

CAPÍTULO 7

VÁLVULAS ESPECIALES

Reguladores de Presión Fijos

Generalidades

Los reguladores de presión fijos (no ajustables) son utilizados con frecuencia en un sistema de riego por goteo/microaspersión. La discusión que se da a continuación está enfocada específicamente a este tipo de reguladores, sin embargo, muchos de los aspectos son aplicables también a otros diseños. En particular, se deben considerar los siguientes puntos:

- a. Histéresis. Los reguladores de presión pueden entregar una presión de salida diferente, dependiendo de si se llega a una presión de entrada final a través de un incremento o disminución en la presión de la línea.
- b. Presión de descarga real como función de la presión de entrada (discutida más adelante).
- c. Presión de descarga real como función del caudal (esto es importante si el campo tiene muchas longitudes de manguera diferentes). Este punto se discute más adelante.
- d. Selecciones limitadas de presión de descarga exacta. La presión que quiere un diseñador, puede no estar disponible en reguladores. Por ejemplo, un diseñador puede querer una presión de descarga de 151,8 kPa (22 *psi*) desde un regulador hacia una manguera. No obstante, las únicas válvulas disponibles pueden proporcionar 165,6 kPa (24 *psi*).
- e. Variación de fabricación (discutida más adelante).
- f. Sensibilidad al golpe de ariete. Algunos reguladores sufren daño fácilmente a causa de ondas de presión en la línea de abastecimiento.
- g. Capacidad de caudal. Generalmente, un modelo específico de regulador de presión está disponible solo para un rango limitado de caudales. Un caudal excesivo puede causar grandes pérdidas de presión (fricción) y un caudal muy pequeño puede causar desgaste debido a que el regulador puede necesitar trabajar en una posición casi cerrada durante todo el tiempo.
- h. Presión de entrada. La mayoría de los reguladores tienen una presión de entrada máxima de diseño. Si se excede tal presión, las válvulas pueden sufrir daño por cavitación o falla en una junta.

Un regulador de presión no ajustable marcado con presión de “207 kPa” (30 *psi*) puede no proporcionar una presión de descarga de 207 kPa (30 *psi*). Algunos de estos puntos se ilustran en la Figura 26. La presión de descarga real dependerá de:

- a. Caudal: Típicamente los caudales grandes resultan en presiones de descarga más bajas en el regulador (ejemplo, presiones de entrada en la manguera lateral) que caudales pequeños. Si un sistema de riego por goteo/microaspersión tiene mangueras laterales de varias longitudes (y por ende, con varios caudales), la

presión de entrada a tales mangueras puede fácilmente variar en cerca de 35 kPa (5 psi).

- b. **Variación de Fabricación:** Con frecuencia los fabricantes garantizan $\pm 5\%$ a $\pm 6\%$ de variación de presión de descarga (es decir, $\pm 10\%$ a $\pm 12\%$ de variación de fabricación) entre reguladores, para un caudal y una presión de entrada específicos.
- c. **Presión de Entrada al Regulador:** En general, un regulador tendrá una pérdida menor por fricción de 7 kPa a 35 kPa (1 psi a 5 psi). Por consiguiente, un regulador puede requerir una presión de entrada de 166 kPa o 172 kPa (24 psi o 25 psi), para obtener una presión de descarga del orden de 138 kPa (20 psi). Hasta tanto no se alcancen los 166 kPa o 172 kPa (24 psi o 25 psi), el regulador no proveerá regulación automática significativa; actuará más como una obstrucción en la línea. A medida que las presiones incrementan más allá de 166 kPa o 172 kPa (24 psi o 25 psi) en un regulador de 138 kPa (20 psi), la presión de descarga puede continuar variando. En algunos reguladores de 138 kPa (20 psi) con una variación de presión de entrada de 172 kPa a 345 kPa (25 psi a 50 psi) puede resultar en una presión de descarga que empiece en 138 kPa (20 psi) y finalice en 207 kPa (30 psi). Se debe verificar la información proporcionada por el fabricante o por un centro de pruebas independiente.

