

DIRECCION GENERAL

I.I.C.A.



IICA

Centro Latinoamericano de Documentación
y Bibliotecología
17 de 1984
IICA-CIDI



**III SEMINARIO LATINOAMERICANO
SOBRE RIEGO POR GOTEO**

**Campinas, São Paulo, Brasil
8-12 de octubre de 1979**

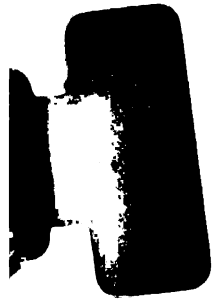


**RIEGO
POR GOTEO**

Ing. Enrique Blair

San José , Costa Rica Setiembre de 1979

24.3



BIBLIOTECA
DIRECCION GENERAL
I. I. C. A.



1
IICA - CORDIA

**III SEMINARIO LATINOAMERICANO
SOBRE RIEGO POR GOTEO**

**Campinas, São Paulo, Brasil
8-12 de octubre de 1979**

**RIEGO
POR GOTEO**

Ing. Enrique Blair

San José , Costa Rica Setiembre de 1979

00007504

PRESENTACION

Este folleto contiene el material didáctico que se incluirá como Capítulo 7 del texto que se espera publicar próximamente con el título de "Manual de Riegos". El libro será una versión revisada de todo el material de enseñanza que el autor ha preparado, durante varios años, para su labor docente.

Aunque se trata de una parte de un texto más amplio, el tema ha sido desarrollado con un alto grado de autosuficiencia, habiéndose considerado todas las secciones necesarias para una adecuada comprensión de la estructura de los sistemas de Riego por Goteo, sus componentes y su diseño. Se discuten sus principios, se describen su estructura y sus elementos constitutivos, se explican los diferentes factores de diseño y se ilustra, con un ejemplo, los procedimientos para el diseño de un sistema de Riego por Goteo.

Para la preparación de este capítulo, se ha consultado y aprovechado en forma amplia, la bibliografía más reciente y más autorizada sobre la materia. Al final del documento se incluye esa bibliografía, que en buena parte se ha originado en Israel y en los Estados Unidos de América, países éstos, en donde se han logrado los más significativos avances en la materia.

La entrega anticipada de este capítulo, se hace como una contribución al desarrollo del Tercer Seminario Latinoamericano de Riego por Goteo, que organiza el IICA. También porque el autor desea aprovechar esta ocasión, para solicitar a los participantes de dicho evento, y en general a todos los especialistas que lean el documento, el favor de sus comentarios, sugerencias u observaciones, para el mejoramiento de su contenido.

Enrique Blair
17 de setiembre de 1979

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is essential for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent and reliable data collection processes to support informed decision-making.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in modern data management. It discusses how advanced software solutions can streamline data collection, storage, and analysis, leading to more efficient and accurate results.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to mitigate these risks and ensure that data is used responsibly and ethically.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It stresses the importance of ongoing monitoring and evaluation to ensure that data management practices remain effective and up-to-date.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
7.1 Introducción	1
7.2 Componentes del Sistema	1
7.3 Fuente de Agua	2
7.4 Unidad de Bombeo	2
7.5 Cabezal de Abastecimiento y Regulación	2
7.6 Red de Conducción y Distribución	4
7.7 Goteros o Emisores	6
7.8 Elementos para el Diseño	8
7.9 Diseño Hidráulico	12
7.10 Ejemplo	16
REFERENCIAS	22-23

1941

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

1949

1950

RIEGO POR GOTEO

7.1 Introducción. El riego por goteo es una técnica nueva para la aplicación del agua de riego, que está difundándose de manera acelerada en todo el mundo y que está experimentando un rápido proceso de perfeccionamiento. La técnica consiste en llevar el agua al campo por medio de tuberías de plástico, de calibre pequeño, que se colocan a lo largo de las hileras de plantas para entregarla en forma lenta, pero frecuente al sistema radicular, por medio de dispositivos apropiados llamados goteros o emisores.

