4, D = 110 mm	m	1,620	9,30	15,066
	Conducción de agua desde la fuente al cabezal, PVC C-4, D = 200 mm	m	288	29,7	8,553
	Piezas especiales PVC	Gl	1	8,223	8,223
1.3	Válvulas				
	Válvula solenoide, D = 4" REPCO	N°	3	1,191	3,573
	Válvula de corta, D = 3"	N°	3	215	645
1.4	Centro de Control				
	Programador 5 zonas, Tipo NE-R8425	N°	1	410	410
	Cabezal de 2 Filtros 32" autom., Tipo AR-322 ^a	N°	2	17,600	35,200
		N°	1	3,065	3,065
1.5	Inyector de Fertilizante de 2 HP, trifásico				
	Cableado	m	348	0,50	174
	Alambre eléctrico 1,5 mm	m	2,664	0,80	2,131.20
	Alambre eléctrico 2,5 mm	m	1,332	1,30	1,731.6
	Tubo Conduit PVC 20 mm				
	SUB TOTAL				215,449.40
2.	INSTALACION EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Excavación y relleno de zanjas	Gl	1	80,000	80,000
2.2	Armado de cabezal y colocación de tuberías	Gl	1	49,000	49,000
	SUB TOTAL				129,000
3.	CONSTRUCCION DE OBRAS ANEXAS				
3.1	Caseta protectora cabezal y cámaras de	Gl	1	3000	3,000
3.2	válvula		1	1,033.80	4,000
	SUB TOTAL				7,000
4.	GENERALES				
4.1	Transporte de materiales	Gl	1	6,200	62,00
4.2	Topografía y estudios de suelos	Gl	1	3,000	3,000
4.3	Diseño, Supervisión y Puesta en marcha de la Instalación	Gl	1	12,000	12,000
	SUB TOTAL				21,200
	COSTO TOTAL			\$	372,649.4

Adaptado de CNR, Gl; líneas generales.

Cuadro 6- 5. Presupuesto inversión riego goteo 12 has de durazneros. (Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011).

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total Costo \$
1.	EQUIPO DE RIEGO				
1.1	Línea de Riego				
	Gotero en Línea, 4 l/h, 16 mm	N°	16,200	0,57	9,234
	Tuberías laterales, polietileno VINILIT, diámetro 16 mm	m	24,000	0,66	15,840
	Collares de Conexión	N°	300	2	600
1.2	Red Hidráulica				
	Tubería principal: PVC C-4, D = 160 mm	m	54	19,65	1,061.10
	Tuberías secundarias: PVC C-4, D = 160 mm	m	126	19,65	2,475.90
	PVC C-4, D = 140 mm	m	366	14,95	5,471.70
	PVC C-4, D = 110 mm	m	942	9,31	8,770
	Piezas especiales PVC	Gl	1	1,578	1,578
1.3	Válvulas				
	Válvula solenoide, D = 4" REPCO	N°	2	1,191	2,382
1.4	Centro de Control				
	Programador 5 zonas, Tipo NE-R8425	N°	1	420	420
	Cabezal de 2 Filtros 32" autom., Tipo AR-322 ^a	N°	1	17,621	17,621
		N°	1	3,588	3,588
1.5	Inyector de Fertilizante de 2 HP, trifásico				
	Unidad de Bombeo				
	Motobomba Vogt, Modelo N625/170	N°	1	2,624	2,624
1.6	Fittings de succión y descarga	Gl	1	1,248	1,248
	Cableado				
	Alambre eléctrico 1,5 mm	m	240	0,46	110.40
	Tubo Conduit PVC 20 mm	m	60	1,31	78,60
	SUB TOTAL				73,102.70
2.	INSTALACION EQUIPO DE RIEGO				
2.1	Excavación y relleno de zanjas	Gl	1	31,789	31,789
2.2	Armado de cabezal y colocación de tuberías	Gl	1	22,700	22,700
	SUB TOTAL				54,489
3.	CONSTRUCCION DE OBRAS ANEXAS				
3.1	Caseta protectora cabezal y unidad de bombeo y cámaras de válvulas	Gl	1	4,200	4,200
		Gl	1	6,592	6,592
3.2	Instalación eléctrica en baja tensión				
	SUB TOTAL				10,792
4.	GENERALES				
4.1	Transporte de materiales	Gl	1	1,454	1,454
4.2	Topografía y estudios de suelos	Gl	1	2,282	2,282
4.3	Diseño, Supervisión y Puesta en marcha de la Instalación	Gl	1	7,000	7,000
	SUB TOTAL				10,836
	COSTO TOTAL			\$	149,219.70

Adaptado de CNR, Gl; líneas generales.

