

CAPÍTULO 4

DISEÑOS DE EMISORES/MICROASPERSORES

Generalidades

Cuando se selecciona un dispositivo de emisión se deben considerar los siguientes aspectos:

- Tamaño del orificio. Los orificios de mayor tamaño tienen menos problemas de obstrucción que los de menor tamaño.
- Exponente de descarga.
- Tipo de trayectoria. Para goteros, la mayoría de los fabricantes producen diseños de trayectoria tortuosa, los cuales tienen las siguientes ventajas:
 - es posible fabricarlos con un valor bajo de cv.
 - mayor resistencia a la obstrucción que en diseño de flujo laminar (trayectoria larga y suave).
 - un caudal insensible a diferencias de temperatura.
 - un buen exponente de descarga (cercano a 0,5).
- Resistencia al taponamiento por insectos. Algunos microrociadores y goteros tienen diseños de tapas que cubren los orificios de emisión cuando el dispositivo no está descargando agua. En algunas áreas donde la obstrucción por insectos es de consideración especial, este aspecto de diseño es muy importante. En otras áreas es irrelevante.
- Color. Algunos pájaros, roedores y vándalos son atraídos por ciertos colores.
- Resistencia a la luz solar.
- Número de partes móviles. En general, los dispositivos que poseen un buen número de partes móviles tienen más problemas y complicaciones que aquellos con pocas partes móviles o ninguna.
- Vida útil. Algunos emisores y dispositivos compensadores de presión que poseen porciones flexibles tienen una vida útil muy corta. Las características de descarga pueden cambiar en forma apreciable en uno o dos años. Por otra parte, algunos emisores compensadores de presión tienen historia de funcionamiento excelente durante largo tiempo. Se debe solicitar siempre un certificado de garantía del fabricante para este tipo de dispositivos, el cual debe contemplar:
 - el cv para emisor nuevo.
 - el cv para emisores limpios de dos años.
 - el exponente de descarga para emisor nuevo y de dos años.
 - el caudal promedio (por ejemplo, a 103 kPa (15 psi) para un emisor nuevo y de dos años).

Conexión de Goteros a la Línea Lateral

Los emisores pueden conectarse a las mangueras en las siguientes (y otras) formas:

1. Sobre la línea. Estos emisores tienen un puerto de entrada de tipo “barbilla”, el cual se inserta a través de un orificio en la manguera. Generalmente se insertan dentro de la manguera una vez que la manguera ha sido extendida en el campo. Esto incluye microrociadores los cuales pueden utilizar un acoplamiento de barbilla y manguera tipo microtubo.
2. En línea con extremos en barbilla. El diseño es menos popular desde la aparición de conexiones soldadas (ver el siguiente ítem). Los emisores individuales tienen dos extremos en barbilla, de tal manera que el emisor actúa como acoplamiento entre dos piezas de manguera. Los emisores en línea tienen un centro ahuecado, el cual actúa como un tubo para todo el flujo que pasa ese punto.
3. Conexión interior o soldado. El propio emisor no puede ser visto a menos que se corte la manguera. Los emisores individuales pueden ser soldados al interior de la manguera de polietileno, con un hueco provisto en la manguera para la descarga del flujo. En otros diseños el emisor se inserta en la manguera cuando esta es extrusada y en ellos la pared de la manguera actúa como la corteza exterior del emisor para la trayectoria del agua en el mismo.
4. Parte de la manguera/cinta. La mayor parte de tipos de cinta de goteo tienen emisores cuyas trayectorias son construidas completamente entre las secciones superpuestas del material de la cinta.

El tipo de conexión puede ser importante si la manguera se mueve con frecuencia, si se somete a pisoteo considerable o al tráfico de escaleras de los cosechadores, o si es enterrada en el suelo. En estos casos se prefieren generalmente los diseños de conexión interna o de emisores de perfil bajo.

