

DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO

INTRODUCCION

El recurso agua se esta volviendo cada vez mas limitado para su uso en el riego de cultivos, motivo por el cual se hace necesario aplicarlo de manera eficiente, con el fin de disminuir al máximo las pérdidas por escurrimiento y percolación.

Una manera moderna de regar es la utilización de los métodos de riego por goteo y micro aspersión, también conocido como riego localizado, que consiste en la aplicación del agua al suelo en forma localizada, es decir, sólo se moja una zona restringida del volumen radicular. Estos métodos son apropiados para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control del agua aplicada y algunos otros beneficios agronómicos.

El riego localizado supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto, a una mayor productividad. Implica un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola.

Sus principales características son:

- a) El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional en el que predominan las fuerzas de gravedad y por tanto, el movimiento es más vertical.
- b) No se moja todo el suelo, sino únicamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.
- c) El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.
- d) Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo, puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.
- e) Utiliza pequeños caudales a baja presión.
- f) Se opera con la frecuencia necesaria para lograr un alto contenido de humedad en el suelo (riego de alta frecuencia).

Definición

Se considera como riego por goteo a la aplicación del agua al suelo, en una zona más o menos restringida del volumen radicular. La característica principal de estos sistemas es que el caudal aplicado no es superior a 20 lph, por punto de emisión (gotero) o bien por metro lineal (cinta de riego).

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- a) Ahorro de mano de obra
- b) Se riega en cualquier tipo de topografía y espesores pequeños de suelo.
- c) Se mantiene un adecuado control de la aplicación y la distribución del agua en el suelo.
- d) Se puede aplicar agua con un alto contenido de sales.
- e) No existe interferencia a causa de los vientos.
- f) Se eliminan completamente los canales y regaderas aumentando la superficie útil.
- g) Se obtienen algunos beneficios agronómicos adicionales como:
 - Se facilita el control de las malezas en el terreno (debido a que no se moja toda el terreno).
 - Aumento en la producción y calidad de los frutos (debido al bajo esfuerzo de humedad del suelo).
 - Riego continuo del cultivo sin problemas de asfixia radicular.
 - Fertilización a través del agua de riego, aumentando la eficiencia, la localización y la dosis de los fertilizantes (fertirrigación)
 - Se pueden aplicar otros agroquímicos incrementando la eficiencia de aplicación (quimigación).
 - Permite realizar otras labores culturales, ya que la maquinaria y los trabajadores pueden transitar libremente por el terreno (no esta todo mojado).
 - Evita la lixiviación de los nutrientes del suelo.
 - Se reduce el control sanitario notablemente.

Desventajas

- a) El costo inicial es elevado (depende del tamaño del diseño).
- b) Taponamiento de emisores (debido a que el área de salida es muy pequeña).
- c) Riesgo de ensalitramiento, en caso de utilizar agua con alto contenido de sales sin realizar lavados periódicamente.
- d) Se requiere capacitación de los usuarios en el manejo del equipo instalado.
- e) No es recomendable para cultivos de cobertura total.

Partes integrantes

Los componentes principales de un sistema de riego por goteo son: cabezal, tuberías de distribución (principal, secundaria, terciaria y lateral), emisores y accesorios.