En resumen, no todos los reguladores de presión no ajustable se fabrican en forma exactamente igual. Los diseñadores deben especificar el funcionamiento de acuerdo con la información de cualquier fabricante para garantizar al cliente un buen producto.

Determinación del Caudal de Entrada con Reguladores de Presión Fijos

Los procedimientos de diseño tradicionales de sistemas de riego por goteo/microaspersión convencionales son como a continuación se describe:

Paso 1. Determine el caudal promedio deseado por emisor.

Paso 2. Determine la presión de entrada requerida en la manguera lateral para entregar el caudal promedio deseado por emisor.

Si se usan reguladores de presión fijos, habrá pasos adicionales los cuales en general deben ser tenidos en cuenta, tales como,

Paso 3. Determine el caudal que pasará a través del regulador de presión, en base al caudal promedio deseado por emisor.

Paso 4. Seleccione un regulador de presión que proporcione la presión de descarga deseada, con el caudal deseado.

Es aquí donde aparece el problema. Es muy raro encontrar un regulador de presión fijo que entregue con precisión la presión deseada, con el caudal deseado. Por ejemplo, asuma lo siguiente:

Se desea: Caudal promedio por emisor = 7,6 LPH @ 138 kPa (2 GPH @ 20 psi)

Presión de entrada a la manguera = 166 kPa (24 psi)

Caudal del regulador de presión = 1,82 m³/h (8 GPM)

Se dispone de los fabricantes:

Regulador de presión, el cual entrega 145 kPa (21 psi) [no 166 kPa (24 psi) con 1,82 m³/h (8 GPM)].

Si se selecciona este regulador, la presión promedio (y el caudal promedio) será menor que el esperado originalmente. Por consiguiente, se requiere el Paso 5.

Paso 5. Calcule el caudal promedio real por emisor, en base a la presión de entrada a la manguera y teniendo en cuenta la restricción del material.

El nuevo caudal por emisor puede aproximarse calculando la diferencia de presión actual, versus el estimativo original.

Discrepancia en la presión de entrada = 166 kPa - 145 kPa = 21 kPa (3 psi)

P real en el emisor con caudal promedio = 138 kPa - 21 kPa = 117 kPa (17 psi)

Asumiendo un exponente de descarga de 0,5 para el emisor,

$$\begin{aligned} Q_{\text{nuevo}} &= Q_{\text{original}} \sqrt{\frac{117}{138}} \\ &= 7,6 \text{ LPH} \times 0,92 \\ &= 7,0 \text{ LPH (1,84 GPH)} \end{aligned}$$

Desde luego, este es un paso muy fácil si se usa un programa de computadora para hidráulica de mangueras. Se ingresa la presión de entrada a la manguera y el programa calcula el caudal promedio real por emisor.

