

CAPÍTULO 5

FRICCIÓN E HIDRÁULICA DE LA LÍNEA LATERAL

Generalidades

El tema de fricción en mangueras laterales ha sido discutido con profundidad en numerosas publicaciones desde los primeros años de la década de 1970. Existen muchas fórmulas, programas de computadora, tablas y ayudas gráficas disponibles para solucionar la hidráulica de las mangueras laterales. Los autores recomiendan el uso de pequeños programas de computadora, aunque este capítulo ilustra muchos detalles sobre procedimientos de cálculo manual.

Se recomienda que los diseñadores no inviertan tiempo excesivo en este aspecto particular de diseño; ese tiempo compite con el tiempo que sería mejor invertido en examinar el tipo apropiado de filtrado, separación entre emisores y planes de manejo. Además, la solución “verdadera” exacta está sujeta a algún debate. Este hecho se evidencia cuando una persona soluciona el mismo problema de la hidráulica de una manguera utilizando varias de las técnicas disponibles; la respuesta puede diferir hasta en un 10%.

La fricción real depende también de unos cuantos factores, los cuales pueden no ser conocidos claramente con antelación por parte del diseñador. Estos factores incluyen la variación de temperatura del agua a lo largo de la manguera, el tamaño y forma de las barbillas de emisores o de las protuberancias dentro de las mangueras y la variación exacta en el espesor de pared de la manguera (y el efecto correspondiente sobre la fricción). En mangueras enterradas, hay un factor de complicación adicional debido a que la sección transversal de la manguera no es redonda; puede más bien adquirir una forma ovalada.

Los factores importantes relacionados con la hidráulica de las mangueras son:

1. Si la fricción en una manguera es moderada o baja (menos de 20% de la presión promedio de operación de un emisor), los pequeños errores que se puedan cometer en los cálculos de fricción generalmente tendrán un pequeño porcentaje de efecto sobre el estimativo de UD.
2. La diferencia de presión entre los extremos de entrada y final de las mangueras puede no reflejar las presiones máxima y mínima reales si las mangueras tienen pendiente hacia abajo en una pendiente pronunciada.
3. Las mangueras con pendiente hacia abajo pueden ser de mayor longitud que aquellas con pendiente hacia arriba. Por consiguiente, la línea subprincipal debe localizarse fuera del centro (es decir pendiente arriba del centro) si hay pendiente transversal con respecto a la orientación de la línea subprincipal/múltiple.

Cálculos de Fricción

Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach puede ser la forma más popular de ecuación para cálculo de fricción en mangueras usada en programas de computadora. La forma general de la ecuación es:

$$H_f = f \frac{LV^2}{D(2g)}$$

donde: H_f = Pérdida de energía por fricción (m o *pies*)
 V = Velocidad del agua (m/s o *pies/s*)
 L = Longitud del tubo (m o *pies*)
 D = Diámetro interno del tubo (m o *pies*)
 g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s² o 32,2 *pies/s*²)
 f = Factor de fricción, el cual depende de el Número de Reynolds (Re)

El Número de Reynolds (Re) es un valor adimensional definido como:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$

donde: ν = Viscosidad cinemática del agua, la cual depende de la temperatura de la misma (ver Tabla 8).

Tabla 8. Viscosidad cinemática del agua a diferentes temperaturas.

| Temperatura del Agua | | Viscosidad Cinemática ($\nu \times 10^6$) | |
|----------------------|-----|--|----------------------|
| ° C | ° F | m ² /s | pies ² /s |
| 0 | 32 | 1,79 | 19,3 |
| 4,4 | 40 | 1,55 | 16,6 |
| 10 | 50 | 1,31 | 14,1 |
| 15,6 | 60 | 1,13 | 12,2 |
| 20 | 68 | 1,01 | 10,8 |
| 21,1 | 70 | 0,984 | 10,6 |
| 26,7 | 80 | 0,864 | 9,30 |
| 30 | 86 | 0,804 | 8,65 |
| 32,2 | 90 | 0,767 | 8,26 |
| 37,8 | 100 | 0,687 | 7,39 |
| 40 | 104 | 0,661 | 7,11 |
| 43,3 | 110 | 0,620 | 6,67 |
| 48,9 | 120 | 0,566 | 6,09 |
| 50 | 122 | 0,557 | 6,00 |
| 100 | 212 | 0,296 | 3,19 |

No puede afirmarse que exista alguna ecuación catalogada como la mejor para estimar el factor “f” de Darcy-Weisbach a través del rango completo de los valores de Re. Para las tuberías de riego por goteo, las siguientes ecuaciones son las más comúnmente utilizadas (Boswell, 1984):

Para $Re < 2000$,

$$f = 64/Re$$

Para $2000 < Re < 100.000$,

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \text{ (conocida como ecuación de Blasius)}$$

La ecuación de Fanning se usa en muchas aplicaciones de computadora, para números de Reynolds entre 2.000 y 10.000.000. Esta ecuación es:

$$f = 0,0056 + \frac{0,5}{Re^{0,32}}$$

Se presenta alguna fricción adicional debida a las barbillas de emisores que se insertan en la manguera. La Tabla 9 se ha derivado de información encontrada en el Hardie Microirrigation Design Manual (Boswell, 1984).

Las Figuras 11 a 14 se han generado a partir de un programa de computadora, el cual calcula el número de Reynolds para cada segmento de manguera y luego usa la ecuación apropiada para determinar la fricción en ese segmento. Se asumió una temperatura del agua de 21,1 °C (70 °F).

Tabla 9. Pérdidas debidas a barbillas de emisores, expresadas en longitud equivalente de manguera.

| Diámetro interior | | Longitud equivalente, cm (<i>pies</i>) de manguera | |
|-------------------|-----------------|--|-----------------|
| mm | <i>pulgadas</i> | Barbilla pequeña ** | Barbilla grande |
| 10 | 0,4 | 18,3 (0,6) | 33,5 (1,1) |
| 15 | 0,6 | 9,1 (0,3) | 18,3 (0,6) |
| 20 | 0,8 | 6,1 (0,2) | 9,1 (0,3) |
| 25 | 1,0 | 3,0 (0,1) | 4,6 (0,15) |

**La porción de inserción de una barbilla “pequeña” es cerca de 5 mm (0,2”) de longitud y de 4 mm (0,15”) de ancho. Una barbilla “grande” tiene una porción de inserción aproximada de 5 mm x 8 mm (0,2” x 0,3”) de dimensión.

Longitud Extra por Diferencias de Temperatura

En instalaciones de manguera por sobre la superficie del terreno para árboles, es práctica común adicionar cerca de 2,5% de longitud extra de manguera por cada emisor. Esto debe tenerse en cuenta cuando se hacen cálculos de fricción. La longitud extra tiene en cuenta la expansión y contracción de la manguera a causa de los cambios de temperatura. Tiene en cuenta también que la manguera pueda ser tendida un poco suelta de tal manera que si se da un puntapié a la manguera, se disturbarán las localizaciones de tan solo unos pocos emisores. El coeficiente de expansión térmica para manguera de polietileno varía dependiendo del polímero específico, aunque aproximadamente es de 0,00012 m/m por °F. Un cambio de temperatura de 100° F a 40° F contraerá la manguera (temporalmente) en cerca de 7%.

