

CALCULO DE TIEMPO DE LAVADO DE TUBERIAS DE RIEGO.

Marvin Villalobos Araya.
Escuela de ingeniería Agrícola.
Instituto Tecnológico de Costa Rica.
mvillalobos@itcr.ac.cr
Tel:25-50-22-71
25-50-23-03

RESUMEN

Se dedujo una metodología para el cálculo de la velocidad del agua en tuberías con salidas múltiples. Este cálculo es utilizado para poder determinar el tiempo de recorrido del agua en tuberías múltiples y laterales.

Se llega a una expresión donde se facilita el cálculo para este tipo de tuberías.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar una expresión que facilite los cálculos para determinar el tiempo de recorrido del agua en tuberías con salidas múltiples.

CALCULO DE TIEMPO DE LIMPIEZA DE TUBERIAS DE RIEGO.

Cuando se aplica soluciones nutritivas a través de los sistemas de riego se pueden presentar problemas es éstos, debido al mal uso o falta de mantenimiento. Es muy común que cuando se fertirriega, no se tome en cuenta el lavado de las tuberías, una vez que se termina de aplicar las dosis de fertilizante. Las soluciones nutritivas son sales, y como tal si estas permanecen en los sistemas de riego se vuelven sólidas, lo cual afecta principalmente los emisores, ya que se atascan. El agua se evapora pero las sales quedan, obstruyendo los sistemas de riego.

Con el fin de evitar obstrucciones es de gran importancia el conocer el tiempo que tarda el agua en desplazarse desde la fuente donde se prepara la mezcla, hasta los puntos de emisión. Siempre se debe de dejar un tiempo adecuado después de aplicar un agroquímico con el agua de riego, para que las tuberías y emisores se

laven y evitar el riesgo de obstrucción. Ese tiempo denominado como de lavado se debe estimar como mínimo en diez minutos para el emisor que está más alejado.

La manera de poder determinar el tiempo de recorrido del agua es mediante la velocidad del agua y el recorrido que esta hace. Se sabe que una velocidad está dada por la relación de distancia sobre tiempo.

$$V = d / t \dots\dots\dots(1)$$

Por otra parte, la velocidad también se calcula como la relación del caudal sobre el área hidráulica de la tubería.

$$V = Q / A \dots\dots\dots(2)$$

El área hidráulica de la tubería es:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots\dots\dots(3)$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2) se obtiene:

$$\frac{d}{t} = \frac{Q}{A}, \text{ introduciendo el área } A \text{ de la ecuación (3)} \Rightarrow \frac{d}{t} = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \text{ si se despeja el}$$

tiempo se obtiene una expresión para calcular el tiempo de recorrido del agua.

$$t = \frac{d \times \pi \times D^2}{4 \times Q} \dots\dots\dots(4)$$

En la ecuación (4), para que las unidades sean consistentes, deben estar en:

d = distancia de recorrido del agua en m.

D = diámetro interno de la tubería en m.

Q = caudal que transporta la tubería en m³/h.

t = tiempo de recorrido en h.

La otra forma de calcular el tiempo de recorrido del agua es despejando de la ecuación (1); es decir:

$$t = \frac{d}{v} \dots\dots\dots(5)$$

Como en un diseño de riego se tienen diferentes diámetros de tubería, se debe de calcular el tiempo para cada tramo de tubería que posee un mismo diámetro y con el caudal que está circulando por dicho tramo. Como es lógico se debe de conocer la longitud (d) de cada tramo. El tiempo total será la sumatoria de cada uno de los tiempos parciales.

En un lateral, el caudal va disminuyendo a medida que el agua avanza al final de este, por lo que si el caudal es variable, también lo será la velocidad. Para determinar la velocidad promedio se puede dividir el lateral en diferentes tramos y calcular el caudal que pasa por ese tramo, calcular las velocidades para cada tramo y obtener un promedio. Entre más se divida el lateral más preciso será el cálculo de la velocidad media, pero este proceso resulta tedioso y será más preciso entre más divisiones se realice del lateral. A medida que el agua se aleja de la cabecera del lateral la velocidad va disminuyendo, ya que el diámetro es constante y el caudal disminuye, luego el tiempo de recorrido será más lento.