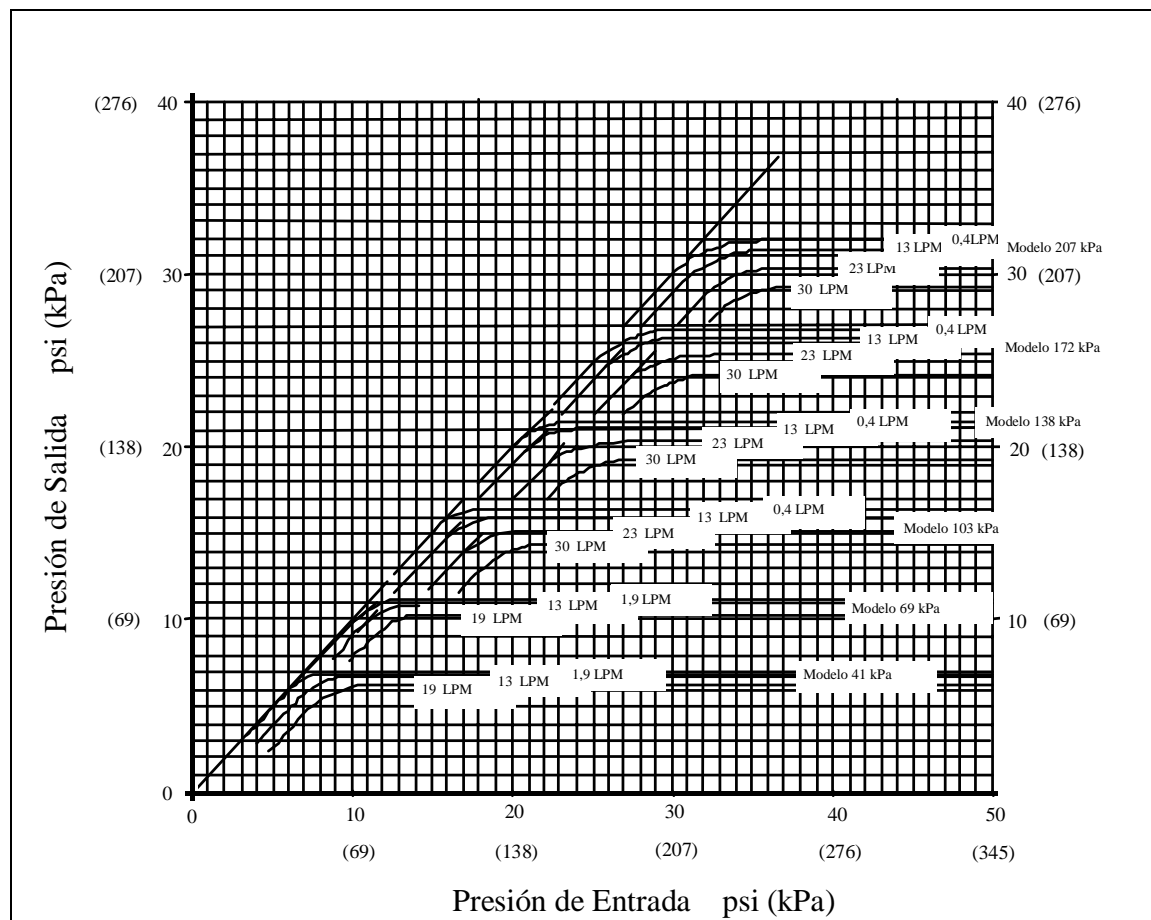


Figura 26. Características de descarga de un regulador de presión fijo hipotético.

Microtubo a la Entrada de cada Manguera Lateral

En áreas con terreno con mucho pendiente, algunos diseñadores usan microtubo de longitudes variadas para alimentar las mangueras laterales, en especial cuando se usa cinta de goteo para cultivos anuales. El propósito de los microtubo es el de disipar la presión en exceso encontrada en el múltiple, de manera tal que todas las mangueras laterales tengan la misma presión de entrada. En un área con presiones altas en el múltiple los microtubos serán largos; en otra sección del mismo múltiple con presiones bajas, los microtubos serán más cortos. Algunos de estos diseños tienen reguladores de presión en la cabecera de cada bloque; otros diseños no.

En el año 1999 el ITRC llevó a cabo pruebas con microtubos de dimensiones típicas (ver Tabla 26), para determinar las ecuaciones de descarga. Los microtubos no tenían accesorios. Se insertaron mangueras microtubo de varios diámetros y longitudes en manguera ovalada de polietileno y se permitió la descarga de las mismas hacia la atmósfera. Para cada longitud y diámetro de manguera, se probaron en forma conjunta 10 tubos. Los resultados se encuentran en la Tabla 26. El cv se refiere al coeficiente de variación de descarga entre 10 tubos del mismo diámetro y

longitud. El modelo de ecuación general desarrollado por el ITRC para predecir fricción, en el Sistema Inglés es:

$$H_f = (C \times L + D) \times Q^x$$

donde: H_f = pérdida por fricción a través del tubo, *psi*

C = constante que depende del diámetro del tubo, su longitud y el caudal

L = longitud del tubo, *pies*

D = constante que depende del diámetro del tubo

Q = Caudal, *GPM*

x = exponente del caudal, adimensional

Tabla 26. Resultados de las pruebas de pérdidas por fricción en microtubos, ITRC, 1999.