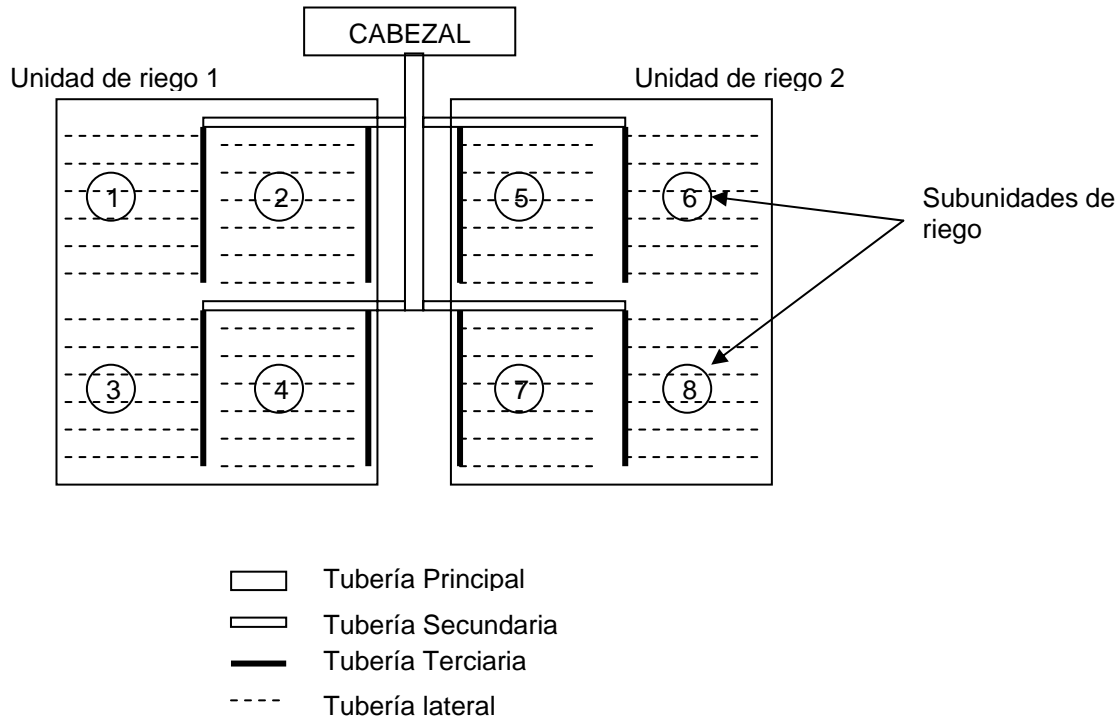
a) Cabezal

El cabezal es el conjunto de instrumentos y accesorios que dominan toda la superficie puesta bajo riego, incluye la estación de bombeo, los dispositivos para medir el agua, equipo de fertilización y aplicación de agroquímicos, equipo de filtrado, diferentes válvulas de control y manómetros.

b) Tuberías de distribución

- Tubería principal: es la que transporta el agua desde el cabezal hasta la unidades de riego.
- Tubería secundaria: es aquella que dentro de una unidad de riego abastece a las distintas subunidades.

- Tubería terciaria es aquella dentro de una subunidad de riego que alimenta a las tuberías laterales.
- Tubería lateral es la tubería que lleva conectada los emisores (goteros) o bien, también es la cinta de riego.



c) Emisores

En el riego por goteo los emisores pueden ser goteros individuales o bien cinta de riego (manguera de goteo).

Los goteros son emisores con caudales no superiores a los 20 lph, en los cuales se produce una disipación de la energía cinética del agua, de tal forma que al salir prácticamente lo hace con velocidad cero.

Las cintas de riego o mangueras de goteo son conducciones provistas de perforaciones poco espaciadas (generalmente a menos de 0.5 m) o con pared porosa. El caudal que descargan no es superior a los 20 lph por metro lineal de cinta o manguera. Debido a su bajo costo, se emplea en cultivos que se siembran en hileras con una alta densidad de plantas que requeriría un número elevado de goteros.

Un aspecto importante que se debe conocer es la relación entre el caudal y la presión de operación de un gotero con el fin de controlar la operación del mismo. Esta relación se ajusta a la siguiente ecuación:

$$q = k h^n$$

q es el caudal del gotero (lph)

h es la presión hidráulica a la entrada del gotero (m)
 k es un coeficiente que se obtiene mediante regresión
 n es el exponente de descarga y se obtiene mediante regresión.

d) Accesorios o dispositivos de control

Es el conjunto de elementos que permiten regular el funcionamiento de una instalación de riego y contribuye, por tanto, a obtener la mayor eficiencia de la misma. Comprende tanto los aparatos que se tienen en el cabezal para control, como el equipo de campo para conocer la humedad del suelo, el momento y el requerimiento de riego, válvulas reguladoras de presión, válvulas de control de flujo y caudal, etc.

Válvulas reguladoras de caudal: Constan de una membrana elástica con un orificio central que se contrae o distiende de acuerdo con la presión que actúa, para dejar pasar un caudal constante dentro de un rango de presiones de entrada. Se fabrican en diámetros nominales que varían desde $\frac{1}{4}$ de pulgada hasta 1 pulg para una gama de caudales desde pocos lph (litros por hora) hasta 6 m³/h. Deben ser resistentes a los productos químicos que se inyectan en el agua de riego y no verse afectados por pequeñas partículas en suspensión, a lo que ayuda la flexibilidad de los elastómeros.

Válvulas reguladoras de presión: Son aparatos de cuerpo cilíndrico, metálico o de plástico, en cuyo interior se desplaza un pistón que queda retenido por un muelle. El agua atraviesa la válvula siguiendo un recorrido sinuoso. Cuando la presión de ésta aumenta, vence la resistencia del muelle y se produce el desplazamiento del pistón, que a su vez disminuye el tamaño del orificio de entrada de la válvula. Una cara del pistón esta sometida a la presión aguas arriba y la otra a la presión aguas abajo. Al elevarse la presión aguas abajo, el pistón se mueve actuando sobre un obturador que estrangula el paso del agua. Este aparato mantiene la presión de salida aproximadamente constante, dentro de un rango de presiones de entrada.

Manómetros: Instrumentos para medir la presión existente en algunos puntos de la red de distribución o bien en los diferentes elementos que componen el cabezal. Lo que permite el correcto funcionamiento de las instalaciones o detección de posibles fallas.