La velocidad en una tubería sin salida se calcula, según continuidad con la ecuación 2.

$$V = Q / A$$

La Figura 1, muestra lo que ocurre en un lateral con goteros, donde en cada gotero sale el caudal de descarga del mismo.

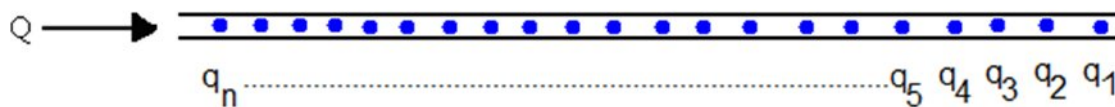


Figura 1. Lateral con goteros.

En la Figura 1, si se quiere calcular la velocidad en cada uno de los tramos, se tendría que dividir el caudal del tramo entre el área del lateral.

En el lateral la diferencia de caudal que se da entre un gotero y otro es muy pequeña, por lo que se puede decir que $q_1 = q_2 = q_3 \dots = q_n$.

En el primer tramo la velocidad será:

$$V_1 = q / A$$

En el segundo tramo:

$$V_2 = 2q / A$$

En el tercer tramo:

$$V_3 = 3q / A$$

En términos generales $V_n = nq / A$

Si se quiere calcular la velocidad media en todo el lateral se tendría:

$$\bar{V} = \frac{V1+V2+V3+.....Vn}{n}.....(6)$$

Sustituyendo cada velocidad en función del caudal se tiene:

$$\bar{V} = \left[\frac{q}{A} + \frac{2q}{A} + \frac{3q}{A} + \frac{nq}{A} \right] \times \frac{1}{n}.....(7)$$

Sacando a factor común q, A

$$\bar{V} = \frac{q}{A} \times \left[\frac{1+2+3+...n}{n} \right].....(8)$$

El caudal total del lateral esta dado por: $Q = n \times q$ por lo que $q = Q / n$, sustituyendo q en la ecuación (7), se tiene:

$$\bar{V} = \frac{Q}{A \times n} \left[\frac{1+2+3+...n}{n} \right] \Rightarrow \bar{V} = \frac{Q}{A} \left[\frac{1+2+3+...n}{n^2} \right].....(9)$$

Si se compara la ecuación (9), con la (2); se puede ver que la diferencia es el término $\left[\frac{1+2+3+...n}{n^2} \right]$; si a éste término se le denomina como factor M, se tiene

$$\text{que } M = \left[\frac{1+2+3+...n}{n^2} \right].....(10)$$

Es decir la velocidad media en un lateral con goteros se puede calcular como la relación entre el caudal total del lateral entre el área de la tubería, multiplicada por un factor M.

Como se puede ver en la ecuación (10), el factor M, depende del número de salidas.

En el factor M, el término $1 + 2 + 3 + 4 +n$, es conocido como la serie de Gaus. El desarrollo de esta serie conduce a la expresión (11), para calcular el valor de la sumatoria. Si se llama como X el valor de la sumatoria, su cálculo sería.

$$X = \frac{1}{2} \times (n^2 + n).....(11)$$

El Factor M, podrá entonces escribirse como:

$$M = \frac{\frac{1}{2} \times (n^2 + n)}{n^2} = \frac{\frac{1}{2} \times n^2}{n^2} + \frac{\frac{1}{2} \times n}{n^2} \Rightarrow M = \frac{1}{2} + \frac{1}{2n}.....(12)$$

La expresión (12), nos da el factor M, que se debe usar para cualquier número de goteros que tenga el lateral. Nótese que esta expresión tiende a ser igual a 0,5. A medida de que se tenga más número de goteros más se acercará al valor de 0,5. En resumen el cálculo de la velocidad media en una tubería con goteros será:

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2n} \right] \dots\dots\dots (13)$$

Donde: $\bar{V}$ es la velocidad media en la tubería en m/h.

Q es el caudal total que circula en el lateral m³/h.

A es el área hidráulica de la tubería m².

n es el número de emisores de la tubería.