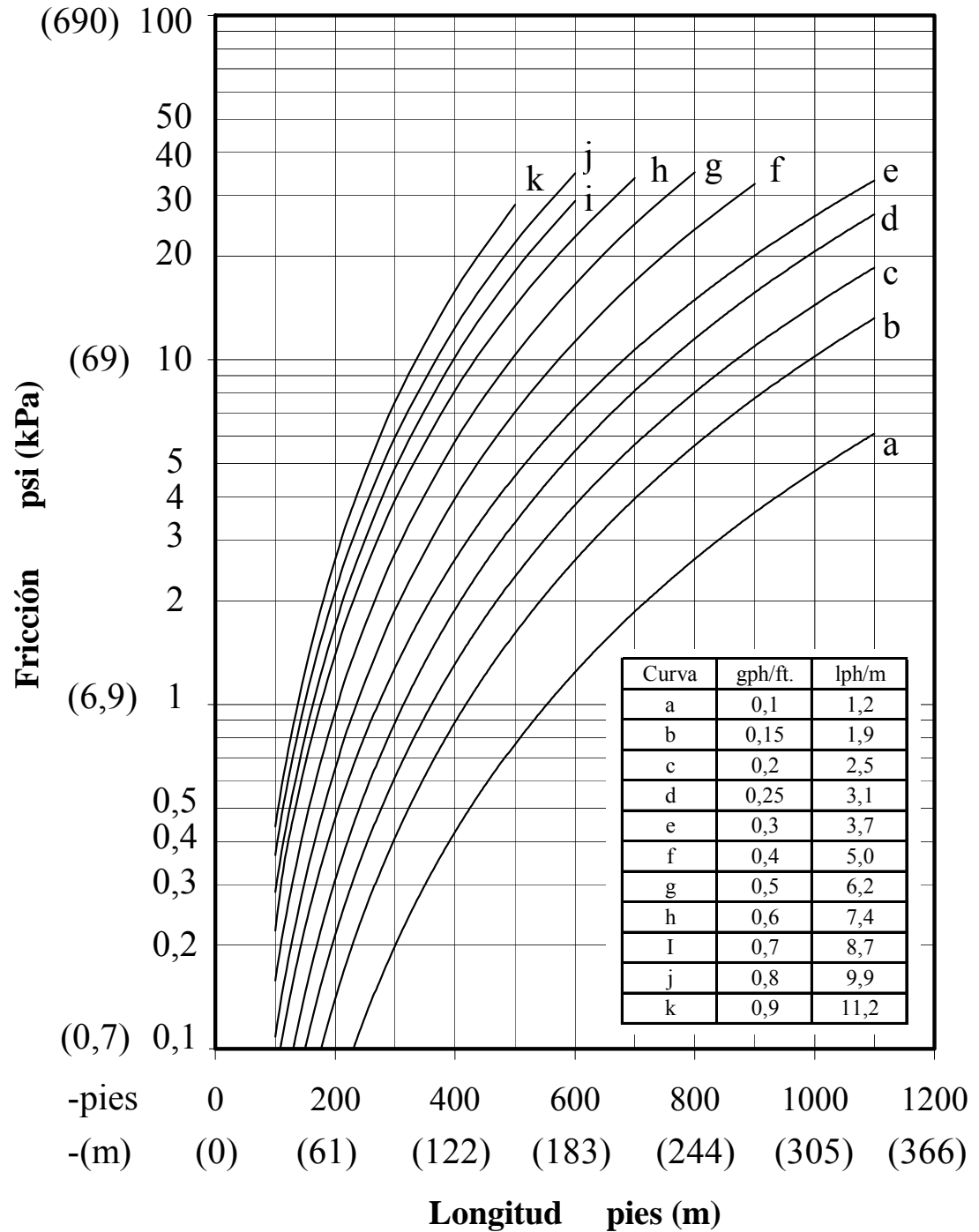


Figura 11. Pérdida de energía por fricción vs. longitud para mangueras de goteo de 15,8 mm (0,625") de diámetro interior para varios caudales y para barbillas de inserción pequeñas.

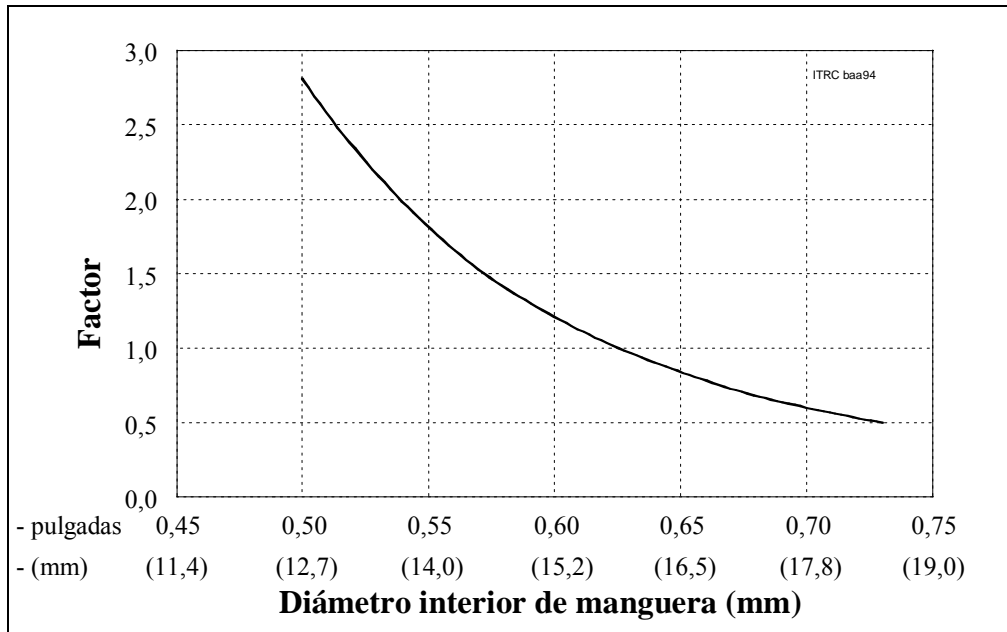


Figura 12. Fricción relativa para varios diámetros de manguera lateral comparados con la manguera de 15,8 mm (0,625") de diámetro interno. Los valores relativos son para longitudes y daudales de manguera, los cuales, para el caso de una sola manguera, proporcionarían una UD de cerca de 0,93 (excluyendo las consideraciones de cv).