Medidores de caudal: Son instrumentos para medir el caudal o gasto que circula por la tubería. Hay medidores que además de indicar en su caratula el caudal que pasa, van acumulando el volumen, lo cual permite un control directo de la aplicación del riego. La parte principal de este medidor, es una hélice que se coloca en el centro de la vena líquida y gira más o menos fuerte dependiendo de la velocidad del agua que circula por la tubería.

Válvulas de control de flujo: Las más utilizadas son las válvulas de compuerta o mariposa, estos dispositivos permiten estrangular o interrumpir la corriente del flujo o reducir la presión de alguna parte o del total de la red de distribución.

Válvulas de retención (no retorno): Consiste de una compuerta giratoria que se abre con el movimiento del líquido y cierra por gravedad o por efecto del mismo líquido, impidiendo el retroceso del mismo. Esta válvula es imprescindible en el

cabezal para proteger a la bomba del golpe del ariete. En ocasiones este efecto es tan grande que se hace necesario emplear otras formas de control.

Válvulas de aire: Se les clasifica como “elementos de seguridad”. Sirven para proteger a la tubería de distribución de colapsos que puedan romper a la misma. Dentro de éstas podemos mencionar los purgadores y ventosas que permiten la salida del aire en aquellos puntos especiales de la instalación en que puede acumularse, como codos, partes elevadas de la tubería, filtros, tanques fertilizadores, etc. Las ventosas permiten también la entrada de aire o llenado y vaciado de tuberías o depósitos. Es importante su colocación, pues si no se elimina el aire, se distorsiona la presión y los caudales de funcionamiento del sistema, provocando en algunas ocasiones el rompimiento de alguna tubería o pieza.

Válvulas de seguridad: Permiten la salida del agua de la instalación cuando se producen fuertes presiones. Son de acero o bronce y la salida esta cerrada por un resorte calibrado para una presión máxima de trabajo. Superada esta presión, el resorte se comprime, quedando libre la salida.

Mecanismos de automatización: Sirven para controlar la aplicación del riego, disminuyendo al mínimo el uso de mano de obra. Estos mecanismos pueden estar controlados por diferentes tipos de válvulas, entre las que podemos mencionar:

Válvula volumétrica: consta de un contador de agua y una válvula hidráulica o mecánica (hasta de 1 pulgada) conectados entre sí. La válvula se pone en funcionamiento cuando se gira a mano un dial en el que se marca el volumen del agua deseado. Cuando el contador ha medido esa cantidad y el mando ha vuelto a cero, se transmite una señal a la válvula hidráulica o mecánica, que corta el flujo de agua. La cantidad de agua puede ser rectificado cuando la válvula esta ya en funcionamiento y cerrada manualmente cuando se desee. El funcionamiento de esta válvula no es afectado por fluctuaciones de presión en la tubería.

Válvula eléctrica: consta de un cuerpo metálico o de fibra de vidrio en cuyo interior existe un solenoide que permite la apertura o cierre automáticamente. Se conecta por un cable eléctrico a un programador central con reloj, programando en este los tiempos de funcionamiento de la instalación. El estar el programador conectado a la red eléctrica, en el momento indicado para el riego deja de pasar la corriente y por medio del solenoide se abre la válvula.

Electrotensiómetro: Es una adaptación del tensiómetro que se conecta a un manómetro lleno de mercurio. El tubo capilar del tensiómetro, que es el que registra las tensiones del suelo, esta sumergido en un deposito de mercurio que esta en contacto permanente con un electrodo. Otros dos electrodos son ajustables y están unidos al depósito de mercurio, de forma que haya contacto eléctrico con el mercurio, a dos niveles que se toman como el máximo y el mínimo. Las variaciones en la altura del mercurio ese el único parámetro que se utiliza para transmitir señales al programador, para iniciar o suspender el riego.

Diseño del riego por goteo

Para el diseño de cualquier sistema de riego es importante tener claro que cada diseño es único, cada lote o terreno tiene características particulares y cada diseñador puede tomar criterios diferentes, he aquí el ingenio del ingeniero.

En el diseño de un sistema de riego por goteo se deben contemplar dos aspectos: el diseño agronómico por un lado, y el diseño hidráulico por otro. El primero depende del cultivo, el tipo de siembra o marco de plantación y de la profundidad de mojado, utilizando esta información para determinar el número de emisores por planta o metro cuadrado y la disposición de laterales.

El diseño hidráulico permite determinar los diámetros más apropiados de la red de distribución, definiendo finalmente la selección de la bomba por utilizar.

A continuación se realizará un ejercicio durante el cual iremos analizando y determinando los parámetros de diseño.