La expresión (13), facilita el cálculo de la velocidad media de agua en tuberías con salidas múltiples, y por lo tanto el cálculo del tiempo de recorrido del agua, ya que como se mencionó el tiempo se calcula mediante la expresión (5).

Ejemplo.

En la Figura 2, se tiene un sistema de riego por goteo, donde se riegan dos secciones simultáneamente. Los laterales tienen goteros de un caudal nominal de 1,6 L/h y están espaciados cada 0,4 m. Cada sección consta de 24 laterales. Los diámetros de tubería de distribución es de 30,36 mm y las distancias y demás diámetros se muestran en la Figura 2.

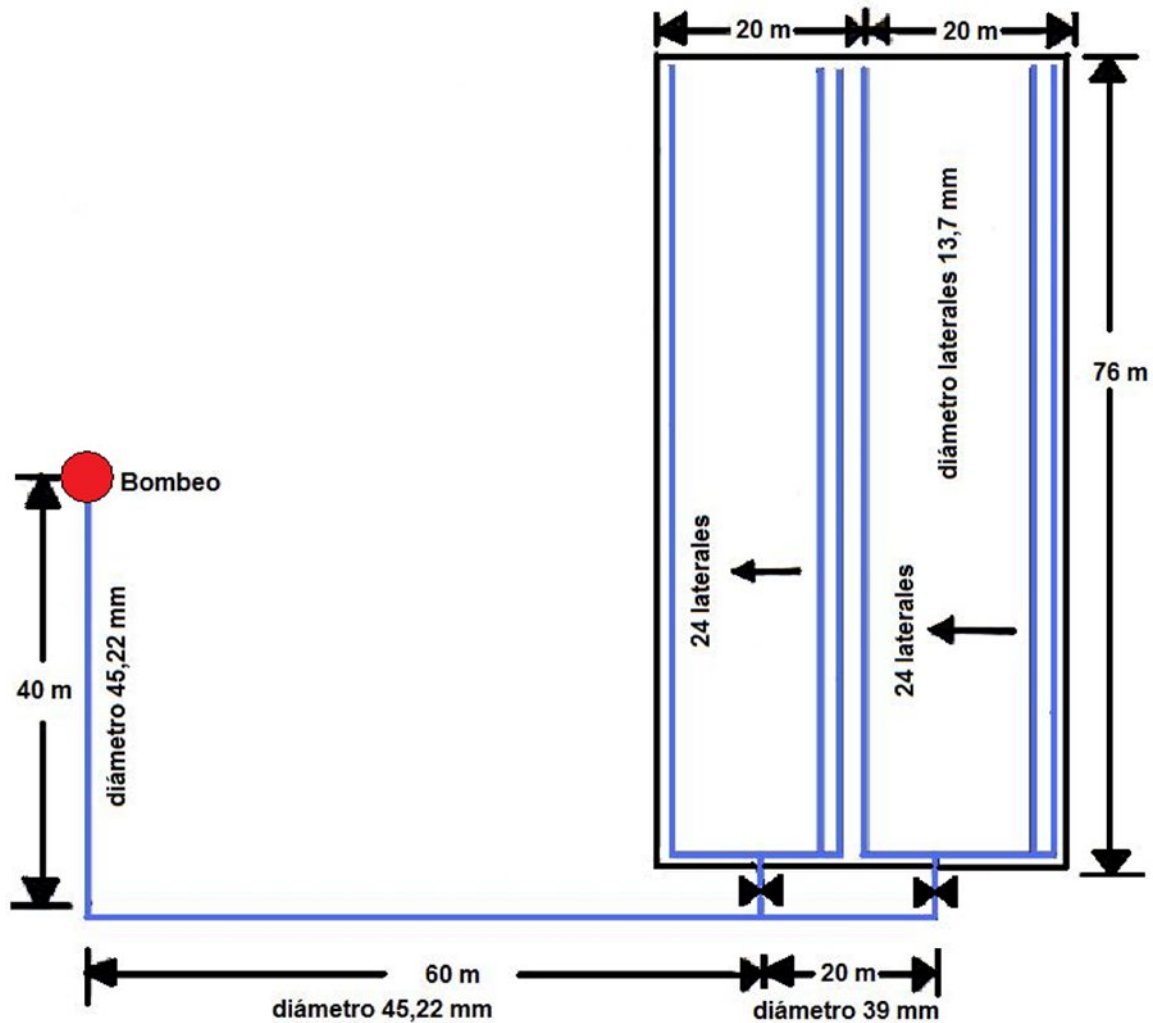


Figura 2. Sistema de riego por goteo.