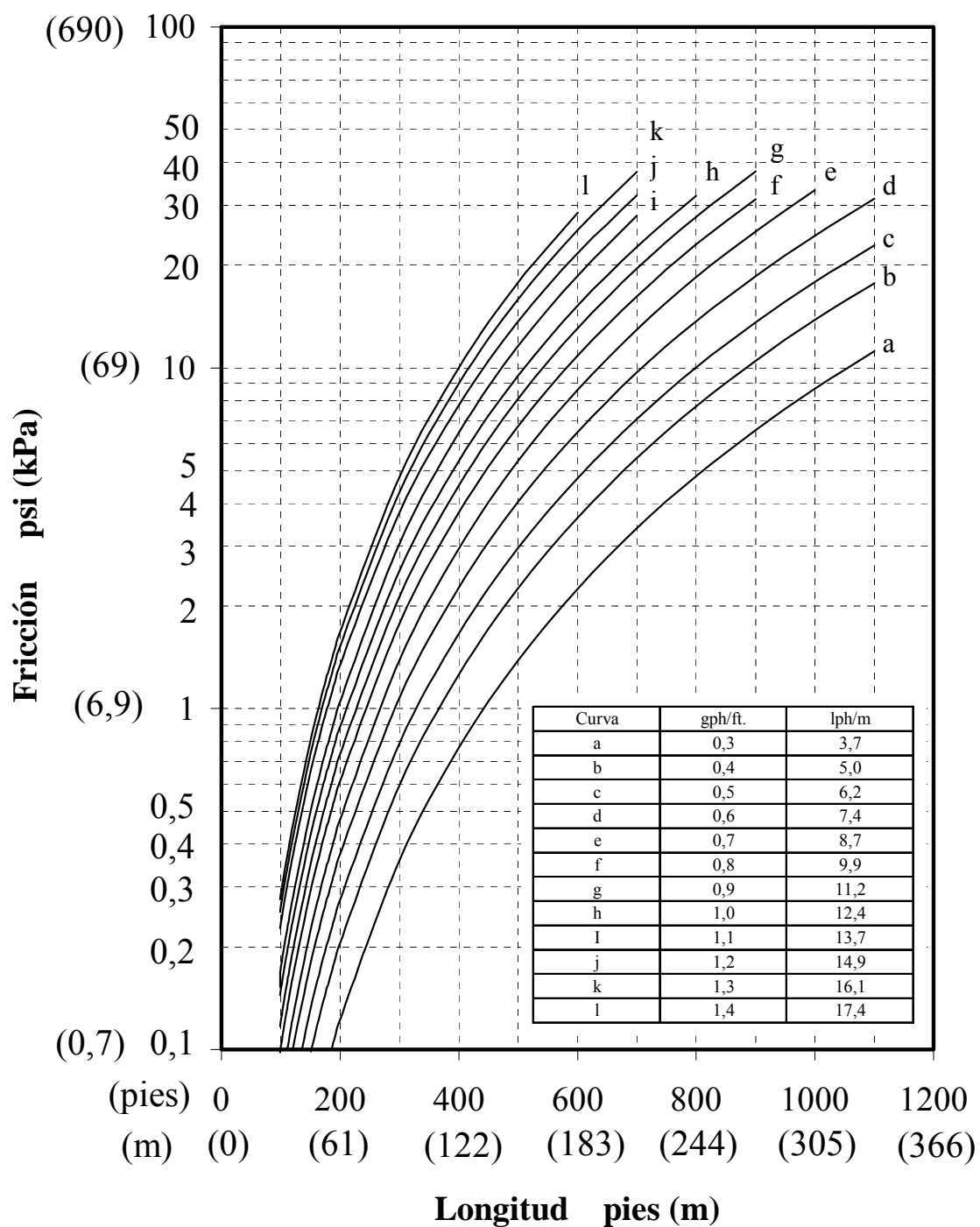


Figura 13. Pérdida de energía por fricción vs. longitud para mangueras de goteo de 20,6 mm (0,811") de diámetro interno y para varios caudales. Barbillas de inserción pequeñas.

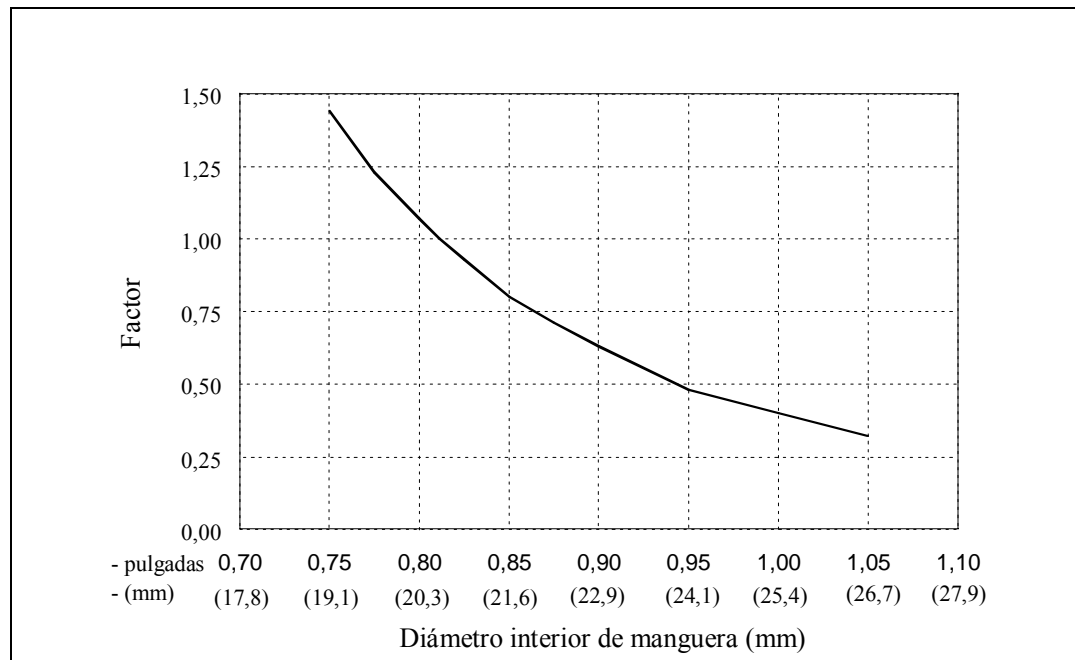


Figura 14. Fricción relativa para varios diámetros de manguera lateral comparados con la manguera de 20,6 mm (0,811") de diámetro interno. Los valores relativos son para longitudes y caudales de manguera, los cuales, para el caso de una sola manguera, proporcionarían una UD de cerca de 0,93 (excluyendo las consideraciones de cv).