Ejercicio:

Realizar el diseño de un sistema de riego por goteo para tomate considerando los siguientes datos:

Superficie = 8 ha

Textura del suelo = Media

Evapotranspiración diaria máxima requerida = 5 mm

Pendiente del terreno

$S_{N-S} = -0.1 \%$ (descendente)

$S_{E-W} = -0.05\%$ (descendente)

Caudal disponible = 20 lps

DISEÑO AGRONOMICO

Se selecciona un gotero de los existentes en el mercado y se buscan sus datos hidráulicos.

Datos del gotero

$q = 4$ lph

$h = 9.97$ m

$f_e = 0.10$ m

$$q = 1.267 h^{-0.5}$$

q = caudal en lph

h = presión nominal en m

$CV = 3\%$ (coeficiente de variación en la construcción del gotero)

$CU = 94\%$ (coeficiente de uniformidad deseado o de diseño, en una subunidad de riego)

El valor de CU se maneja como constante para todos los diseños, pues es un valor deseado. El valor de CV debe proveerlo el fabricante o vendedor del gotero, en caso de no contar con este dato, tomar el valor de 3%.

Datos del cultivo

Cultivo: Tomate

Separación entre surcos = 1.2 m

Profundidad de raíces = 40 cm

Dosis de riego en el periodo pico = 5 mm/día = 5 l/m²/día

Intervalo de riego = 1 a 3 días

1.- Se debe determinar el porcentaje de suelo humedecido o mojado, de acuerdo con el caudal del gotero, la textura del suelo, la separación de laterales y la separación de emisores (goteros).

El porcentaje de suelo mojado o humedecido (P) se define como el área mojada en relación con el área total de cultivo. Estos porcentajes son recomendados de acuerdo a la precipitación del lugar. Tentativamente se aconseja para cultivos ampliamente espaciados, porcentajes superiores al 20% en zonas de alta precipitación y suelos de textura media o arcillosa, donde los riegos se aplican durante los periodos de sequía, que generalmente son cortos. Para zonas de baja precipitación se recomienda un P mayor del 33%.

Un aspecto que debe tenerse presente con fines de diseño, es que cuanto mayor sea el volumen de suelo mojado, menor será la posibilidad de que se produzca un imprevisto estrés hídrico, cuando se amplía el intervalo entre riegos por una avería en la instalación, ya que se aumenta la posibilidad de utilizar la reserva de agua del suelo.

Uno de los parámetros que se deben determinar es el volumen de suelo mojado, esta estimación se puede obtener de manera directa utilizando pruebas de campo con los goteros que se usaran y en las condiciones de suelo y clima del lugar del proyecto. Sin embargo, generalmente no se cuenta con este tipo de pruebas, por lo que es necesario el uso de tablas como la siguiente:

Porcentaje de suelo humedecido en relación con el caudal del gotero, textura y separación entre laterales

Separación efectiva entre laterales (SI) (m)	Caudal de goteros														
	Menos de 1.5 lph			2 lph			4 lph			8 lph			Mayor de 12 lph		
	Espaciamiento recomendado entre goteros a lo largo de la lateral para textura de suelo: Gruesa (G), Media (M) y Fina (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	1.3	1.7	1.3	1.6	2.0	
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1.0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100

1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2.0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3.0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4.0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5.0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6.0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

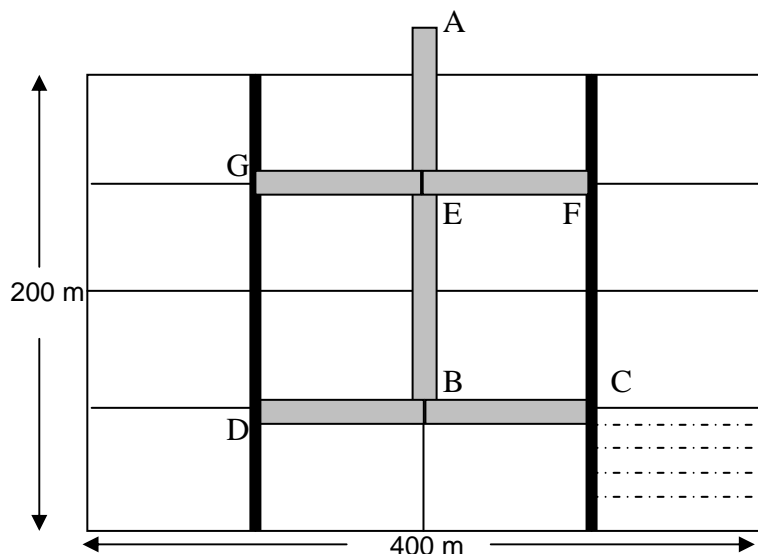
Para el ejercicio, considerando que el gotero seleccionado tiene un gasto de 4 lph y que el suelo es de textura media, se entra a la tabla de porcentaje de suelo humedecido. Otro dato de entrada es la separación de laterales (SI), este dato es muy importante ya que depende también del marco de plantación del cultivo de que se trate. En nuestro ejemplo, SI es igual a 1.2 m, lo que nos dará un porcentaje de suelo mojado de 100. La condición de selección es que P debe ser mayor que 40%. Por lo tanto, se puede seleccionar cualquier separación de laterales arriba 2.5 m, ya que esos garantizan un porcentaje de suelo mojado mayor que 40% de acuerdo con la tabla anterior. Pero, repito, la separación de laterales estará determinada también por el marco de plantación del cultivo de que se trate.