En 1975 se regaban en el mundo unas 160.000 hectáreas de cultivos por medio de este sistema (9). Los Estados Unidos con más de 50.000 hectáreas marchaba a la cabeza en la aplicación de esta nueva tecnología. La seguía Australia con 17.000; Israel con 10.000 y Africa del Sur con 7.000. En América Latina, México que marchaba a la cabeza había puesto bajo riego por goteo hasta ese año, algo más de 5.000 hectáreas.

La instalación del sistema es relativamente costosa. Su aplicación es muy eficiente en el aprovechamiento del agua. Por ello, se está difundiendo más extensamente en cultivos altamente remunerativos y en zonas donde hay limitada disponibilidad de agua. Por sus características peculiares, que se estudiarán más adelante, permite la utilización de aguas con alta concentración de sales, se aplica con éxito en suelos arenosos, y en general, produce más altos rendimientos, más uniformidad y precocidad en las cosechas y mejor calidad de los frutos.

7.2. Componentes del Sistema. Todos los elementos que pueden entrar a formar parte del equipo necesario de un sistema de riego por goteo, son los siguientes: fuente de agua; unidad de bombeo; cabezal de abastecimiento y regulación y la red de tuberías para la conducción, distribución y aplicación del agua, con sus respectivos accesorios.

El cabezal, a su vez, puede estar constituido por los siguientes componentes, de acuerdo con las características del agua, la topografía, el tamaño del sistema y las facilidades de inspección que quieran adoptarse: válvula de retención, inyector de fertilizantes, filtros, medidor de volúmenes, equipo clorinador, manómetros.

La red de conducción y aplicación del agua, por otra parte, está constituida por una tubería principal de conducción, tuberías auxiliares de distribución y tuberías regantes o de aplicación en las que se insertan los emisores o goteros. La red se integra en una unidad por medio de los accesorios necesarios (codos, tees, uniones, etc.). En ocasiones se provee de reguladores de presión y de manómetros en el origen de las líneas auxiliares para facilitar la inspección. En algunos casos, se colocan válvulas de lavado (flushing valves) al final de las tuberías regantes.

Se han diseñado e instalado algunos pocos sistemas pequeños de riego por goteo muy automatizados, cuya operación se regula por medio de válvulas automáticas, accionadas por medio de cronostatos y/o por

tensiómetros, que respondan a la fuerza de retención del agua del suelo.

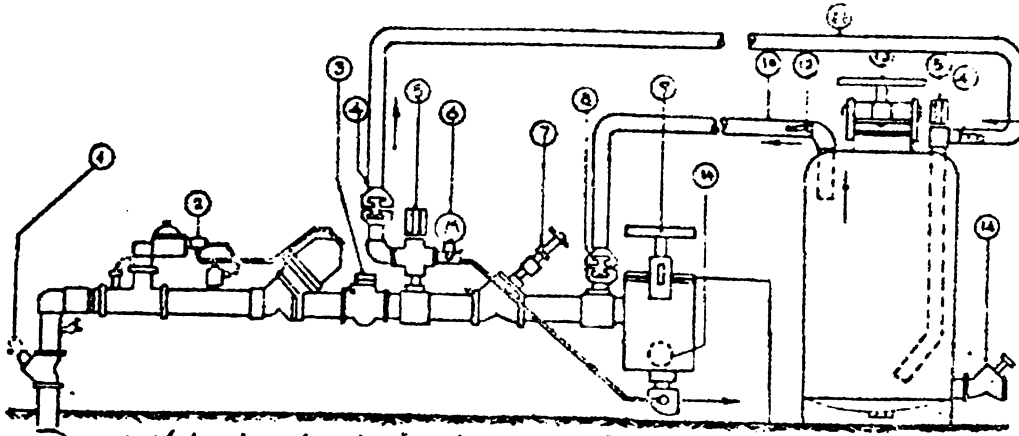
7.3. Fuente de agua. El agua para el riego por goteo puede tener cualquier origen (río, acequia, estanque, pozo excavado o pozo profundo). Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión, que tenga una baja concentración de bacterias y que su concentración de sales esté dentro de los límites de tolerancia aceptables para el riego por goteo. Cuando el agua contiene sólidos en suspensión, resulta necesario eliminarlos por medio de filtros. Cuando la concentración de bacterias puede conducir a la formación de aglomeraciones bacterianas en los emisores y obstruirlos, será necesario la instalación de filtros de arena o equipos de clorinación para reducirlas o eliminarlas.