Cuadro 6-6. Presupuesto de inversión microaspersión 12 has de Kiwis. (Los precios son en pesos argentinos al mes de junio de 2011).

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total Costo \$
1.	<u>EQUIPO DE RIEGO</u>				
1.1	<u>Línea de Riego</u>				
	Microaspersor Olson rojo con estaca plástica	N°	5,000	2,60	13,000
	Tuberías laterales, polietileno D = 20 mm	m	24,600	1	24,600
1.2.	<u>Red de Tuberías</u>				
	Tubería principal: PVC C-4, D = 160 mm	m	570	19,65	11,200.50
	Tuberías secundarias: PVC C-4, D = 140 mm	m	402	14,95	6,009.90
	PVC C-4, D = 90 mm	m	912	6,30	5,745.60
	PVC C-6, D = 40 mm	m	42	2,63	110.46
	Fittings PVC, Polietileno y Accesorios	Gl	1	28,000	28,000
1.3	<u>Válvulas</u>				
	Válvula eléctrica, D = 3" Richdel	N°	8	1,150	9,200
	Válvula eléctrica, D = 2" HIT HT-VE2	N°	8	465	3,720
1.4	<u>Centro de Control</u>				
	Programador 12 zonas, Tipo NE-R8912	N°	1	1,495	1,495
	Cabezal de 2 filtros manual, Tipo AR-362M	N°	1	13,800	13,800
	Inyector de fertilizante de 2 HP, trifásico	N°	1	3,600	3,600
	Motobomba Vogt del Tipo N 628/190 de 20 HP	N°	1	7,000	7,000
	Fittings de conexión	Gl	1	3,000	3,000
1.5	<u>Cableado</u>				
	Alambre eléctrico 1,5 mm	m	2,665	0,50	1,332.50
	Alambre eléctrico 2,5 mm	m	1,570	0,80	1,256
	Alambre eléctrico 2,5 mm	m	590	1,20	708
	Alambre eléctrico 4,0 mm	m	1,350	1,30	1,755
	Tubo CONDUIT PVC, 20 mm				
	SUBTOTAL				135,262.96
2.	<u>INSTALACION EQUIPO DE RIEGO</u>				
21	Excavación y relleno de zanjas	Gl	1	39,000	39,000
2.2	Armado de cabezal y colocación de tuberías	Gl	1	26,600	26,600
	SUBTOTAL				65,600
3.	<u>CONSTRUCCION OBRAS ANEXAS</u>				
3.1	Pozo de Aspiración y Caseta protectora cabezal y cámaras de válvulas	Gl	1	8,240	8,240
3.2	Instalación eléctrica B.T.	Gl	1	6,954	6,954
	SUBTOTAL				15,194
4.	<u>GENERALES</u>				
4.1	Transporte de materiales	Gl	1	1,565	1,565
4.2	Topografía y estudios de suelos	Gl	1	2,336	2,336
4.3	Diseño, Supervisión y Puesta en marcha de la Instalación	Gl	1	7,000	7,000
	SUBTOTAL				5,466
	COSTO TOTAL				221,522.96

Adaptado de CNR, Gl; líneas generales.