Como resultado del diseño agronómico podemos decir entonces que contamos con:

- Separación de laterales (SI) = 1.2 m
- Separación de goteros (Se) = 1.0 m
- Caudal del gotero (q) = 4 lph
- Dosis por aplicar (Dp) = 5 mm/día o 5 lt/m²/día

DISEÑO HIDRAULICO

Las dimensiones del terreno son:



De acuerdo con la distribución del lote, se selecciona una subunidad de riego para realizar el diseño hidráulico del sistema, se observa que las líneas laterales tienen una longitud de 100 m, mientras que las líneas terciarias tienen una longitud de 50 m. Por lo que sólo queda pendiente definir el diámetro interno de ambas líneas.

1.- Pérdida de carga permisible de la subunidad (PCP)

Para calcular la PCP se utiliza la ecuación:

$$PCP = 2.5 [h - h_{\min}]$$

h es la presión nominal o presión media de operación del gotero.

h_{\min} es la presión mínima de operación y se calcula para el caudal mínimo.

$$h = 9.97 \text{ m}$$

se calcula q_{\min} con la siguiente ecuación:

$$q_{\min} = \frac{CU \ q}{100 \left[1 - \left(\frac{1.27 \ CV}{\sqrt{e}} \right) \right]}$$

94 (4)

$$q_{\min} = \frac{94 \ (4)}{100 \left[1 - \left(\frac{1.27 \ (0.03)}{\sqrt{1}} \right) \right]} = 3.90 \text{ m}$$

se calcula h_{\min} para el caudal mínimo (q_{\min}) utilizando la ecuación del gotero:

$$q = 1.267 \ h^{-0.5}$$

se despeja h

$$h_{\min} = \left[\frac{q_{\min}}{1.267} \right]^{\frac{1}{0.5}}$$

$$h_{\min} = \left[\frac{3.90}{1.267} \right]^{\frac{1}{0.5}} = 9.47 \text{ m}$$

Se calcula la pérdida de carga permisible para la subunidad

$$PCP = 2.5 [9.97 - 9.47] = 1.25 \text{ m}$$

La PCP de la subunidad se repartirá de manera diferente, de tal manera que se le asignará a la tarciaria la mayor parte (65%) debido a que maneja un caudal mayor, quedándole a la tubería lateral el 35%, los valores son:

$$\Delta h_l = 0.35 * PCP = 0.35 (1.25) = 0.44 \text{ m}$$

$$\Delta h_T = 0.65 * PCP = 0.65 (1.25) = 0.81 \text{ m}$$

Diseño de tubería lateral.

Se propone un diámetro interior (D_i) y se calcula la Δh , aceptandose aquel D_i cuya Δh sea menor o igual que Δh_l .

Datos:

$$q = 4 \text{ lph}$$

$$h = 9.97 \text{ m}$$

$$Se = 1 \text{ m}$$

$$D_i = ?$$

$$hl = ?$$

$$\Delta h = ?$$

$$l = 100 \text{ m}$$

$$fe = 0.1 \text{ m}$$

$$S = 0.05\%$$

Se propone un $D_i = 20.4 \text{ mm}$

$$n = L/Se = 100/1 = 100 \text{ emisores por lateral}$$

$$ql = Ne (q) = 100 (4) = 400 \text{ lph} = 0.111 \text{ lps}$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \frac{ql^{1.75}}{D_i^{4.75}}$$

$$J = 7.89 \times 10^7 \frac{(0.111)^{1.75}}{(20.4)^{4.75}} = 1.01 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$J' = J \left[\frac{Se + fe}{Se} \right]$$

$$J' = 1.01 \left[\frac{1 + 0.1}{1} \right] = 1.11 \text{ m/100 m}$$

F = 0.369 (Cuadro de coeficientes de Christiansen para salidas múltiples)

$$h_f = J * F * l / 100$$

$$h_f = (1.11) * (0.369) * (100/100) = 0.410 \text{ m}$$

$$h_l = h + \frac{3}{4} h_f + \frac{1}{2} \Delta E l$$

$$\Delta E l = s l / 100$$

$\Delta E l$ = diferencia de cota entre extremos de la tubería (m)

s = pendiente (%)

l = longitud del lateral

$$h_l = 9.97 + \frac{3}{4} (0.410) + \frac{1}{2} (0.05)(100/100) = 10.3 \text{ m}$$

$$h_n = h_l - (h_f + \Delta E l)$$

$$h_n = 10.3 - (0.410 + 0.05) = 9.84 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_l - h_n$$

$$\Delta h = 10.3 - 9.84 = 0.46 \text{ m}$$

Como $\Delta h = 0.46$ es aproximadamente igual a $\Delta h_l = 0.44$ m se acepta el $D_i = 20.4$ mm para la tubería lateral.