La concentración de sales solubles en el agua, puede tener dos efectos nocivos en este sistema de riego. Por una parte, debido a la baja presión de trabajo de los goteros o emisores y al diámetro reducido de los orificios o tubos de descarga, pueden producirse obstrucciones cuando por efecto de la evaporación llegan a acumularse partículas sólidas de dichas sales. Este efecto de obstrucción de los emisores, puede producirse también por la aplicación de fertilizantes con el agua de riego. Por otra parte, la alta concentración de sales puede ser nociva para los cultivos. Conviene señalar, sin embargo, que debido al alto nivel de humedad que se mantiene en el suelo con este sistema de riego, la concentración de sales en el agua puede ser mucho mayor que aquellas aceptadas para otros sistemas de riego. Trabajos realizados por Goldberg y Shmueli (2-3) y Shmueli y Goldberga (8) en Israel, con agua muy salina (3000 micrómetros/cm) y con alto contenido de sodio, clasificada como C7S en el sistema de Wilcox, en cultivos de tomate, pepino, melón, ajo y maíz, muestran resultados de producción sorprendentes y presentan ventajas evidentes del riego por goteo sobre otros sistemas, cuando el agua es de alto contenido salino y sódico.

7.4. Unidad de Bombeo. Estará constituida generalmente por una bomba centrífuga, accionada por un motor eléctrico o de combustión interna. El tamaño de la unidad estará determinado por la carga total necesaria para la conducción y distribución del agua y el gasto total requerido para regar el área beneficiada en el tiempo disponible. En ocasiones excepcionales, es posible disponer de una diferencia de nivel adecuada entre la fuente de agua y los terrenos de riego, para dar la presión necesaria para la conducción y distribución. En tales casos, puede omitirse la unidad de bombeo, con evidentes ventajas económicas.

7.5. Cabezal de Abastecimiento y Regulación. Los elementos que pueden entrar en la composición del cabezal, son: válvula de retención, inyector de fertilizantes, filtro desarenador, filtro de malla, filtro de arena, válvulas de control, medidor de volúmenes, equipo clorinador, manómetros (figs. 7.1 y 7.2). No es preciso que todos estos elementos formen parte del cabezal. En las siguientes secciones, se describirán los principales elementos y se señalará la aplicación de cada uno.

a. Válvula de retención (check valve). En algunas instalaciones se utiliza esta válvula como parte inicial del cabezal y tiene como finalidad evitar, de manera instantánea, el retorno del agua cuando se suspende



- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Valvula al principal | 8. Entrada de fertilizantes |
| 2. Valvula volumetrica | 9. Filtro principal |
| 3. Valvula de refencion | 10. Solucion |
| 4. Agua para fertilizante | 11. Agua |
| 5. Valvula de vacio | 12. Salida solucion fert. |
| 6. Manometro diferencial | 13. Tanque de fertilizante |
| 7. Valvula control prasion | 14. Valvula de lavado |

Fig. 7.1 Cabezal (5)