Solución:

- Caudal del lateral: El lateral tiene una longitud de 76 m y el espaciamiento entre goteros es de 0,4 m, es decir hay 190 goteros en el lateral. Cada gotero descarga 1,6 L/h, por lo que el caudal del lateral es de $304 \text{ L/h} = 0,304 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Caudal de la múltiple: La múltiple tiene 24 laterales, pero la válvula está en la mitad, por lo que el caudal de un lado de la múltiple es de 12 por 304 L/h. Caudal de mitad de la múltiple $3,648 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Caudal del tramo de 20 m: El caudal de este tramo es 2 veces el de la mitad de la múltiple, es decir $2 \times 3,648 = 7,296 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Caudal de tubería principal: El caudal de la tubería principal es el de las dos válvulas o sea $2 \times 7,296 = 14,592 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Cálculo de las áreas de las tuberías: El área de cada tubería se calcula con la ecuación (3), con el diámetro en m.
- Área lateral $A = \frac{\pi \times 0,0137^2}{4} = 1,474 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Área múltiple $A = \frac{\pi \times 0,03036^2}{4} = 7,239 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Área tubería 10 m $A = \frac{\pi \times 0,039^2}{4} = 1,1945 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- Área tubería principal $A = \frac{\pi \times 0,04522^2}{4} = 1,606 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- Cálculo de velocidades en las tuberías: Para calcular cada velocidad, se utiliza la ecuación (13).
- Velocidad en el lateral:
- $\bar{V} = \frac{0,3048}{1,474 \times 10^{-4}} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \times 190} \right] = 1039,36 \text{ m/h}$
- Velocidad en la tubería de distribución: Con ecuación (13):
- $\bar{V} = \frac{3,648}{7,239 \times 10^{-4}} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \times 12} \right] = 2729,65 \text{ m/h}$
- Velocidad en el tramo de 20 m: En este tramo circula un caudal de $7,296 \text{ m}^3/\text{h}$, luego dividiendo el caudal de ese tramo entre el área del tramo $V_{20 \text{ m}} = 7,296 / 1,1945 \times 10^{-3} = 6107,99 \text{ m/h}$.
- Velocidad en la tubería principal: Se obtiene dividiendo el caudal total sobre el área de la tubería $14,592 / 1,606 \times 10^{-3} = 9085,92 \text{ m/h}$.
- Cálculo del tiempo de transporte del agua en cada tramo: Se obtiene al dividir la longitud de cada tubería entre la velocidad de cada tramo, ecuación (5).
- Usando la ecuación (5). Tiempo lateral = $76 / 1039,36 = 0,07312 \text{ h} = 4,387 \text{ min}$
- Tiempo de distribución con ecuación (5) = $10 / 2729,65 = 3,66 \times 10^{-3} \text{ h} = 0,219 \text{ minutos}$.

- Tiempo en tramo de 20 metros = $20 / 6107,99 = 3,27 \times 10^{-3} \text{ h} = 0,196$ minutos.
- Tiempo en tubería principal = $100 / 9085,92 = 0,011 \text{ h} = 0,66$ minutos.
- Cálculo del tiempo total de transporte: Se obtiene por la suma de los tiempos parciales de cada tramo.
- Tiempo total = $4,387 + 0,219 + 0,196 + 0,66 = 5,462$ minutos

A este tiempo de recorrido total del agua, se le debe de agregar como mínimo 10 minutos, con el fin de garantizar un buen lavado del sistema.

Bibliografía.

Villalobos, M. 2008. Fertirriego. Escuela de Educación Técnica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 112 p.