DI, <i>pulgadas</i>	Longitud, <i>pies</i>	Q mínimo probado, <i>GPM</i>	Q máximo Probado, <i>GPM</i>	C	x	cv	R ²
0,125	3	0,28	0,62	36,81	1,863	0,016	0,9865
	5	0,25	0,49	56,67	1,873	0,009	0,9997
	10	0,15	0,34	108,83	1,858	0,014	1
0,160	3	0,49	1,02	12,75	1,859	0,010	0,9997
	5	0,41	0,82	20,74	1,863	0,012	0,9993
	10	0,26	0,62	35,54	1,781	0,025	1
0,188	3	0,58	1,14	5,97	1,845	0,006	0,9998
	5	0,58	1,10	9,30	1,803	0,007	0,9990
	15	0,32	0,73	25,90	1,824		1
0,210	3	0,58	1,12	3,47	1,824	0,008	0,9999
	5	0,80	1,17	5,64	1,717	0,016	0,9935
	15	0,41	0,94	15,37	1,766		0,9995

En la Tabla 27 se presentan las constantes que pueden utilizarse en la ecuación anterior para cualquier longitud. La precisión que se puede lograr está dentro de $\pm 3\%$. La ecuación para estimar pérdida por fricción en un microtubo cuando este se usa como un “regulador de presión”, en el Sistema Internacional, es:

$$H_f = (C \times L + D) \times Q^x$$

donde : C = Constante, la cual depende del diámetro del tubo

L = Longitud del tubo, m

D = Constante, la cual depende del diámetro del tubo

Q = Caudal a través del tubo, LPM

x = Exponente del caudal, el cual depende del diámetro del tubo, es adimensional

Tabla 27. Valores de las constantes de la ecuación de fricción en microtubos de cualquier longitud.

Diámetro interior		C	D	x
mm	pulg.			
3,175	0,125	10,32	5,54	1,86
4,064	0,160	3,20	3,82	1,83
4,775	0,188	1,66	0,99	1,82
5,334	0,210	0,99	0,60	1,77

Por ejemplo, asuma:

Diámetro del tubo = 4,064 mm (0,160")

Longitud del tubo = 3,048 m (10')

Caudal = 1,93 LPM (0,51 GPM)

Encuentre: La fricción a través del microtubo

Solución:

$$H_f = (C \times L + D) \times Q^x$$

$$H_f = [22,6189C \times L + 6,8948D] \left(\frac{Q}{3,785} \right)^x$$

$$H_f = [(22,6189)(3,2)(3,048) + 6,8948(3,82)] \left(\frac{1,93}{3,785} \right)^{1,83}$$

$$= 246,95 \times 0,292$$

$$= 72 \text{ kPa } (10,4 \text{ psi})$$

Las ecuaciones de mejor ajuste para las constantes (C, D y x) en función del diámetro interior (mm) son de la forma:

$$\text{Constante} = R \times (DI)^z$$

donde: R = factor, Tabla 28

z = factor, Tabla 28

DI = diámetro interior del microtubo, mm

Tabla 28. Factores de mejor ajuste para la ecuación de H_f en tubos microtubo, en función de L, DI y Q