CAPÍTULO 7

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE RIEGO

Instalación de la bomba

Para la instalación de una bomba para riego deben tomarse ciertas precauciones. La bomba debe instalarse sobre una fundación plana de cemento para evitar vibraciones, y lo más cerca posible de la fuente de agua evitando largas longitudes de succión. La tubería de aspiración debe ser recta, lo más corta posible y los codos deben tener gran radio de curvatura. Su diámetro es generalmente una o dos veces el orificio de la boca de aspiración de la bomba, realizando el acoplamiento mediante cono excéntrico que evite la formación de bolsas de aire; el tramo horizontal de la tubería de aspiración, deberá tener un ligero declive (10:1) hacia la fuente de agua, y disponer de una longitud recta, la suficiente para regularizar la corriente líquida, antes de su entrada en el impulsor. El extremo inferior de la tubería de aspiración debe penetrar en el agua por lo menos 0,8 m para evitar la toma de aire como consecuencia de formación de remolinos. No debe instalarse la válvula de retención próxima al fondo del pozo, para evitar aspirar barro. La distancia mínima, desde el fondo del pozo debe ser de 0,1 m. El peso de la tubería de succión o aspiración no debe ser soportado por la bomba; debe estar apoyado en algún tipo de soporte. Si la bomba no es “monoblock”, es preciso verificar la correcta alineación del acople entre la bomba y el motor. En la tubería de descarga es aconsejable instalar una válvula de compuerta para regular el caudal y una válvula de retención para evitar golpes de ariete. Una vez instalada la bomba, debe verificarse el correcto sentido de rotación del impulsor, el que se logra arrancando y deteniendo inmediatamente el motor eléctrico. Si la bomba es autocebante, se debe llenar con agua solamente la carcasa de la bomba, eliminando todas las burbujas de aire. Si la bomba es cebante, se debe llenar con agua la carcasa de la bomba además, de la tubería de succión.

Antes de la puesta en servicio de una bomba centrífuga, es necesario asegurarse de que está perfectamente cebada, pues es una condición indispensable para su correcto funcionamiento. Si la bomba va provista de impulsores radiales, que

son los utilizados en las bombas centrífugas y periféricas o de presión; para su puesta en servicio se procederá de la forma siguiente:

1-Mantener cerrada la válvula reguladora del caudal instalada en la tubería de descarga o impulsión, puesto que a caudal y presión cero es mínima la potencia absorbida, consiguiendo con ello no sobrecargar el motor. Con la bomba en funcionamiento y alcanzada la velocidad de régimen y, por lo tanto, la presión máxima, abriremos lentamente la válvula reguladora hasta establecer la corriente normal de servicio; con ello evitaremos sobrecargas repentinas del motor.

2-Para retirar de servicio una bomba, se procederá en sentido contrario, es decir, se cerrará paulatinamente la válvula reguladora hasta interrumpir completamente la circulación del fluido, desconectando a continuación el motor.

Mantenimiento de la bomba

Debe observarse si se produce fuga de agua a través de las empaquetaduras o retenes del eje del impulsor y también en las empaquetaduras de la carcasa. El agua actúa como líquido refrigerante de la empaquetadura del eje, evitando su desgaste. Una fuga implica desgaste y debe repararse. La bomba debe desmontarse periódicamente para proceder a la limpieza y revisión de todas las partes móviles que puedan sufrir desgastes y reponerlas en caso necesario. Toda intervención en la bomba debe ser hecha por una persona competente en bombas hidráulicas.

Instalación de la red de riego

Para instalar una red de riego presurizado, el primer paso es elaborar un plano situando la fuente de agua y el cabezal de riego, y a partir de allí realizar el trazado de la red de tuberías. Luego debe armarse la unidad de control (bomba, filtros, unidad de fertilización, válvulas y tableros). Primero deben hacerse las conexiones hidráulicas y después las eléctricas y electrónicas. Las tuberías de PVC deben ir enterradas. Para ello, es necesario que las zanjas se construyan poco tiempo antes de colocar la tubería, para prevenir derrumbes. Es muy importante en las zanjas el material de relleno alrededor del tubo, así como el ancho de la zanja, que debe ser lo más angosta posible. El fondo de la excavación debe ser nivelado. La tubería debe ser instalada