Cálculos con la Ecuación de Hazen-Williams

En ausencia de programas de computadora o de las tablas y figuras anteriores (todas las cuales están fácilmente disponibles y teniendo en cuenta que los programas de computadora se recomiendan en primera instancia), las pérdidas por fricción en mangueras pueden calcularse utilizando la ecuación de Hazen-Williams, la cual se presenta a continuación. Esta ecuación es para una tubería sin salidas, en la cual solo hay un diámetro y en ella todo el flujo que entra fluye a lo largo de toda su longitud,

$$H_f = \frac{K_{HW} \times (Q/C)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L$$

- donde: Q = Caudal a través del tubo, m³/h (GPM)
 K_{HW} = Constante, la cual depende de las unidades
 K_{HW} = 4,55 para las unidades Inglesas ilustradas
 (nota: esto es igual a 1050/[2,31 x 100])
 K_{HW} = 1,11 x 10¹⁰ para las unidades Internacionales mostradas
 C = El factor de "rugosidad" de Hazen-Williams (ver Tabla 10 y Figuras 15 y 16)
 D = Diámetro interior de la manguera, m (pies)
 L = Longitud total del tubo o la manguera, m (pies)

H_f = Fricción total, kPa (*psi*)

Tabla 10. Valores “C” de Hazen-Williams.

| Material | Valores “C” de Hazen-Williams |
|---|----------------------------------|
| Concreto | 130 |
| Asbesto Cemento | 140 |
| Aluminio con acoplamientos cada 30’ | 120 |
| Hierro Nuevo | 130 |
| Hierro viejo (15 años) | 100 |
| PVC | |
| Diámetro Interior (DI) > 127 mm (5’’) | 150 |
| 38,1 mm (1,5’’) ≤ DI ≤ 127 mm (5’’) | 146 |
| DI < 38,1 mm (1,5’’) | 143 |
| Manguera de goteo (polietileno) con emisores (ver Fig. 15 & 16). Valor promedio equivalente para toda la longitud de la manguera. | |
| DI = 12,7 mm (0,5’’) | 132 |
| DI = 17,8 mm (0,7’’) | 139 |
| DI = 22,9 mm (0,9’’) | 145 |
| DI = 27,9 mm (1,1’’) | 148 |

La ecuación de Hazen-Williams es una ecuación empírica con la cual se obtienen resultados razonables siempre y cuando se usen valores correctos de “C”. En diseño moderno generalmente es usada para cálculos manuales, ya que con un programa de computadora se pueden usar ecuaciones más complicadas (pero más precisas) y basadas en el número de Reynolds.

Para calcular fricción en forma manual, comúnmente se calcula primero la fricción como si el caudal total de entrada pasara a través de toda la longitud de la manguera. Para convertir esta fricción así calculada en la fricción que ocurriría en una manguera “lateral”, en la cual toda el agua se descarga a través de salidas de emisores, se usa el factor “F” para varias salidas.

Para el caso de un LATERAL de un solo diámetro (o manguera), con varias salidas uniformemente espaciadas a través de las cuales se descarga toda el agua, la fricción total puede estimarse como:

$$H_f \text{ de un lateral} = (H_f \text{ de una “línea principal”}) \times F$$

donde: H_f de una “línea principal” es el primer caso descrito, en el cual toda el agua fluye a través de toda la longitud del tubo y F es un “factor para salida múltiple”, el cual se encuentra en la Tabla 11.

Tabla 11. Factor de salida múltiple “F” para la ecuación de Hazen-Williams.

| Número de Salidas | F |
|-------------------|------|
| 1 | 1,00 |
| 6 | 0,44 |
| 10 | 0,40 |
| 20 | 0,38 |
| 40 | 0,37 |
| 100 | 0,36 |

En otras palabras, un lateral con caudal de 378,5 LPM (100 GPM) a la entrada tendrá cerca del 40% de la fricción total que tendría otro tubo (de igual diámetro y longitud) si este no tuviera salidas y en él toda el agua recorriera la longitud completa de la manguera.

El aspecto que reviste mayor dificultad al usar la ecuación de Hazen-Williams en el cálculo de fricción en una manguera lateral, es la selección de la rugosidad apropiada o valor “C”. El valor “C” cambia continuamente a lo largo de la línea lateral a medida que cambia el caudal. No obstante, se puede calcular un valor “C promedio” para ser usado en un cálculo de fricción en particular. Las Figuras 15 y 16 proporcionan información relacionada con el valor apropiado de “C” para diferentes diámetros de manguera, tamaños de barbillas y temperaturas del agua.

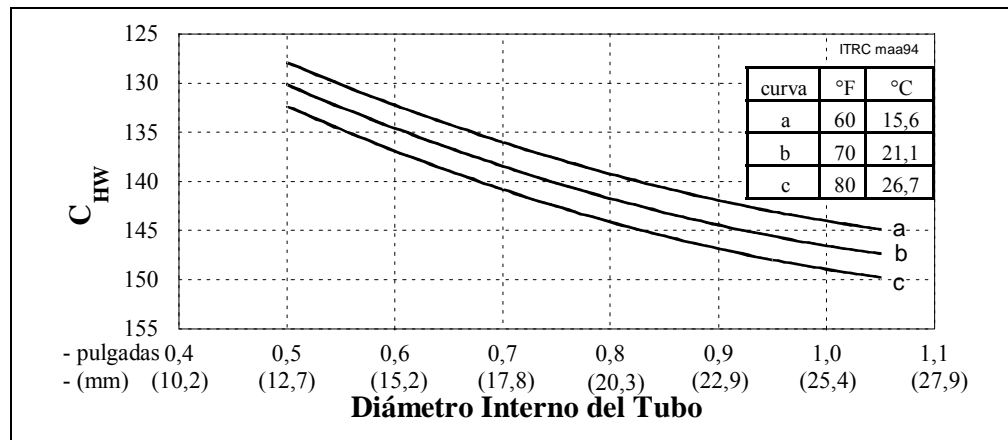


Figura 15. Valores “C” de Hazen-Williams para tres temperaturas del agua. Las condiciones dan una UD para una sola manguera (excluyendo cv) de cerca de 0,92. Se asume barbilla de inserción grande, varias temperaturas, pendiente cero, $x = 0,5$, varios caudales @ 96 kPa abs (14 psia), separación de 1,8 m (6').

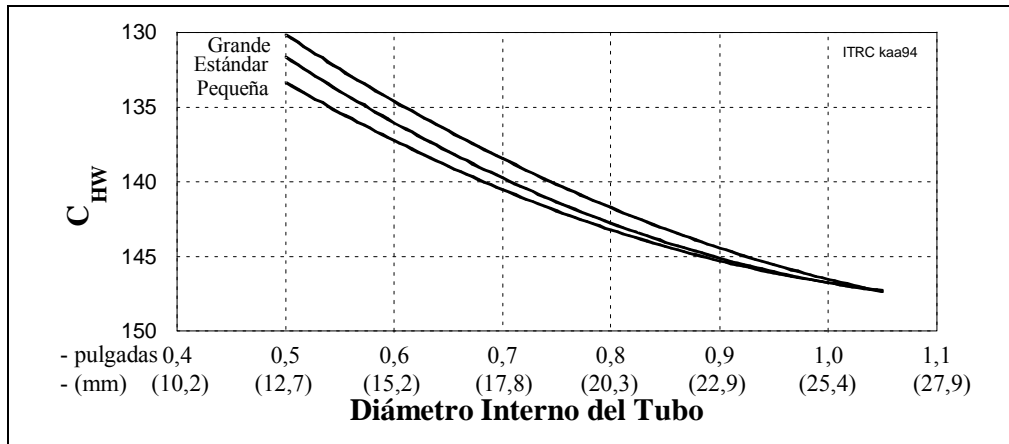


Figura 16. Valores “C” de Hazen-Williams para tres diferentes geometrías de barbilla de inserción de emisores. Las condiciones dan una UD para una sola manguera (excluyendo cv) de cerca de 0,92. Temperatura 21,1°C (70°F), x = 0,5, varios caudales @ 96 kPa abs (14 psia), separación entre orificios de 1,8 m (6') (excluyendo consideraciones de cv).