Constante	R	z
C	0,0009	-4,49
D	0,0006	-4,48
x	1,56	-0,85

Teniendo en cuenta el modelo de ecuación y los factores de la Tabla 28, resulta una sola ecuación (correspondiente al mejor ajuste) para calcular la pérdida por fricción en un microtubo. Dicha ecuación en el Sistema Internacional es:

$$H_f = (6,8948) \left[\left[\frac{0,0009L}{0,3048} \left(\frac{DI}{25,4} \right)^{-4,49} \right] + \left[0,0006 \left(\frac{DI}{25,4} \right)^{-4,48} \right] \right] \left(\frac{Q}{3,785} \right)^{1,56 \left(\frac{DI}{25,4} \right)^{-0,085}}$$

donde: H_f = fricción, kPa
 L = longitud del tubo, m
 DI = diámetro interior, mm
 Q = caudal, LPM

El siguiente es un ejemplo del uso de la anterior ecuación:

Asuma: Longitud del tubo, $L = 2,5$ m
 Diámetro interior del tubo, $DI = 4$ mm
 Caudal, $Q = 3$ LPM

Encuentre: Fricción a través del microtubo

Solución : $H_f = 6,8948 \times (29,69078 + 2,36907) \times 0,65424$
 $H_f = 145$ kPa (21 psi)

Reguladores de Presión Ajustables

Los reguladores de presión ajustables son comúnmente utilizados en sistemas de riego por goteo/microaspersión, como sigue:

1. En la cabecera de cada "bloque" o sección de manguera/emisores dentro de un lote. Un bloque de esta naturaleza puede ser tan pequeño como 1,6 has (4 acres) o tan grande como 40 has (100 acres) o más. El propósito es servir como un punto "RP", como se describió en un capítulo anterior sobre estrategias de selección de diámetros para lograr una buena UD. Cada bloque empezará con la misma presión.
2. En la entrada al sistema, antes de los filtros. Esto puede ser especialmente importante para filtros de arena por las siguientes razones:

- a. Los filtros de arena tienen especificaciones de presión relativamente bajas y deben protegerse de ser expuestos a presiones altas.
- b. Es imposible ajustar apropiadamente una válvula manual simple de ajuste de caudal de retrolavado en filtros de arena, si la presión en la válvula cambia. Un regulador de presión antes de los filtros garantizará que las presiones no se eleven demasiado. Un regulador de presión no garantizará que la presión no caiga demasiado bajo; ese es el trabajo de una válvula sostenedora de presión aguas abajo de los filtros.

Hay muchos reguladores de presión ajustables buenos (y algunos malos) en el mercado. Cuando se trate de decidir sobre qué tipo de regulador adquirir se debe considerar lo siguiente:

1. El rango de control de presión del regulador. Algunos reguladores trabajan muy bien cuando controlan presiones por encima de 103 kPa (*15 psi*); sin embargo, son bastante inútiles a presiones más bajas. El diseño de la válvula piloto es crítico; en general, las válvulas para goteo en cultivos anuales requieren válvulas piloto grandes de tal manera que puedan hacer un buen control de presiones bajas.
2. Si las válvulas piloto requieren o no flujo continuo a través de ellas. Las válvulas piloto que requieren flujo continuo tienden a obstruirse más fácilmente que aquellas que solamente permiten flujo hacia adentro o hacia afuera durante la fase de ajuste.
3. Los materiales de las válvulas. Típicamente las válvulas deben ser insensibles a fertilizante urea-sulfúrico, a ácidos (a pH de 2,0) y a concentraciones de cloro de hasta 100 ppm.
4. La pérdida de presión mínima que ocurrirá a través de la válvula al caudal establecido, en la configuración que se está anticipando. Algunas gráficas de pérdida de presión dan valores de pérdida menores que los reales cuando una válvula está en línea; debe consultarse el fabricante sobre el significado exacto de una curva de pérdida de presión. En la actualidad hay disponibles en el mercado nuevos diseños de válvulas, en las cuales la caída normal de presión (cuando están completamente abiertas) está en el rango de 14 kPa - 21 kPa (*2 psi - 3 psi*), en lugar de aquellos rangos de 35 kPa - 55 kPa (*5 psi - 8 psi*) característicos de diseños anteriores.
5. Costo.
6. Requerimientos de servicio. Algunas válvulas son fabricadas con filtros de difícil acceso y mantenimiento.
7. Modalidades de encendido/apagado y desvío. Muchas de estas válvulas pueden servir como válvulas de encendido/apagado, así como también como reguladores de presión. Ocasionalmente, puede ser deseable desengranar temporalmente la función de regulación de presión. La modalidad de desvío es muy importante en este caso, porque la válvula piloto no necesita ser ajustada cuando la función de regulación de presión se desengrana.
8. Fácil de entender. La operación de algunas válvulas es casi intuitiva. Las instrucciones sobre ajuste de varias piezas y sobre el mantenimiento son fáciles