sobre una cama de apoyo si es posible de tierra tamizada en malla de media pulgada (que no tenga piedras o elementos que puedan dañar la tubería). La altura de la cama de apoyo debe ser de alrededor de 10 cm. Los tubos se deben apoyar en toda su longitud, siendo necesario rebajar el terreno bajo las uniones. La primera capa de relleno, se debe ejecutar con material tamizado (malla de 1/2 pulgada) o arena, hasta 30 cm sobre el tubo. El material se debe arrojar, sobre las paredes de la zanja y no directamente sobre la tubería. Este relleno es fundamental para el buen funcionamiento y durabilidad de los tubos, ya que siendo tuberías flexibles, transmiten las cargas actuantes (peso de tierra y sobrecargas) al terreno. El relleno se debe ejecutar en capas regadas y compactadas manualmente. Después de colocado el relleno hasta 30 cm sobre la tubería, se puede rellenar con material proveniente de la excavación y compactar mecánicamente. Una vez hechas las excavaciones debe procederse a conectar las tuberías, incluyendo reguladores y válvulas. No se debe colocar tierra en las zonas donde van conectores laterales. Conectar las válvulas o reguladores de presión, poner el sistema en funcionamiento y limpiar las tuberías; éstas deben tener al extremo de la línea una válvula de limpieza. Abrirlas una por una, para hacer un lavado a la máxima presión. Tender las líneas de emisores, dejando los extremos abiertos. Practicar agujeros en las tuberías de distribución, para conectar las líneas de emisores. Hacer la conexión a medida que se perfora, para que no entre tierra al interior. Si el plan contempla reguladores o válvulas de aire en el sistema, estos deben instalarse en aquellos sectores donde hay cambios de pendiente o elevaciones que permitan la acumulación de aire en las tuberías. Conectar el agua nuevamente y poner en marcha el sistema; hasta donde se pueda, operar por secciones pequeñas cada vez; de tal manera de limpiar cada tubería con la máxima presión. Se limpia una tubería de distribución con sus líneas de goteros cada vez. Una vez que todas las tuberías han sido limpiadas, se cierran los extremos; se conecta el agua funcionando de acuerdo al plan de riego.

Disposición de laterales: estas líneas deben estar tendidas rectas, sin cargas, ni dobleces. En líneas de riego que porten goteros, se sugiere suspenderlas por medio de alambre u otro medio, alrededor de 20 cm sobre el suelo.

Mantenimiento de las tuberías de riego

Secundarias: Estas tuberías requieren bajo nivel de mantenimiento. La abertura diaria de las válvulas de drenaje, situadas en los extremos, mantiene la tubería limpia.

Laterales: La principal operación de mantenimiento en los laterales de riego tiene que ver con la limpieza de los mismos. Normalmente cada línea lateral termina con un cierre o pliegue o un tapón colocado ahí para drenar la tubería. La operación de drenaje debe ser efectuada cada tres o cuatro días y más frecuentemente si el agua de riego contiene muchas impurezas. Esta operación debe hacerse abriendo el cierre o pliegue y dejando drenar unos minutos el lateral. Además del drenaje debe chequearse periódicamente que no haya obstrucciones. En el caso de obstrucciones por partículas de suelo en suspensión que ingresan a la red de riego, se debe suponer rotura en la malla del filtro. En tal caso se deberá detener el equipo, extraer el filtro y reemplazar la malla. Si la obturación es por formación de depósitos de sales en tuberías y emisores aplicar soluciones ácidas.

Al comienzo de la cada temporada de riego deben efectuarse las siguientes revisiones:

Revisar la bomba y probar su funcionamiento.

Revisar la instalación eléctrica del sistema.

Revisar el control electrónico y las baterías del programador.

Revisar las válvulas y sistemas de comando.

Los filtros deben ser lavados y revisado el nivel de arena, el estado de las mallas y de los sellos de goma. En caso de daño, se cambian o reparan.

Limpiar y revisar el sistema de fertilización.

Revisar que los reguladores de presión estén funcionando correctamente.

Es importante el lavado de las tuberías, partiendo desde las de mayor diámetro hacia abajo. El lavado se debe hacer a una máxima presión. Las líneas de emisores deben revisarse y deben abrirse en el extremo final para su limpieza, lavándose en grupos de 20. Además, deben soltarse y despejarse si están semi-enterradas.

Si un emisor está obturado, debe ser reemplazado.

Cuando se ha lavado y revisado todo el sistema, se verifica que las presiones y el funcionamiento estén de acuerdo con el plan de operación de riego.

Si la fuente de agua es un estanque a cielo abierto como una represa de temporada, un tanque australiano etc, es recomendable periódicamente hacer tratamientos con sulfato de cobre para evitar la formación excesiva de algas en la fuente de agua. La concentración indicada para un control efectivo es de 30 ppm del producto. Lo ideal es hacer tratamientos cuando la fuente de agua no está llena sino cuando tiene la mitad o menos de su capacidad de volumen almacenado. Otra medida que ejerce un control parcial ya que reduce la velocidad de crecimiento de las algas es tapar la represa con una malla que limite la llegada de luz sobre la superficie de agua.