Las Figuras 15 y 16 muestran que un valor apropiado de “C” para la ecuación de Hazen-Williams, cuando se calcula fricción en mangueras de goteo, es aproximadamente de 135 para mangueras de pequeño diámetro y entre 145 y 150 para mangueras de gran diámetro.

Ejemplo de Cálculos de Fricción

Dado: Un microrociador cada 5 m (16') a la distancia de siembra (uno por árbol)
 La manguera tiene 2,5% de longitud extra para permitir cambios de temperatura
 Caudal del microaspersor = 62,8 LPH (16,6 GPH)
 Diámetro interior de la manguera (DI) = 20,6 mm (0,811")
 La manguera abastece 22 árboles
 Barbilla pequeña en la conexión rociador/manguera

Encuentre: Fricción total

Solución # 1: Utilizando la Figura 13

$$\text{Caudal} = \frac{62,8 \text{ LPH}}{5 \text{ m} \times 1,025} = 12,25 \text{ LPH/m}$$

$$\text{Longitud total} = \frac{5 \text{ m}}{\text{arbol}} \times 1,025 \times 22 \text{ arboles} = 112,75 \text{ m}$$

(lo anterior asume una longitud completa de 5 m sin emisores antes del primer rociador).

De la Figura 13, $H_f = \underline{32,4 \text{ kPa}} \text{ (4,7 psi)}$

Solución # 2: Utilizando la ecuación de Hazen-Williams

$$\text{Caudal total de entrada} = 22 \text{ rociadores} \left(\frac{62,8 \text{ LPH/rociador}}{60 \text{ min/h}} \right) = 23,03 \text{ LPM}$$

El factor “F” de salida múltiple apropiado, de la Tabla 11, es 0,38

El factor “C” aproximado, de la Figura 16, es aproximadamente 143

Resolviendo:

$$H_f = \frac{1,10 \times 10^{10} \left[(\text{m}^3/\text{s})/C \right]^{1,852}}{D^{4,87}} \times L \times F$$

$$Q = 23,04 \text{ LPM}(60 \text{ min/h}) / (1.000 \text{ L/m}^3) = 1,3824 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_f = \frac{1,11 \times 10^{10} \left[1,3824(\text{m}^3/\text{s})/143 \right]^{1,852}}{20,6 \text{ mm}^{4,87}} \times 110 \text{ m} \times 0,38$$

$$H_f = \mathbf{35 \text{ kPa} } \text{ (5,0 psi)}$$

Presión a lo Largo de una Manguera Lateral

Las presiones en los emisores a lo largo de una manguera lateral varían debido a los cambios en elevación y a la fricción. La Figura 17 ilustra presiones calculadas para dos mangueras con idénticos caudales de entrada, longitudes, diámetros interiores, etc. Obsérvense los siguientes puntos:

1. Cerca del 75% de la pérdida por fricción ocurre en el primer 40% de la longitud de la manguera desde la entrada.
2. El caudal promedio por gotero ocurre en ese punto (cerca del 40% de la distancia desde la entrada) en una manguera nivelada.
3. Para una manguera nivelada, la presión más baja siempre ocurre en el extremo aguas abajo.
4. Una manguera nivelada requerirá una presión de entrada mayor que una manguera con pendiente descendente, para la misma presión promedio del emisor. La Figura 17 muestra una diferencia de requerimientos de presión de entrada de 27,6 kPa (4 psi) entre las dos mangueras del ejemplo.
5. En una manguera con pendiente descendente, la presión más baja (y el caudal más bajo) puede ocurrir en un punto intermedio. La localización exacta del emisor con presión más baja en una manguera con pendiente descendente, dependerá del diámetro de la manguera, del caudal, de la longitud y de la pendiente de la superficie del terreno.

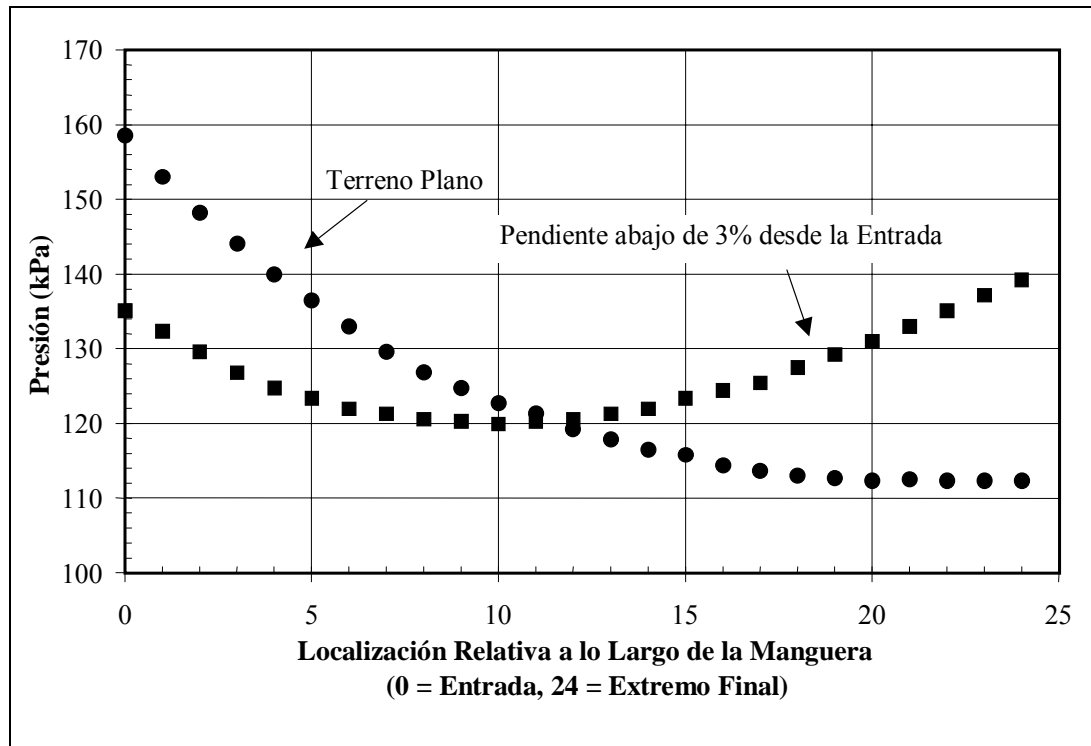


Figura 17. Presiones en los emisores a lo largo de una manguera sobre terreno plano vs. pendiente hacia abajo. En ambos casos el caudal promedio por emisor es el mismo.