Exponente de Descarga de un Emisor

En los emisores no autocompensados (no CP), el caudal siempre se incrementará con un incremento en presión. La ecuación general para emisores no CP es:

$$Q = KP^x$$

donde: Q = Caudal, litros/hora o LPH (*galones/hora o GPH*)

K = Constante, la cual depende de las unidades y del tamaño del orificio.

P = Presión de descarga, kPa (*psi*)

x = Exponente de descarga del emisor

Algunos fabricantes suministran los valores “K” y “x” de esta ecuación. En otros casos, especialmente con microrociadores y equipos de goteo para cultivos en hileras, tal información rara vez es suministrada.

El exponente de descarga (x) determinará la sensibilidad de los caudales del emisor a las diferencias de presión. Un exponente alto (tal como 0,7) indica una mayor sensibilidad que un exponente pequeño (tal como 0,4).

Tabla 5. Porcentaje de cambio de caudal para varios exponentes.

% de cambio de presión	- Exponente -				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
10	3,9	4,8	5,9	6,9	7,9
20	7,6	9,5	11,6	13,6	15,7
30	11,1	14,0	17,1	20,2	23,3
40	14,4	18,3	22,3	26,6	30,9
50	17,6	22,5	27,5	32,8	38,3

El exponente de descarga puede ser determinado examinando la literatura de los fabricantes como se indica a continuación:

1. Para fuentes puntuales (tales como rociadores y goteros instalados)

$$x = \frac{\log\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)}{\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}$$

donde: Q_1 y Q_2 son los caudales

P_1 y P_2 son las presiones

Q_1 es el caudal a presión P_1

Por ejemplo, al examinar la información sobre los productos del fabricante para un microrociador típico con un tamaño de boquilla “verde” (#50):

A 103 kPa (15 psi), $Q = 54,5$ LPH (14,4 GPH)

A 207 kPa (30 psi), $Q = 77,2$ LPH (20,4 GPM)

Al resolver para encontrar el exponente de descarga,

$$\text{Log}\left(\frac{54,5 \text{ LPH}}{77,2 \text{ LPH}}\right) = -0,1513$$

$$\log\left(\frac{103 \text{ kPa}}{207 \text{ kPa}}\right) = -0,301$$

$$x = \frac{-0,1513}{-0,301} = 0,503$$

La otra constante “K” para la boquilla número 50 se resuelve por:

$$K = \frac{Q}{P^x}$$

$$K = \frac{54,5 \text{ LPH}}{103^{0,503}} = 5,29$$

Nota: El exponente es el mismo tanto para el Sistema Internacional como para el Sistema Inglés. Sin embargo, el K es igual a 3,69 con unidades de GPM y psi. Se recomienda verificar el exponente suministrado por el fabricante calculándolo de nuevo para un tamaño de boquilla ligeramente diferente o para el mismo tamaño de boquilla pero con diferentes presiones. Si los dos exponentes calculados son diferentes, probablemente hay un error en los datos del fabricante.

Al hacer una verificación con una boquilla #40 (azul),

$$Q = 28,4 \text{ LPH (7,5 GPH), a } 69 \text{ kPa (10 psi)}$$

$$Q = 49,6 \text{ LPH (13,1 GPH), a } 207 \text{ kPa (30 psi)}$$

$$x = \frac{\log\left(\frac{28,4 \text{ LPH}}{49,6 \text{ LPH}}\right)}{\log\left(\frac{69 \text{ kPa}}{207 \text{ kPa}}\right)} = \frac{-0,242}{-0,477} = 0,507$$

Los dos valores de x, 0,507 y 0,503, son bastante cercanos y muy ciertamente están dentro del margen de redondeo de los datos suministrados. El “K” siempre será diferente para tamaños diferentes de boquilla.

Los rociadores típicamente tienen un exponente de descarga de 0,50 (tal como un aspersor estándar, puesto que tienen un “orificio” de salida). Si en los datos no se suministra este valor, el fabricante debe ser contactado para que de una explicación.