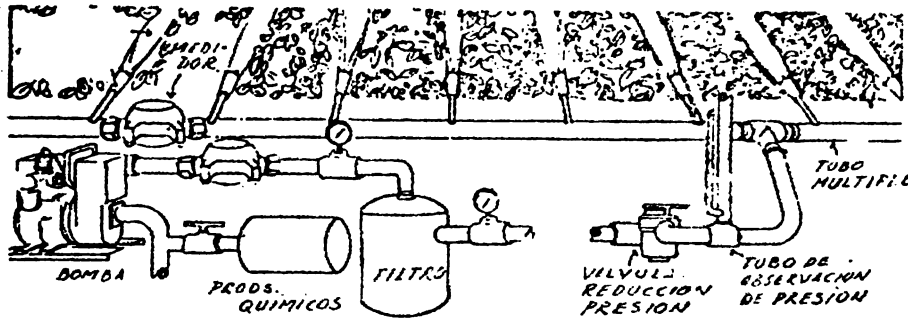
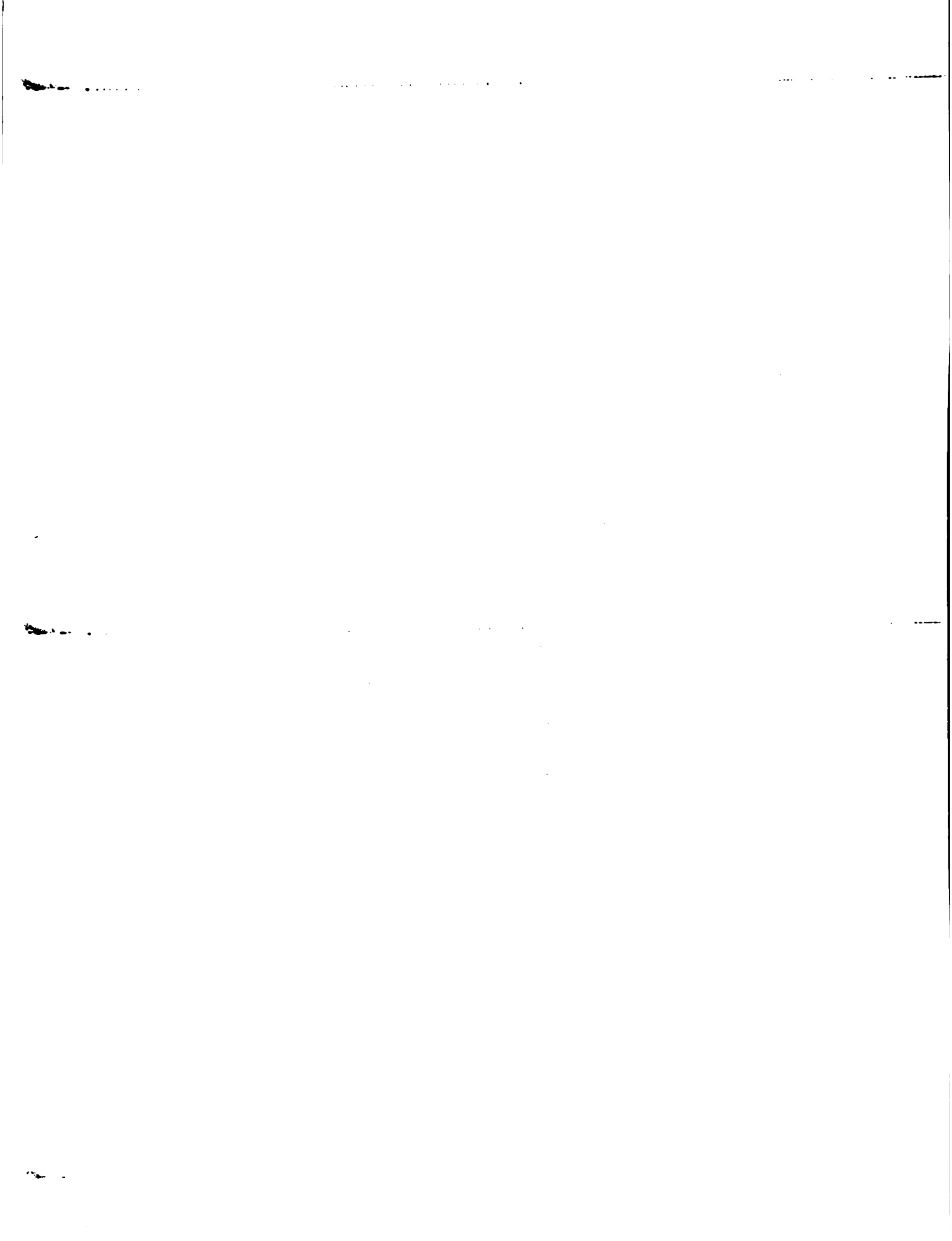


Fig. 7.2 Cabezal (10)



por alguna causa el bombeo. De esta manera, se protege la bomba y se pretende evitar el golpe de ariete.