de entender. Para otras parece requerirse un curso detallado para lograr entender estos aspectos.

9. Garantía y requerimientos de partes de repuesto.
10. La cantidad de reducción de presión deseada. Típicamente los reguladores de presión trabajan bien para caídas de presión hasta un valor equivalente a 25% de la presión de entrada. Esto es, si la presión de entrada es 414 kPa (60 psi), un buen regulador de presión puede solamente ser capaz de reducir la presión hasta 104 kPa (15 psi). Si se requiere una presión más baja, puede requerirse un segundo regulador en serie y localizado después del primero.

Con frecuencia el desempeño de los reguladores de presión puede mejorarse extendiendo el tubo de agua sensor de presión a un punto varios metros (hasta un medidor) aguas abajo del regulador de presión. Todos los reguladores de presión "sienten" la presión en la porción aguas abajo del cuerpo mismo de la válvula. Un tubo conecta este punto sensible a la válvula piloto. Sin embargo, el flujo puede ser muy turbulento e inestable en ese punto. Al extender el tubo varios metros aguas abajo e insertarlo por punción en tubería, el control se hace más preciso y estable. Por otra parte, el tubo de los reguladores de presión típicamente es de polietileno; en caso de que en el área haya coyotes o conejos que coman el tubo, este puede ser reemplazado por un tubo de cobre.

Válvulas Sostenedoras de Presión

Las válvulas sostenedoras de presión monitorean y controlan automáticamente la presión en la tubería inmediatamente aguas arriba de si mismas. Tienen el mismo cuerpo de válvula que los reguladores de presión, no obstante, los reguladores de presión controlan la presión aguas abajo de si mismos. Las válvulas sostenedoras de presión se instalan comúnmente aguas abajo de los filtros. Si la presión aguas abajo de los filtros (aguas arriba de la válvula sostenedora de presión) decae por abajo de la presión deseada, la válvula sostenedora de presión se cierra parcialmente y así reduce el caudal hacia el lote de riego, aunque manteniendo la presión aguas arriba de si misma. Las válvulas sostenedoras de presión se recomiendan cuando la pérdida de presión a través de los filtros es excesiva durante el retrolavado. Esta situación conduce a una presión muy baja aguas abajo de los filtros, lo cual a su vez causa una presión inadecuada de retrolavado. Este es un problema muy peculiar si el tamaño de los filtros es menor que el adecuado, o en sistemas de dos tanques (como se describe en la primera parte de la sección sobre filtros de arena).

En algunos casos, el tamaño de los filtros ha sido seleccionado en forma apropiada, pero la bomba o el sistema de entrega de agua es incapaz de abastecer el caudal extra requerido para retrolavado del filtro y a la vez mantener una presión suficientemente alta para el retrolavado. Este no necesariamente es un error de diseño, pero sí se requiere una válvula sostenedora de presión aguas abajo de los filtros para asegurar que el retrolavado sea adecuado.

En este sentido se sugiere ver los párrafos previos sobre reguladores de presión ajustables, en relación con las preguntas que uno debe formularse antes de la adquisición de los mismos.