Pérdidas en el Microtubo y en los Acoplamientos de los Microrociadores

Los microrociadores pueden tener caudales muy altos, en comparación con los emisores de goteo estándar. La mayoría de los microrociadores se conectan a la manguera lateral con un acoplamiento y un microtubo. El microtubo y los adaptadores para el tubo se fabrican generalmente en pequeños diámetros. El resultado es que las pérdidas “menores” entre la manguera lateral y los microrociadores pueden ser muy altas. No es extraño que se presenten pérdidas por fricción entre la manguera y el rociador del orden de 14 kPa a 41 kPa (*2 psi a 6 psi*) con microrociadores de 57 LPH a 76 LPH (*15 GPH a 20 GPH*). Estas pérdidas no contribuyen a la desuniformidad, pero deben ser tenidas en cuenta en el requerimiento total de presión a la entrada de la manguera.

El microtubo es generalmente hecho bien sea de vinilo o de polietileno y los tamaños se identifican por el diámetro exterior (DE) del tubo. Los tubos de vinilo usualmente tienen una pared más tosca y gruesa que los de polietileno (PE), razón por la cual en ellos se presenta mayor fricción. La tubería de PE es menos costosa que la de vinilo y es precisamente el PE el material más común en la Costa Oeste de los EU. En

Florida se prefiere el vinilo, muy probablemente debido a que en alguna forma puede ofrecer mayor resistencia a los roedores. Un DE común es 6,35 mm (0,25"), con diámetros interiores de 3,6 mm (0,140") para el vinilo y de 4,1 mm (0,16") para el PE. Para grandes caudales se requieren microtubos de diámetros mayores.

Las ecuaciones que se describen a continuación definen la pérdida por fricción para los dos componentes: tubo y acoplamiento.

Para solo el microtubo: (suministrada por Bowsmith, Inc., de Exeter, CA).

$$H_f = K \frac{Q^{1,75}}{D^{4,77}}$$

donde: K = 4,82 para el Sistema Internacional ($4,37 \times 10^{-7}$ para el Sistema Inglés)

Q = Caudal, LPH (GPH)

D = DI del tubo, mm (pulgadas)

H_f = Pérdida por fricción, kPa por metro de longitud (psi por pie)

Para pérdidas en los acoplamientos: (suministrada por Bowsmith, Inc., de Exeter, CA).

$$H_f = K \frac{Q^2}{D^4}$$

donde: K = 0,119 en el Sistema Internacional ($5,92 \times 10^{-7}$ en el Sistema Inglés)

Q = Caudal, LPH (GPH)

D = Diámetro interior del acoplamiento, mm (pulgadas)

H_f = Pérdida por fricción, kPa (psi)

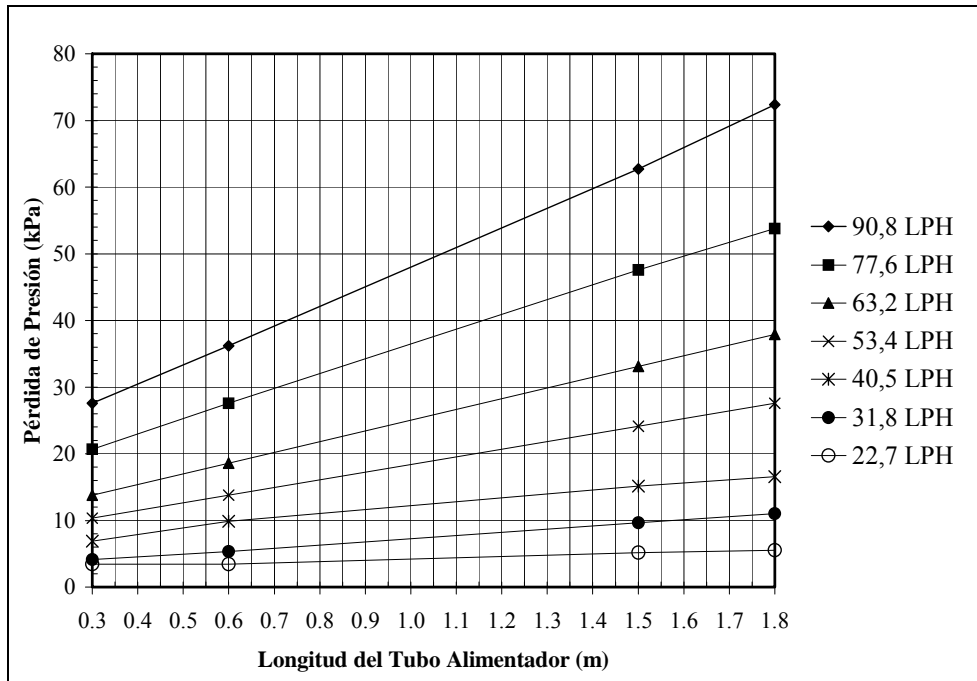


Figura 18. Pérdida de presión combinada vs. longitud del tubo – 3.56 mm (0,140”) de D.I., vinilo, 138 kPa (20 psi) en la base de la cabeza. (Información suministrada por Bowsmith, Inc., de Exeter, California).

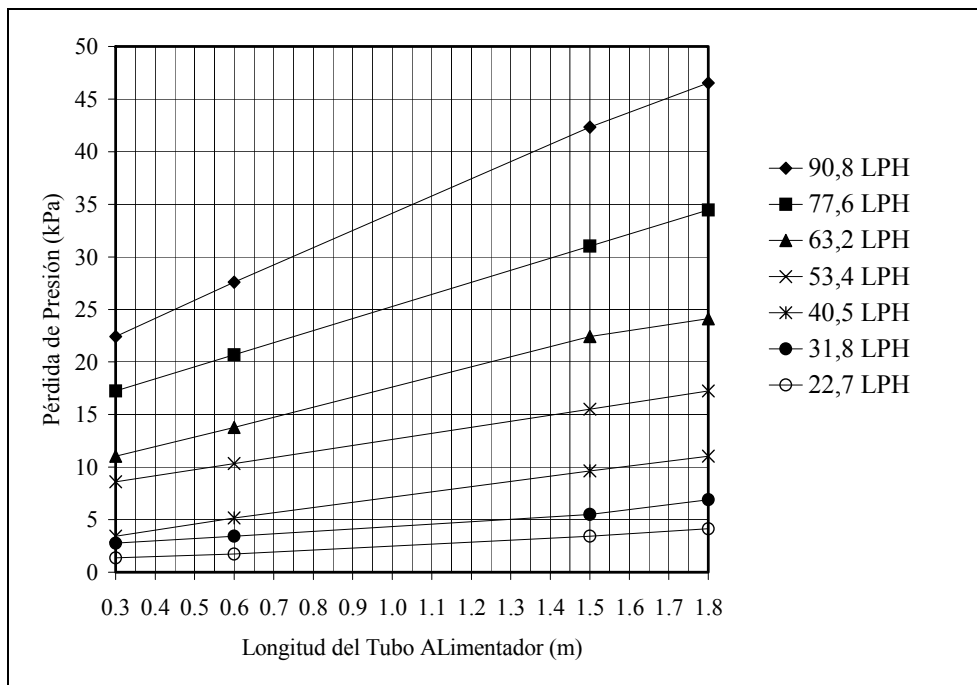


Figura 19. Pérdida de presión combinada vs. longitud del tubo – 4.06 mm (0,160”) de D.I., polietileno, 138 kPa (20 psi) en la base de la cabeza. (Información suministrada por Bowsmith, Inc., de Exeter, California).