Diseño de la tubería terciaria o distribuidor.

Se propone un diámetro interno (D_i) y entonces se aceptará aquel en el cual Δh sea menor o igual que Δh_T

Datos:

$$q_l = 400 \text{ lph}$$

$$h_l = 10.3 \text{ m}$$

$$S_l = 1.2 \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$f_e = 0.1 \text{ m}$$

$$S = 0.1\%$$

$$\Delta h = ?$$

$$H_T = ?$$

$$D_i = ?$$

Se propone un diámetro de $D_i = 55$ mm

$$N = L / S_l = 50 / 1.2 = 41.6 \approx 42 \text{ salidas}$$

$$q_T = N * q_l = 42 * 400 = 16800 \text{ lph} = 4.66 \text{ lps}$$

$$J = 7.89 \times 10^{-7} \frac{(4.66)^{1.75}}{(55)^{4.75}} = 6.31 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$J' = 6.31 \left[\frac{1.2 + 0.1}{1.2} \right] = 6.8 \text{ m}/100 \text{ m}$$

F = 0.376 Coeficiente de Christiansen (Tabla)

$$hf = (6.8) * (0.376) * (50/100) = 1.28 \text{ m}$$

$$h_T = 10.3 + \frac{3}{4} (1.28) + \frac{1}{2} (0.1)(50/100) = 11.3 \text{ m}$$

$$h_n = 11.3 - (1.28 - 0.05) = 10.1 \text{ m}$$

$$\Delta h = 11.3 - 10.1 = 1.2 \text{ m}$$

Considerando que Δh es un poco mayor que Δh_T , se acepta el diámetro de la tubería terciaria, ya que el siguiente diámetro quedaría muy sobrado lo que encarecería el sistema.

Límites de utilización del proyecto

En este punto se define el tiempo de riego (t_a) y las unidades operacionales, las cuales permitirían diseñar las tuberías secundaria, principal y el cabezal. Los cálculos son los siguientes:

Tiempo de riego o aplicación (t_a)

$$t_a = \frac{Dp}{e * q}$$

$$t_a = \frac{5}{1 * 4} = 1.25 \text{ horas / día}$$

Tiempo disponible para riego (t_d)

Es un dato que se consulta con el agricultor o se propone

$$t_d = 5 \text{ horas}$$

Se determina el número de Unidades operacionales (N)

$$N = t_d / t_a = 5 / 1.25 = 4 \text{ unidades operacionales}$$

Se calcula el Caudal ajustado del gotero

En este caso no es necesario ya que no hubo cambio de tiempo de aplicación (t_a) y las unidades operacionales quedaron prácticamente exactas.

Se calcula el caudal del sistema

$$Q_s = 10 \frac{A}{N} \frac{e}{S_p} \frac{q}{S_r}$$

Q_s = es el caudal del sistema (m^3/h)

A = superficie total a regar (ha)

S_p = separación entre plantas en una misma hilera (m)

S_r = separación entre hileras de plantas (m)

$$Q_s = 10 \frac{8}{4} \frac{1}{(1.2)} \frac{(4)}{(1)} = 66.7 \text{ m}^3/h = 18.5 \text{ lps}$$

El caudal disponible es de 20 lps por lo tanto no se hace ningún ajuste al caudal del sistema.

Diseño de tubería secundaria

Es importante recordar que la longitud de la tubería es un dato que el diseñador determina cuando hace la distribución de las unidades y subunidades de riego. De acuerdo con el diagrama anterior donde se muestra la distribución de unidades y subunidades de riego, los tramos de tubería secundaria son BC, BD, EF y EG. Dado que la distribución es simétrica, es decir, cada tramo de tubería secundaria regara la misma superficie, entonces se considera un solo tramo para calcular el diámetro y para los otros se considerara el mismo diámetro calculado. De acuerdo con lo anterior, la longitud de los tramos de tubería secundaria es de 100 m.

La topografía es 0.05% para los tramos del lado oriente es en contra y para los tramos del lado poniente es a favor. Tomando en cuenta que la pendiente es un valor muy pequeño, su efecto (en este caso) no es significativo, por lo que no se tomará en cuenta en los cálculos, sin embargo, en los casos que la pendiente sea mayor debe ser considerada de acuerdo al criterio del proyectista.