Válvulas de Alivio de Presión

Las válvulas de alivio de presión descargan agua de la tubería cuando la presión en esta excede el valor prefijado en la válvula. En general, las tuberías de sistemas de riego por goteo/microaspersión tienen presiones relativamente bajas (menores de 345 kPa o 50 psi) a la entrada de los filtros, empero usan tuberías que pueden resistir presiones de por lo menos 689 kPa (100 psi) en ese punto. Por consiguiente, en general, las válvulas de alivio de presión no son componentes críticos en la mayoría de los sistemas de goteo/microaspersión.

Desde luego, el daño que puede ocasionarse con una afirmación como "en general", es que las condiciones pueden cambiar. Por ejemplo, un sistema de goteo/microaspersión originalmente diseñado con una bomba de impulsión típica alimentada desde un canal, puede ser convertido en un sistema abastecido desde un pozo profundo. Las bombas para pozo profundo, a caudales bajos no característicos, pueden a menudo desarrollar presiones excesivas las cuales pueden romper conexiones, tubos y filtros. Más aún, siempre hay la posibilidad de que exista un sistema diseñado con una válvula de cierre rápido que genere golpe de ariete.

Por consiguiente, como mínimo, se recomienda una válvula de alivio de presión en la estación de filtros, cuyo tamaño sea seleccionado apropiadamente. "Tamaño seleccionado apropiadamente" significa que la válvula descargue suficiente caudal a una presión lo suficientemente baja, que evite el daño al sistema de riego y sus componentes. Si no se hace un análisis detallado, la regla general es asegurarse de que la presión en el sistema nunca exceda el 75% de las categorías de resistencia a la presión de los componentes. En sistemas de goteo/microaspersión, la categoría de presión más crítica se encuentra típicamente en los filtros.

Existen 2 tipos comunes de válvulas de alivio de presión usadas en sistemas agrícolas de goteo/microaspersión:

1. **Diseño con resorte/platina.** Estos dispositivos mecánicos de alivio de presión comúnmente no son dispositivos de precisión. Si están clasificados para abrir a 345 kPa (50 psi), por ejemplo, pueden abrir algo así como entre 310 kPa y 414 kPa (45 psi y 60 psi). Más aún, a este rango de presiones tan solo empiezan a dejar escapar agua. A medida que la presión se incrementa, el resorte se comprime y la platina se abre en forma correspondiente. La combinación de una presión más alta y aberturas de mayor tamaño crea una descarga mayor. Se deben consultar las curvas de presión/descarga del fabricante para definir con exactitud qué caudal se descargará a una determinada presión. Aunque estos no son dispositivos de precisión, son a menudo suficientes para sistemas de

goteo/microaspersión ya que las presiones de operación normal son generalmente mucho más bajas que las presiones que soportan los componentes del sistema.

2. Diseño de válvula de diafragma. Estas válvulas con frecuencia tienen cuerpos de válvula idénticos a los de los reguladores de presión ajustables y a los de las válvulas sostenedoras de presión. Están localizadas "sobre la línea" para alivio de presión, en lugar de "en línea" como sería el caso de regulación o de sostenimiento de presión. La presión aguas arriba es la que se "siente". Cuando la presión excede el valor al cual está calibrada la válvula, ésta se abre relativamente rápido. Más aún, al abrir, la válvula típicamente abre por completo, en contraste con el diseño de bajo costo del tipo resorte/platina. En situaciones críticas, el diseño de válvula de diafragma se considera más confiable.