2. Para emisores de fuente en línea, los cuales son comúnmente usados en cultivos anuales, el procedimiento es ligeramente diferente. Se trata de salidas cuya separación es de corta distancia 20 cm - 61 cm (8” - 24”) generalmente dispuestas en mangueras de pared delgada (cintas).

La información suministrada por los fabricantes de la mayor parte de estos materiales, históricamente no ha sido tan detallada ni tan técnica como la

suministrada para emisores estándar. La cinta de goteo para cultivos de hortalizas, algunas veces se trata más como un artículo de consumo que como un producto de ingeniería, para uso en ingeniería. Para la mayor parte de los productos populares la literatura común de los fabricantes simplemente no provee información alguna con respecto a cómo cambia el caudal con los cambios de presión. Los diseñadores deben apoyarse en gráficas y tablas que sugieren “longitudes de línea aceptables”, sin que en realidad se tenga información sobre caudales, diferencias de presión, cv de fabricación asumido, o cualquier otro dato.

Algunos fabricantes suministran información sobre caudal a diferentes presiones, como caudal por cada 30,5 m (100'). Esa información puede ser usada para estimar el exponente en la misma forma en que fueron hechos los cálculos para emisores de fuente puntual.

En la mayoría de los casos, sin embargo, parece ser necesario obtener realmente una muestra de manguera y realizar algunas pruebas de motu propio. Otra opción es obtener información de un servicio de pruebas. Conviene señalar que el exponente de descarga de una cinta en particular puede depender del espesor de la pared de la cinta; los exponentes más altos pueden estar asociados con las paredes más delgadas puesto que las paredes se expanden a presiones más altas.

Hay algunos casos especiales los cuales se describen a continuación:

1. Tubo poroso. Ha habido varios diseños de tubo poroso desde los primeros años de la década de 1970. Además de los problemas de taponamiento causados porque el tamaño de los orificios es extremadamente pequeño (típicamente no pasan arcilla o limo), las características de descarga del emisor pueden variar con el tiempo. Pruebas desarrolladas por el ITRC con uno de esos productos, demostraron que la descarga cambió significativamente de un día para otro. Además, el exponente de descarga resultó ser mayor que 1,0, lo cual indicó que los orificios de descarga se expandieron con el incremento en presión.
2. Emisores enterrados. Las características de descarga del emisor se miden en el laboratorio, permitiendo solo la presión atmosférica a la salida del emisor. Puesto que la descarga de un emisor (excepto en los emisores compensadores de presión) está determinada por la diferencia de presión a través del emisor, la descarga del emisor será menor que la esperada examinando tan solo la presión en la línea. El efecto sobre los caudales puede ser desde despreciable hasta cerca de 50%, dependiendo del caudal del emisor, de la presión y de las características del suelo (valores típicos son probablemente 5% - 10%). Esto resulta interesante, porque introduce un elemento de desuniformidad en riego por goteo/microaspersión (debido a la variedad de tipos de suelo) desuniformidad que no puede ser fácilmente cuantificable con las actuales técnicas de evaluación. Parece ser que este problema solamente ocurre en emisores enterrados a gran profundidad; investigaciones llevadas a cabo en el ITRC no han encontrado este problema en cintas de goteo enterradas comúnmente a baja profundidad para regar cultivos de hortalizas. El suelo alrededor de estas cintas de goteo poco

profundas usadas en cultivos de hortalizas, es generalmente bastante suelto y friable, debido a la falta de compactación y a los niveles elevados de material orgánico.

Tipo de Trayectoria del Emisor

Los diseños de emisores intentan hacer algo imposible: descargar un caudal relativamente pequeño a una presión elevada a través de un gran orificio.