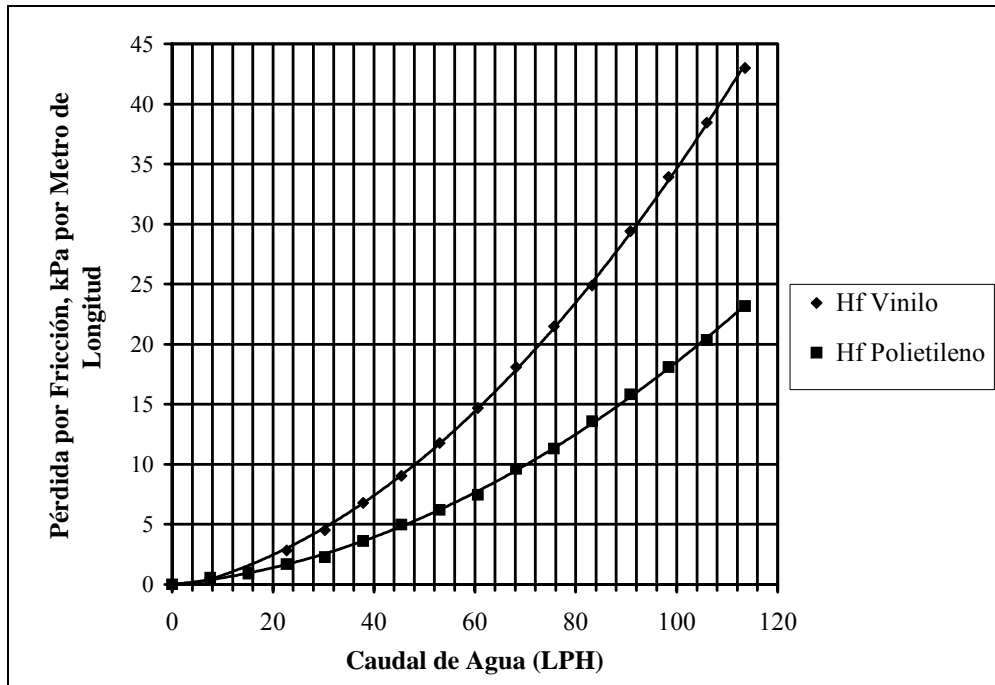


Figura 20. Pérdida de energía por fricción vs. caudal – 3,55 mm (0,140”) de D.E. en vinilo y 4,06 mm (0,160”) de D.I. en polietileno. (Información suministrada or Bowsmith, Inc., de Exeter, California).

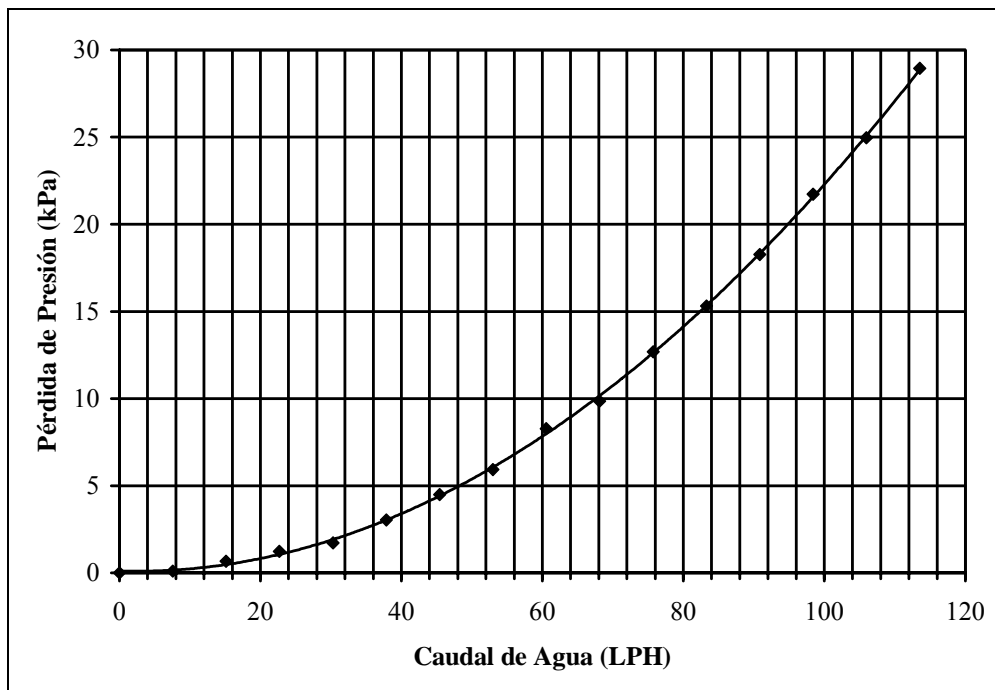


Figura 21. Caudal vs. pérdida de presión (fricción) – 4,45 mm (0,175”) de acoplamiento de barbilla. (Información suministrada or Bowsmith, Inc., de Exeter, California).

Cálculos de Presión de Entrada a la Manguera Lateral

La presión de entrada requerida en las mangueras laterales fue estimada tradicionalmente con cálculos manuales y utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{P \text{ de Entrada} \cong (P \text{ en emisor con } Q \text{ prom.}) + 0,75 H_f \pm 0,5 (\text{Cambio en Elev.}) + \text{Pérdidas Menores}}$$

donde: \pm significa que se debe usar + si sube y - si baja.

Se recomienda enfáticamente a los diseñadores utilizar un programa de computadora para hidráulica de mangueras, con el fin de determinar la presión de entrada requerida en una manguera, en lugar de usar la ecuación simplificada arriba descrita. En muchos casos, en especial en aquellos con mangueras muy largas o en terrenos con pendiente pronunciada, los valores obtenidos para P de entrada pueden resultar erróneos.

Las pérdidas menores incluyen cualquier pérdida a la entrada a la manguera, tales como las que ocurren a través del dispositivo de malla para lavado de las mangueras, o a través de uniones, más las pérdidas que ocurren en el microtubo y en el acoplamiento para microrociadores. Muchos programas de computadora no incluyen estas pérdidas en el diseño de laterales, por lo cual deben adicionarse manualmente a la “presión de entrada” suministrada por tales programas de computadora.