b. Inyector de fertilizantes. Aunque la aplicación de fertilizantes no es una función forzosa del sistema de riego por goteo, siempre es conveniente instalar en el cabezal el equipo necesario para esa función, porque así se aprovecha la ventaja de aplicar fertilizantes y otros productos químicos (insecticidas, nematicidas, etc.) en forma muy económica y eficaz. Los fertilizantes deben ser solubles en agua. El inyector de fertilizantes o tanque fertilizador debe quedar siempre instalado antes de los filtros para evitar el flujo de partículas sólidas hacia la red de distribución.

Los diferentes dispositivos que pueden encontrarse en el comercio especializado para la aplicación de fertilizantes y otros productos químicos, están constituidos por un tanque fertilizador provisto de algún mecanismo que permita el flujo de la solución hacia el tubo de conducción. El tanque puede conectarse al cabezal por medio de dos mangueras flexibles, como se ilustra en la figura 7.3, o puede dotarse de una bomba especial para inyectar la solución. Se han diseñado también mecanismos de inyección que aprovechan el fenómeno de succión que se crea con los medidores Venturi.

c. Filtros. Casi todos los sistemas de riego por goteo, deben estar provistos con alguna clase de filtro, dependiendo de la clase de sólidos o impurezas del agua. Sólo con aguas cristalinas, carentes de sólidos en suspensión, se pueden omitir los filtros. Los filtros utilizados en el riego por goteo, pueden ser de tres clases: 1. filtro desarenador; 2. filtro de malla, y 3. filtro de arena.

1) Filtro desarenador. Se utiliza cuando el agua contiene una gran proporción de arena con más de 70 micrones de diámetro, o sea partículas más pesadas que el agua que no pasan las 200 mallas. Este filtro funciona por el sistema de vortice. El agua entra en forma tangencial por la parte lateral de un recipiente en forma de embudo. Debido a la fuerza centrífuga que se ejerce sobre las partículas más densas que el agua, dichas partículas resbalan por las paredes del recipiente hacia el depósito que va colocado en la parte inferior del recipiente. El agua filtrada sale por un tubo conectado en el centro a la tapa del recipiente. La figura 7.4 ilustra la construcción y funcionamiento de este tipo de filtros.

2) Filtro de malla. Este es el tipo de filtro que más frecuentemente se usa en los sistemas de riego por goteo. La filtración se produce al hacer pasar el agua por una o dos mallas de densidad adecuada para separar las partículas de tamaño indeseable. En la figura 7.5, se ilustra la construcción de un filtro de este tipo, provisto de dos mallas concéntricas. La tabla 7.1 (7) permite seleccionar la malla adecuada para este tipo de filtros, de acuerdo con el tamaño de las partículas de arena que sea necesario separar. En el comercio especializado, puede encontrarse filtros de malla con dispositivos adecuados para el retrolavado. La figura 7.6, esquematiza un sistema de tubos y válvulas para los fines de retrolavado.

3) Filtro de Arena. Estos filtros deben usarse cuando el agua contiene algas u otras materias orgánicas en suspensión que por su baja densidad no pueden ser separadas por los desarenadores centrífugos y que por su consistencia obstruirían los filtros de malla. El filtrado se produce al hacer pasar el agua a través de varias capas superpuestas de arena de diferente graduación, siendo más fina la capa superior. La figura 7.7, ilustra la construcción de esta clase de filtros. Estos filtros también pueden proveerse con mecanismos de retrolavado.