1. El caudal pequeño es deseable porque baja el caudal en la manguera y por consiguiente reduce los costos de esta.
2. El orificio de gran tamaño ayuda a minimizar la obstrucción.
3. Las presiones elevadas son deseables en situaciones donde cambia la elevación, ya que a más alta presión de operación del emisor, menos importante es el cambio de elevación. Por ejemplo asuma:

Cambio de elevación a lo largo de la manguera = 34,5 kPa (5 *psi*)

Presión promedio del emisor = 69 kPa (10 *psi*)

El cambio en elevación es 50% $[(34,5 \text{ kPa}/69 \text{ kPa}) \times 100]$ de la presión promedio de operación del emisor; situación que probablemente causará problemas de uniformidad. La magnitud de estos problemas dependerá de si el agua fluye pendiente abajo, pendiente arriba, o en ambas formas.

Considere, por otra parte, una presión promedio de operación de un emisor de 138 kPa (20 *psi*), pero con el mismo caudal y cambio en elevación. El cambio en elevación ahora es tan solo 25% de la presión promedio de operación del emisor.

A través de los años se han desarrollado numerosos diseños de trayectorias de flujo, algunos de los cuales se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Trayectorias típicas de emisores y sus características.

Tipo de Trayectoria	Descripción	Méritos	Problemas	Exponente Típico de Descarga, x
Microtubo	Tubo tipo microtubo, largo, de diámetro pequeño. Flujo laminar.	a	2,5,6	0,7 - 0,8
Largo Moldeado, suave	Largo, de pasadizo enroscado o espiralado suave en un cuerpo de emisor moldeado. Flujo laminar.		2,4	0,7
Vórtice	El agua entra tangencialmente a una cámara, en la cual gira y luego sale a través de un orificio localizado en el lado opuesto.	a,b,c	3,4	0,4
Tortuoso	Trayectoria de laberinto o zig-zag. Flujo turbulento en algunos puntos en el pasadizo.	c,d,e		0,5 - 0,55
Tubo poroso	Orificios muy pequeños en el mismo tubo, a través de los cuales “suda” o emite agua.		2,3,5,6	mayor que 1,0
Emisor compensador de presión	Se usa algún tipo de membrana, anillo en O, u otro diseño para reducir el tamaño de la trayectoria a mayores presiones. La calidad es altamente variable entre los fabricantes.	Posibles: b,c,d,e	Posibles: 1,4,6,7 Algunos son comp. de presión solo de nombre.	0 - 0,5
Orificio flexible múltiple	El agua pasa a través de varios orificios en membranas flexibles. La suciedad capturada en un orificio creará presión detrás del mismo, por lo cual se expande el orificio y la basura sale a través del mismo.	d,e	1 posible 7	0,7
Orificio	Orificio único y simple. Típico en microrociadores.	a,b,c,d,e		0,5

Convenciones utilizadas en la Tabla 6

Ventajas:

- a. Barato
- b. Caudal insensible a cambios de temperatura
- c. cv de fabricación bajo (es decir, poca variación entre emisores)
- d. Típicamente un orificio grande
- e. Menos susceptible a obstrucción que otros emisores con el mismo tamaño de orificio

Desventajas:

- 1. Caro
- 2. Caudal sensible a cambios de temperatura
- 3. Típicamente un orificio pequeño
- 4. Relativamente sensible a obstrucción
- 5. Muy sensible a la obstrucción
- 6. cv de fabricación grande en algunas manufacturas y modelos
- 7. Características de descarga de algunas manufacturas y modelos pueden cambiar luego de algunos años de operación

En la práctica, actualmente casi todos los dispositivos de emisión tienen uno (o combinación) de los siguientes diseños:

1. Orificio simple. Este es el caso de la mayoría de microrociadores en el momento de publicación.
2. Trayectoria tortuosa. Las ventajas mostradas en la Tabla 6 son claras. Este diseño proporciona una abertura de trayectoria relativamente grande, insensibilidad a cambios de temperatura, menos obstrucción que trayectorias suaves y largas y un exponente de descarga relativamente bueno.
3. Dispositivos compensadores de presión. Pueden encontrarse tanto en goteros como en microrociadores. Cuando se seleccionen estos dispositivos se deben tomar precauciones especiales, en particular con los microrociadores localizados en el propio microtubo. Si bien lo anterior es cierto, también es verdad que existen en el mercado algunos dispositivos compensadores de presión excelentes. Algunos de estos dispositivos tienen excelentes modalidades de compensación de presión (una vez que la presión mínima requerida es alcanzada), así como también modalidades de reducción del taponamiento debido a los diseños de su lavado. Para repetir la precaución mencionada anteriormente, en palabras ligeramente diferentes, se puede recomendar que siempre que se adquiera un dispositivo compensador de presión, quien hace el diseño debe obtener un certificado de garantía del fabricante, el cual garantice lo siguiente:
 - Un cv de fabricación a la presión promedio de operación esperada. Nótese que esto debe incluir emisores de varios “lotes” o tandas de fabricación, y no todos provenientes del mismo lote. El cv típicamente debe ser menor de 0,05.
 - Una curva de descarga-presión que cubra el rango anticipado de presiones.
 - Que el cv para emisores limpios y la curva descarga-presión sean válidas dentro de un margen de 2% - 4% en los primeros 2 a 5 años de operación.

Los autores anticipan que para el año 2010, la mayoría de los diseños de goteros y de microrociadores incluirán compensación de presión en cada dispositivo de emisión.

Microrociadores con Acumuladores

Un acumulador o “Pulsador™”, combina las ventajas de la boquilla grande (menos obstrucción) y la cobertura amplia de un microrociador, con las ventajas hidráulicas (menos fricción y diámetros de manguera más pequeños) de un gotero. Un “acumulador” especial va colocado bajo un microrociador. Un caudal pequeño llena gradualmente el acumulador y una vez lleno, el volumen acumulado se descarga rápidamente a través del microrociador. Como para todos los dispositivos que tienen partes móviles, es importante obtener un certificado de garantía de vida útil y de variación de fabricación.

Caudales de los Emisores y Costos

El sistema de riego menos costoso (costo inicial) es aquel que tenga caudales muy pequeños por metro (*pie*) de manguera. Los caudales bajos reducen costos porque:

1. Pueden usarse diámetros pequeños de manguera lateral. Esto reduce el costo de manguera.
2. Pueden usarse mangueras largas, en comparación con mangueras de igual diámetro y mayor caudal por metro (*pie*). Esto reduce el número de líneas subprincipales o múltiples requeridas.
3. Se puede regar a la vez un mayor porcentaje del lote, con el resultado de que se necesita un menor número de válvulas de bloque. Esto simplifica los requerimientos de automatización.
4. Las líneas subprincipales y los múltiples son también de menor diámetro que cuando se usan varios bloques. Un tubo que opera solo la mitad del tiempo, debe llevar el doble del caudal de un tubo que opera durante todo el tiempo.

Caudales de los Emisores y Obstrucción

Los goteros/microrociadores de gran caudal pueden ser menos susceptibles a obstrucción que aquellos de bajo caudal. Históricamente, una diferencia importante entre emisores de bajo caudal y de gran caudal ha sido el diámetro de la trayectoria. Por consiguiente, fue relativamente fácil afirmar que los emisores de gran caudal tenían menos problemas de obstrucción que aquellos de bajo caudal. Sin embargo, algunos fabricantes cambian el caudal cambiando la longitud de la trayectoria en lugar de cambiar el diámetro de la misma. La obstrucción debida a la presencia de material inorgánico (partículas de arena) tiende a ocurrir cerca de la entrada a la trayectoria de flujo del emisor, de tal manera que si los diámetros de trayectorias son similares para bajos y altos caudales de los emisores, no existe ventaja aparente para ninguno de los dos, desde el punto de vista las obstrucciones.