Localización del Tubo Múltiple en Terrenos con Pendiente

En la Figura 17 se ilustró que para mangueras de iguales longitud y caudal promedio del emisor, habrá diferencias en las presiones de entrada requeridas. Para un múltiple que abastezca de agua mangueras en dos direcciones, la posición del múltiple debe seleccionarse en algún punto de equilibrio arriba del centro del área servida. Hay dos criterios para seleccionar dicha posición:

1. El caudal promedio por emisor debe ser igual tanto en las mangueras con pendiente ascendente como en aquellas con pendiente descendente.
2. La presión de entrada debe ser la misma para ambas mangueras.

Cuando los cálculos se hacen en forma manual generalmente se usa la ecuación de presión de entrada con iteraciones, probando diferentes longitudes de manguera pendiente arriba y pendiente abajo, hasta que se obtenga el punto de equilibrio.

La mayoría de los diseñadores usan un pequeño programa de computadora para la hidráulica de las mangueras, con el cual automáticamente se encuentra el punto de equilibrio para la localización del múltiple. El ITRC de Cal Poly distribuye un programa de tal naturaleza. El siguiente es un ejemplo de los valores de entrada y salida del programa de computadora para localización de múltiples desarrollado por el ITRC:

- Longitud total de la manguera lateral (incluyendo las porciones pendiente arriba y pendiente abajo) abastecida de agua desde el múltiple: 183 m (*600 pies*)
- Pendiente sobre la cual se tiende la manguera: 2%
- DI de la manguera: 15,9 mm (*0,625"*)
- Caudal nominal del emisor: 3,78 LPH (*1 GPH*)
- Presión a caudal nominal = 103,4 kPa (*15 psi*)
- Caudal por emisor promedio deseado: 3,78 LPH
- Separación entre emisores: 1,22 m (*4'*)
- Temperatura del agua: 26,7° C (*80° F*)
- Exponente de descarga del emisor: 0,55
- Barbilla estándar
- 1,5% extra de longitud de manguera por “serpenteo” debido a cambios de temperatura.
- cv: 0,03
- 2 emisores por planta

Los resultados al correr el programa de ITRC son:

Porción de longitud óptima de manguera con

con pendiente ascendente = 34,7 m (*114'*)

Longitud de manguera con pendiente descendente = 148 m (*486'*)

Nuevo $Ud_{ci} = 0,95$, incluyendo toda la longitud de la manguera.

Keller y Bliesner (1990) propusieron un segundo método para localización de múltiples. Ellos desarrollaron un método numérico simple para estimar la localización, basado en el cambio de elevación total y en la pérdida por fricción que hubiera ocurrido si se hubiera utilizado solo una manguera para la longitud completa. El método proporciona buenas respuestas y se presenta aquí porque es un procedimiento manual simple y puede ayudar a los lectores en la conceptualización de cómo localizar apropiadamente un múltiple. La Tabla 12 muestra los valores que deben ser usados en su método. Un programa de computadora pequeño y bien desarrollado es más veloz y puede además tener en cuenta el exponente de descarga específico de un emisor. La principal ventaja no obstante, es que un programa de computadora pequeño puede también calcular la UD combinada de la longitud total de manguera.

Tabla 12. Valores a utilizar en la estimación de la localización óptima del múltiple en un terreno con pendiente. Las mangueras laterales van pendiente arriba y pendiente abajo desde el múltiple. Keller y Bliesner (1990).

| Cambio en Elev. "H _f Total" | Z |
|---|------|
| 0,00 | 0,50 |
| 0,10 | 0,56 |
| 0,20 | 0,60 |
| 0,30 | 0,65 |
| 0,40 | 0,69 |
| 0,50 | 0,72 |
| 0,60 | 0,75 |
| 0,70 | 0,78 |
| 0,80 | 0,81 |
| 0,90 | 0,83 |
| 1,00 | 0,85 |
| 1,10 | 0,87 |
| 1,20 | 0,89 |
| 1,30 | 0,91 |
| 1,40 | 0,92 |
| 1,50 | 0,93 |
| 1,60 | 0,94 |
| 1,70 | 0,95 |
| 1,80 | 0,96 |
| 1,90 | 0,97 |
| 2,00 | 0,98 |
| 2,10 | 0,98 |
| 2,20 | 0,99 |
| 2,30 | 0,99 |
| 2,40 | 1,00 |
| 2,70 | 1,00 |

El uso del procedimiento de Keller-Bliesner puede ser ilustrado como sigue:

Asuma las siguientes condiciones, las cuales son las mismas que las utilizadas en el ejemplo anterior para solución con el programa de computadora:

- Un múltiple va a través de las mangueras laterales, las cuales tienen **pendiente de 2%**.
- La longitud total de las mangueras (incluyendo las dos porciones, pendiente arriba y pendiente abajo) abastecidas de agua desde el múltiple = **183 m** (600')

- El DI de las mangueras es = 15,9 mm (0,625")
- El caudal promedio por emisor = 3,78 LPH (1 GPH)
- Separación entre emisores = 1,22 m (4')
- Se desea localizar el múltiple arriba del centro del área servida, de manera tal que los promedios de caudal de las dos porciones de manguera lateral, pendiente arriba y pendiente abajo, sean iguales.

La solución es como sigue:

- Paso 1. Determine la "H_f Total" (fricción total), la cual ocurriría si hubiera solamente una manguera de 183 m (600') de longitud, abastecida desde un extremo. Utilice la Figura 11 para encontrar manualmente este valor.

$$\text{LPH/m} = 3,78 \text{ LPH} / 1,22 \text{ m} = 3,1$$

Use la curva "d" de la Figura 11 para encontrar la "H_f Total".

$$\text{"H}_f \text{ Total"} = 40,7 \text{ kPa (5,9 psi)}$$

- Paso 2. Calcule el cambio de elevación total a lo largo de la manguera.

$$\text{Cambio de elev. total} = (\% \text{ pendiente} / 100) \times \text{Longitud total}$$

$$= 0,02 \times 183 \text{ m}$$

$$= 3,66 \text{ m}$$

$$= 3,66 \text{ m} \times (9,806 \text{ kPa/m})$$

$$= 35,9 \text{ kPa (5,2 psi)}$$

- Paso 3. Calcule

$$(\text{Cambio en elev.}) / (\text{"H}_f \text{ Total"}) = 35,9 \text{ kPa} / 40,7 \text{ kPa}$$

$$= 0,88$$

- Paso 4. La localización óptima del múltiple se calcula como la Distancia Óptima pendiente arriba desde el extremo más bajo.

$$= Z \times \text{longitud total}$$

$$= 0,83 \times 183$$

$$= 151,9 \text{ m } (498')$$

Longitud de manguera pendiente abajo = 151,9 m (498')

Longitud de manguera pendiente arriba = 31 m (102')

Para fines prácticos, estos valores son similares a los valores obtenidos anteriormente por medio del programa de computadora **ITRC Manifold Placement**.

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.)