Existen varios métodos para determinar el diámetro de la tubería secundaria, entre otros destacan:

- 1) Método de la velocidad permisible: consiste en considerar un valor límite para la velocidad del agua en las tuberías, este valor límite fluctúa entre 1.5 y 3 m/s, siendo el valor más usual el de 2.13 m/s. El diámetro se obtiene de la ecuación de gasto o caudal (Q) y área (A). La ecuación para calcular el diámetro es:

$$D = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi v}} \text{ donde;}$$

D es el diámetro (m)

Q es el caudal o gasto (m³/s)

v es la velocidad permisible (se considera 2.13 m/s)

- 2) Método de la carga unitaria: consiste en seleccionar los diámetros de las tuberías, de manera que las pérdidas por fricción no excedan a 1 m/43.35 m de tubería.
- 3) Método del porcentaje: consiste en seleccionar la tubería, de tal manera que las pérdidas de carga no sobrepasen del 10 al 20% de la presión a la entrada de la línea terciaria.

De acuerdo con los métodos anteriores se calcula el diámetro de la tubería secundaria para el ejercicio (con los tres métodos para hacer la comparación).

a) Método de la velocidad permisible

Si el tramo de tubería secundaria suministrará agua a dos tramos de tubería terciaria, se considera el gasto para dos tramos de tubería terciaria.

$$q_T = 16800 \text{ lph multiplicado por dos } Q = 16800 \times 2 = 33600 \text{ lph} = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 (0.00933)}{(3.1416) (2.13)}} = 0.0747 \text{ m} = 74.7 \text{ mm} \approx 3 \text{ pulg}$$

b) Método de la carga unitaria (Pérdida de carga menor o igual a 1 m/43.35 m de tubería)

- Se propone un diámetro (Di) de 79.8 mm

Se calcula la pérdida de carga unitaria (J) para el diámetro propuesto.

$$Q = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s} = 9.33 \text{ lps}$$

$$J = 7.89 \times 10^{-7} \frac{(9.33)^{1.75}}{(79.8)^{4.75}} = 3.63 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Si la pérdida de carga anterior es para 100 m, se calcula la pérdida de carga que sería para 43.35 m, aplicando una regla de tres.

$$H_{fs} = 1.57 \text{ m}/43.35 \text{ m de tubería secundaria}$$

La pérdida de carga es mayor que la condición fijada por el método.

- Se propone un diámetro (Di) de 83 mm

Se calcula la pérdida de carga unitaria (J) para el diámetro propuesto.

$$Q = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s} = 9.33 \text{ lps}$$

$$J = 7.89 \times 10^{-7} \frac{(9.33)^{1.75}}{(83)^{4.75}} = 3.01 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Si la pérdida de carga anterior es para 100 m, se calcula la pérdida de carga que sería para 43.35 m, aplicando una regla de tres.

$$\begin{array}{l} 100.00 \quad - \quad 3.01 \\ 43.35 \quad - \quad H_{fs} = ? \quad (43.35 \times 3.01)/100 = 1.31 \end{array}$$

$$H_{fs} = 1.31 \text{ m}/43.35 \text{ m de tubería secundaria}$$

La pérdida de carga es mayor que la condición fijada por el método.

- Se propone un diámetro (Di) de 97.6 mm

Se calcula la pérdida de carga unitaria (J) para el diámetro propuesto.

$$Q = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s} = 9.33 \text{ lps}$$

$$J = 7.89 \times 10^{-7} \frac{(9.33)^{1.75}}{(97.6)^{4.75}} = 1.40 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Si la pérdida de carga anterior es para 100 m, se calcula la pérdida de carga que sería para 43.35 m, aplicando una regla de tres.

$$H_{fs} = 0.60 \text{ m}/43.35 \text{ m de tubería secundaria}$$

La pérdida de carga es menor que la condición fijada por el método.

Conclusión a criterio del proyectista decide quedarse con la tubería de 83 o 97.6 mm. Puede considerar que para 83 mm la pérdida de carga (Hf) es ligeramente mayor que condición fijada por el método, sin embargo, para 97.6 mm la pérdida de carga es menor, por lo que la tubería quedaría sobrada y la tubería es mas cara, se haría un análisis de costo para ver que es mas conveniente; otro criterio sería considerar que todavía falta considerar las pérdidas de carga que generan los accesorios que se conectan a la tubería secundaria. Por ahora, se acepta el diámetro de 97.6 mm.

Diámetro para tubería secundaria = 97.6 mm Hfs = 1.4 m/ 100 m

C) Método del porcentaje: se aceptan diámetros con pérdidas de carga (J) menores al 20% de la presión a la entrada de la terciaria.

$$h_T = 11.3 \text{ m} \quad \text{el } 20\% \text{ sería } 2.26 \text{ m}$$

El diámetro de 97.6 mm cumple con la condición requerida aunque queda sobrado; el diámetro de 83 mm se pasa en un 1 m la pérdida de carga respecto a la condición; sin embargo debemos considerar que existen ciertos accesorios que se deben conectar a la tubería secundaria y que también generan una pérdida de carga, por tanto se aceptará el diámetro de 97.6 mm..