También es claro que el diseño de las entradas a la trayectoria (bien sea que la entrada sea levantada o hundida, plana o biselada, con varias o con una sola entrada), tendrá un impacto tremendo sobre la susceptibilidad a obstrucción del emisor debida a material inorgánico. Algunos emisores de bajo caudal, bien diseñados, son mucho menos sensibles a obstrucción por material inorgánico, que emisores de caudal elevado con el mismo tipo de trayectoria, aunque con condiciones de entrada diferentes.

Resulta muy difícil establecer un valor de beneficio en términos monetarios a la potencialidad de obstrucción. Es mucho más fácil calcular cual será el costo extra por concepto de un gran caudal o por emisores mejor diseñados. La susceptibilidad exacta a la obstrucción dependerá de variables tales como los elementos químicos del agua, del grado de mantenimiento, de la calidad de filtrado y de la clase y cantidad de contaminantes presentes en el abastecimiento de agua. La principal causa individual del deterioro de la uniformidad de riego por goteo/microaspersión después de la

instalación es la OBSTRUCCIÓN de emisores/rociadores. La Tabla 7 ofrece una posible guía para estimar el valor del tamaño del orificio incrementado en microrociadores simples, los cuales son relativamente fáciles de comparar solo por el tamaño del orificio.

Tabla 7. Índice de uniformidad para microrociadores simples. La relación entre uniformidad y producción puede utilizarse para todos los tipos de goteo/microaspersión.

Diámetro del orificio mm (<i>pulgadas</i>)	Índice de Uniformidad (valores mayores indican menor obstrucción)	Índice para Uniformidad de Producción (valores mayores = mejor uniformidad de producción)
0,76 (0,030)	0,5	4
1,02 (0,040)	0,7	4,5
1,27 (0,050)	1,0	5
1,52 (0,060)	1,3	5,5
1,78 (0,070)	1,7	6

Los costos totales de un sistema incluyen tanto costos de instalación como de operación/mantenimiento.

$$\text{Costo anual} = (\text{Costo de instalación anualizado}) + (\text{Costos de O\&M anuales})$$

La Tabla 7 solamente tiene en cuenta costos de O&M anuales asociados con el mantenimiento y con el incremento en horas de bombeo por causa de obstrucción. El incremento en costo anual de operación, debido al incremento en mantenimiento y a mayor número de horas de bombeo, puede ser aproximado como sigue:

$$\text{Costo anual relativo} = \frac{\text{Índice Uniformidad obstrucción (1)}}{\text{Índice Uniformidad obstrucción (2)}}$$

Asuma por ejemplo:

El costo anual de operación de un sistema de riego por goteo o microaspersión para un diámetro de emisor de 1 mm (0,04") fue \$10.000 dólares/año.

Encuentre: Costo anual de bombeo y mantenimiento de un sistema de riego por goteo/microaspersión que usa un diámetro de orificio de 1,52 mm (0,060").

Solución: Costo de operación anual = (costo anual rel.) x (costo anual presente)

$$\text{Costo de operación anual} = \left(\frac{0,7}{1,3} \right) \times \$10.000 = \$5.385$$

El rendimiento se vería también afectada por desuniformidad y por posible riego en déficit en áreas con microaspersores obstruidos.

Si se asume que el margen rendimiento/fertilizante potencial usando un diámetro de orificio de microrociador de 1 mm (0,40”), fue \$60.000/año, el margen potencial rendimiento/fertilizante usando 1,52 mm (0,060”) sería:

$$\frac{\text{Rendimiento}}{\text{fertilizante}} \times \text{margen} = \frac{5,5}{4,5} \times \$60.000 = \$73.333$$

En otras palabras, el incremento total en beneficio anual utilizando el microrociador de mayor tamaño de orificio (no incluyendo el costo inicial anualizado de adquisición del sistema) podría ser:

Incremento en beneficio anual = \$73.333 - \$60.000	= \$13.333
Ahorros (agua, energía, mant.) = \$10.000 - \$5.400	= <u>\$4.600</u>
Incremento total en beneficio anual	= \$17.933

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.)