Un sistema automático de riego por goteo/microaspersión puede estar conectado a una línea de tubería de abastecimiento de un distrito de riego. Los distritos de riego con frecuencia tienen sistemas de tubería de hierro o concreto. Cuando un sistema de goteo/microaspersión se apaga de súbito, se puede ocasionar un incremento enorme de presión por golpe de ariete en la línea de tubería del distrito de riego. En sistemas de riego típicos de nivel predial, los diseñadores con frecuencia se las arreglan sin prestar atención especial al golpe de ariete, ya que el material seleccionado para las tuberías es generalmente PVC. Con PVC de clase 689 kPa (100 psi), un cambio instantáneo en la velocidad del agua de 0,3 m/s (*1 pie/s*) causará un incremento en la línea de presión de 79 kPa (*11,4 psi*). Si el tubo fuera del mismo diámetro pero hecho de hierro o de concreto reforzado, el incremento en presión sería de 297 kPa (*43 psi*). Si se asume una velocidad inicial de 1,22 m/s (*4 pies/s*) en un sistema de goteo/microaspersión se crearía un incremento de presión de 314 kPa (*45,6 psi*) en las secciones de PVC aguas arriba, o de 1.185 kPa (*172 psi*) en las secciones de hierro o de concreto reforzado aguas arriba. Esta elevación de presión es en adición a la presión normal de operación.

Válvulas de Aire

En riego por goteo se requieren válvulas de aire por las siguientes razones:

1. Salida de grandes volúmenes de aire al arrancar el sistema para prevenir bloqueos por aire y golpe de ariete. Esto ocurre con válvulas especiales, las cuales funcionan solo antes de que el sistema esté bajo presión.
2. Salida continua de aire después de que el sistema ha sido presurizado. De nuevo, esto es necesario para prevenir golpe de ariete y bloqueos por aire. Esto requiere una válvula de aire especial, la cual tiene un orificio más pequeño que el de las válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.
3. Prevención de creación de vacíos en las líneas después de apagado el sistema. En general, la función de alivio de vacíos es parte del diseño de válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.

Una válvula de aire de 2" del fabricante "A" puede liberar más o menos aire que una del mismo tamaño del fabricante "B". Por consiguiente la selección de diámetros de válvulas de aire debe hacerse utilizando curvas de funcionamiento, las cuales deben tener el caudal de aire (bien sea saliendo o entrando a la válvula de aire) versus la presión (o vacío) en la tubería. Las siguientes recomendaciones (Tablas 29 y 30) se encuentran en Agricultural Products, Inc., publicación escrita por Burt (1999).

Los caudales de aire de la Tabla 29 deben ocurrir a una presión igual o menor a la que se encuentra en la Tabla 30 (utilizando valores absolutos).

Tabla 29. Capacidades de flujo de aire requeridas en válvulas de aire.

Diámetro Nominal PVC		Caudal de Salida de Aire		Caudal de Alivio de Vacío		Caudal de Salida Continua de Aire	
pulgadas	mm	LPS	pies ³ /s	LPS	pies ³ /s	LPS	pies ³ /s
1	25	2,36	5	0,94	2	0,09	0,2
2	51	7,55	16	3,78	8	0,47	1
3	76	16,52	35	8,50	18	0,94	2
4	102	28,32	60	14,16	30	1,42	3
5	127	42,48	90	21,24	45	2,36	5
6	152	61,35	130	30,68	65	2,83	6
8	203	103,83	220	51,91	110	5,19	11
10	254	160,46	340	80,23	170	8,02	17
12	305	226,53	480	113,27	240	11,33	24
15	381	325,64	690	162,82	345	16,52	35
18	457	486,11	1030	243,05	515	24,07	51
21	533	674,88	1430	337,44	715	33,51	71
24	610	849,51	1800	424,75	900	42,48	90

Tabla 30. Presiones según el tipo de válvula de aire (Burt, 1999).

	Tipo de Válvula					
	Salida de Aire		Alivio de Vacío		Salida Continua de Aire	
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
Presión	13,79	2	-6,89	-1	103,41	15

Es importante instalar válvulas de aire con suficiente frecuencia y en puntos apropiados. Los detalles sobre la localización apropiada pueden encontrarse en Burt, 1999. Básicamente las válvulas de aire deben instalarse por lo menos cada 402 m (1.320 pies) en tuberías, en todos los puntos altos y aguas abajo de todos los puntos de entrada de aire, para liberarlo. Las válvulas de alivio de vacío deben colocarse en todos los puntos altos y aguas abajo de las válvulas de cierre.