Cálculo del diámetro de tubería principal

Los métodos para calcular el diámetro de la tubería principal son los mismos que los utilizados para determinar el diámetro de la tubería secundaria.

De acuerdo con el esquema de distribución de unidades y subunidades de riego, la tubería principal dentro del terreno tiene una longitud de 150 m, si le agregamos unos 50 m considerando que el cabezal se encuentra fuera del terreno. Tendríamos una longitud considerada de 200 m, distribuida en dos tramos, uno primero AE de 100 m y otro EB de 100 m también.

Tramo	Caudal (lps)	Longitud (m)	Diámetro Interno (mm)	J m / 100 m (m)	Long eq. pérdida en accesorios (m)	Hf (m)	Hf / 43.35 m	Condición
AE	18.667	100	84.6	9.26	8	10.00	4.01	No se acepta
AE	18.667	100	103.6	3.54	10	3.89	1.53	No se acepta
AE	18.667	100	117.6	1.94	12	2.17	0.84	se acepta
EB	9.333	100	84.6	2.75	8	2.97	1.19	se acepta
EB	9.333	100	103.6	1.05	10	1.16	0.46	No se acepta
EB	9.333	100	117.6	0.58	12	0.64	0.25	No se acepta

Diámetro de la tubería principal (tramo AE) = 117.6 mm

Diámetro de la tubería principal (tramo EB) = 84.6 mm

Cálculo de la capacidad de la bomba

Para seleccionar una bomba centrífuga se requieren dos datos importantes, el caudal que se va a manejar (Q_s) y la carga que se debe vencer (H_B).

$$Q_s = 18.5 \text{ lps}$$

Para calcular la H_B se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_B = H_T + \sum H_{fs} + \sum H_{fp} + \sum H_{floc} \pm \Delta E l$$

H_T = carga requerida en la entrada de la tubería terciaria (m)

$\sum H_{fs}$ = suma de las pérdidas por fricción de todos los tramos de tubería secundaria (m)

$\sum H_{fp}$ = suma de las pérdidas por fricción de todos los tramos de tubería principal (m)

ΣH_{floc} = suma de las pérdidas localizadas, tanto en la tubería secundaria y principal, así como en el cabezal.

$\Delta EI = S \cdot L / 100$ = diferencia de cotas entre los extremos de la tubería (m)

Del cálculo de la tubería terciaria $H_T = 11.3$ m

Del diseño de la tubería secundaria, considerando que H_f es la pérdida de carga para un tramo, y trabajarán dos tramos de tubería secundaria al mismo tiempo, se calcula la $\Sigma H_{fs} = H_f \cdot 2 = (1.4 \text{ m}) \cdot (2) = 2.8$ m.

Del diseño de la tubería principal, se obtiene que las pérdidas por fricción en los dos tramos de tubería es de $\Sigma H_{fp} = 5.14$ m.

Para calcular el valor de ΣH_{floc} se deben sumar las pérdidas por fricción de cada una de las pérdidas localizadas. Para diseño y de acuerdo con la experiencia del proyectista se proporciona un valor. Para este caso proporcionamos un valor de 26 m.

Para el valor de ΔEI y considerando que la pendiente es de 0.1% descendente, se obtiene un valor de $(-0.1 \cdot 200/100) = -0.2$ m

$$H_B = 11.3 + 2.8 + 5.14 + 26 - 0.2 = 45.04 \text{ m}$$

Se recomienda aumentar de un 10-20% en la potencia de la bomba, lo cual repercute en un aumento en la potencia del motor, con el fin de compensar la disminución, que en la bomba, motor y goteros, se aprecia con el tiempo de uso frecuente. Además esta potencia extra se utiliza cuando requiere el lavado de la red de distribución.

Se le incrementará un 15% a la H_B calculada anteriormente.

$$H_B = (45.04) \cdot 1.15 = 51.8 \text{ m} \approx 52 \text{ m}$$

La potencia de la bomba se calcula con la ecuación:

$$HP_B = \frac{Q \cdot H_B}{76 \cdot E_b} \quad \text{donde;}$$

HP_B = potencia requerida por la bomba en caballos de fuerza (HP)

Q = caudal de la bomba (lps)

H_B = carga que debe vencer la bomba (m)

E_b = eficiencia de la bomba (decimal)

$$HP_B = \frac{(18.5) (52)}{76 (0.85)} = 14.89 \approx 15 \text{ HP}$$

La potencia del motor se calcula con la ecuación:

$$HP_m = \frac{Q H_B}{76 E_b E_m} = \frac{HP_B}{E_m} \quad E_m \text{ es la eficiencia del motor.}$$

$$HP_m = \frac{15}{0.9} = 16.67 \approx 17 \quad HP$$