Mantenimiento de equipos y accesorios

Filtros de malla y de anillas: El sistema de filtrado debe ser limpiado cada vez que la presión por los filtros aumente en exceso. Esto puede verificarse en la lectura de los manómetros. Cuando la diferencia de presión entre los manómetros ubicados antes y después del filtro sea de un 10% (3 a 4 m.c.a.), se debe lavar el filtro. Los filtros de malla se limpian abriendo la pequeña válvula del fondo, o bien desarmando y limpiando la malla con agua a presión. Los filtros de anillas se limpian desarmando el sistema. Estos filtros, en la mayoría de los casos, metálicos, deben ser mantenidos limpios exterior e interiormente. En temporada de riego, deberá extraerse una vez por semana el cuerpo interno y limpiado con agua y cepillo suave; hasta dejar limpia la malla.

Filtros de arena. Los filtros de arena están dotados de sistemas de retrolavado, manual o automático, que invierten el flujo del agua dentro del filtro. Este proceso debe operar cuando la diferencia de presión en los manómetros alcance valores de un 10%. Además, una vez al mes se debe destapar el filtro, remover la grava depositada al interior e inyectar agua con una manguera o tubería, provocando que el rebalse que se produce por la misma abertura, arrastre las partículas depositadas en el interior. Este lavado se prolonga hasta que el agua salga limpia y la grava se vea blanca. La remoción debe hacerse hasta el fondo del filtro, de manera que todo el volumen ocupado por la grava sea removido.

Válvulas: Las válvulas incluidas en el sistema de riego, cualquiera sea su condición (hidráulica, mecánica, de retención o de aire), deben ser removidas de su posición en la red al menos dos veces por temporada de riego y sometidas a lavado

exterior, revisión de sus conexiones eléctricas, si procede desarmarla y lavarla interiormente con cepillo y agua limpia. Al armar la válvula, deberán reponerse las empaquetaduras que se hayan deteriorado o que presenten signos de deterioro. En el proceso de armado, deberá tenerse la precaución de seguir la secuencia inversa al desarme y mantener las piezas internas en su posición original.

Solenoides: Estas piezas deberán ser removidas de las válvulas cuatro veces en la temporada de riego, lavar exteriormente con agua, limpiar la cavidad interna, verificar estado del resorte y sello de las conexiones

Tablero eléctrico: debe mantenerse aislado, aireado y en ambiente seco. Sus terminales deben estar apretados y los cables eléctricos en canalización plástica o metálica; sin roturas. Ante cortes del suministro o caídas de voltaje se recomienda, cortar la energía en el interruptor general, el que deberá ser repuesto cuando se haya solucionado la falla en las líneas eléctricas.

Programadores: Se deberá controlar mediante un tester el voltaje (24 voltios), con que operan las válvulas solenoides, con el objeto de verificar la aislación y evitar que se produzcan cortes de circuitos.

ANEXO

Capítulo 4:

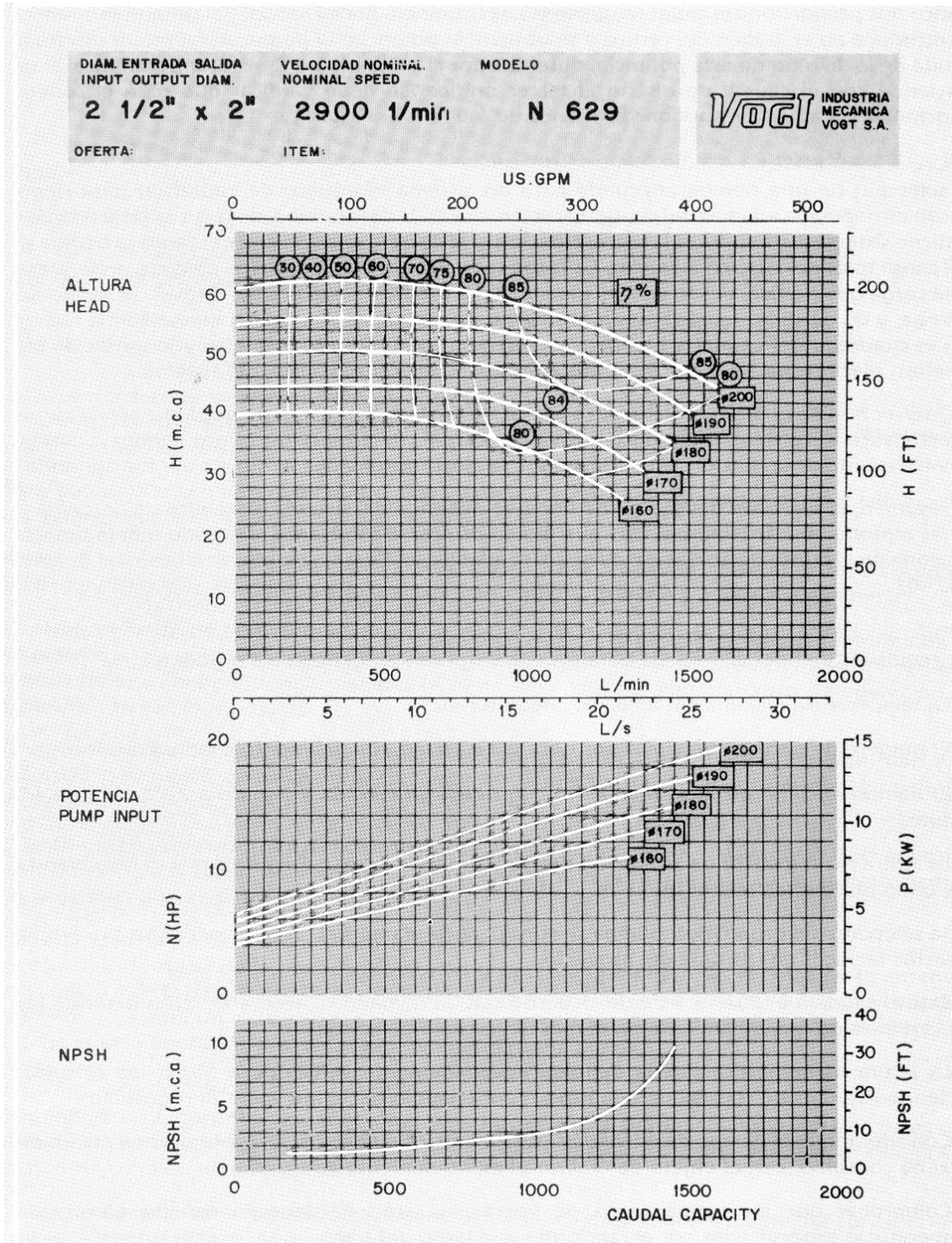


Figura 1. Curva característica de una bomba para riego. Fuente: Catálogo Bombas Voght, (1990)

LISTA DE REFERENCIAS

Bhur K.L, Sinclair T.R. 2004. Human Population, Plant Production and Environmental Issues. In: "Principles of Ecology in Plant Production". Gardner F.P, Sinclair T.R. eds. CAB International, Wallingford UK. 189 p.

CNR. 1997. Manual de obras de riego. N°111, Comisión Nacional de Riego y CIREN. Santiago, Chile, 346 p.

Doorenbos J, Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. Drain. **Paper 24**. FAO, Rome, Italy.

Holzapfel H.E. 1990. Riego por goteo y microaspersión. Boletín de Extensión 46. Universidad de Concepción, Depto. de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. 41 p.

INIA 1996. Riego por goteo, conceptos y criterios de diseño. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Intihuasi, La Serena, Chile. 157 p.

Stewart B.A, Nielsen D.R. eds. 1990. Irrigation of Agricultural Crops. ASA, CSSA, SSSA Publishers. Monograph N°30. Madison, Wisconsin, USA. 2118p.

Vogt S.A. 1990. Manual de instalación, operación y mantención de bombas centrífugas. 20 p.

Watts D, Holzapfel H.E. 1990. Riego por aspersión, sistema fijo y de pivote central. Boletín de Extensión 45. Universidad de Concepción, Depto. de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. 41 p.