4) Selección de Filtros. La tabla 7.2, puede usarse como guía para la selección del tipo de filtro más apropiado para una determinada instalación, una vez que se conozcan las características de los materiales sólidos o disueltos que lleve el agua. En algunos casos, puede ser necesario usar una combinación de filtros.

d. Equipo clorinador. Solo en muy pocas instalaciones de riego por goteo, se encuentra incluido un equipo clorinador. La clorinación se aplica para la eliminación de bacterias y otros microorganismos en las instalaciones para abastecimiento de agua potable. Su aplicación en el riego podrá justificarse solamente en condiciones muy especiales.

e. Medidor de agua. La instalación de medidores o contadores de agua es conveniente para un mejor manejo del sistema, para fines de registro y para el control de las operaciones. Son más convenientes aquellos contadores de agujas que indican, en cuadrantes adyacentes, el volumen acumulado y el caudal. Estos contadores (fig. 7.8) pueden instalarse en el cabezal, para registro y control de todo el sistema, o a la entrada de los tubos auxiliares, para los mismos fines, en las diferentes áreas servidas por el sistema.

f. Manómetros. Estos aparatos, que miden la presión del agua, son muy útiles para detectar fallas en el funcionamiento del sistema. Los aumentos de presión en algún punto del cabezal o de la red de distribución, indican alguna obstrucción aguas abajo del punto en cuestión. Esa obstrucción puede ocurrir con más frecuencia en los filtros, en los tanques de fertilización o en los emisores. Por ello, los manómetros se instalan de preferencia al comienzo del cabezal y al comienzo de los laterales.

7.6. Red de Conducción y Distribución. Esta red está básicamente constituida por una tubería principal, provista a veces con tuberías auxiliares, y tuberías laterales de distribución, dotadas con sus respectivos emisores o goteros. Los materiales de los tubos más corrientemente utilizados para el riego por goteo, son el PVC y el polietileno. Los tubos son relativamente rígidos. Debido a que el PVC es susceptible de deformaciones y deterioro por efecto de los agentes meteorológicos, las tuberías de este material se usan principalmente como principales enterrados. Los tubos de polietileno de densidad media, pigmentado con negro de humo, son los más corrientemente utilizados como laterales de distribución. Son menos sensibles al deterioro o la deformación por los agentes externos. Por ello,

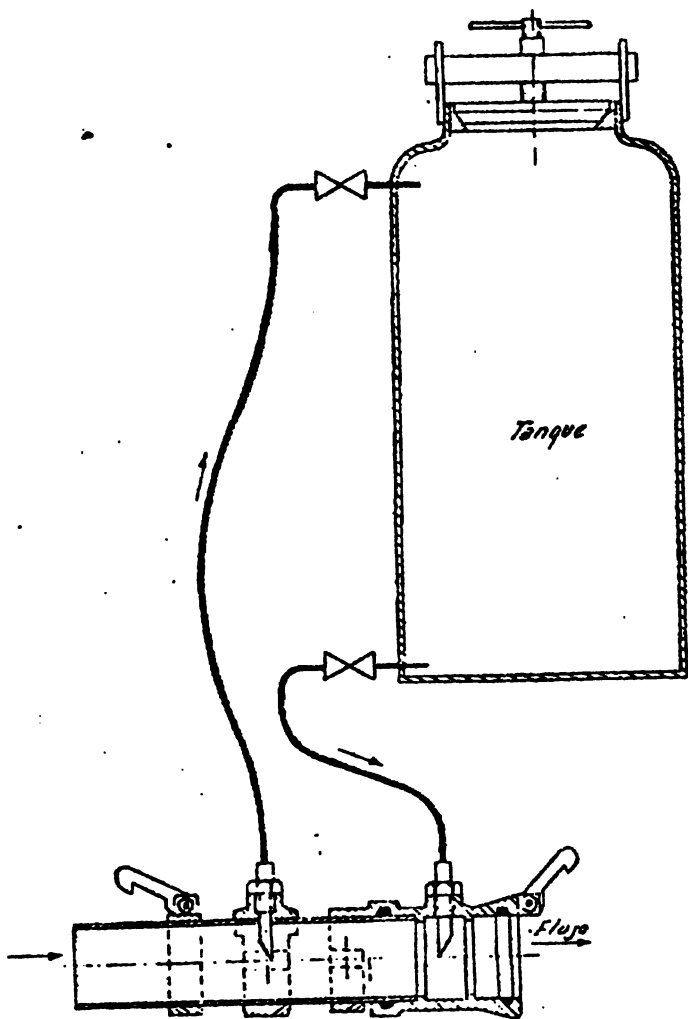


Fig. 7.3 Tanque fertilizante (5)

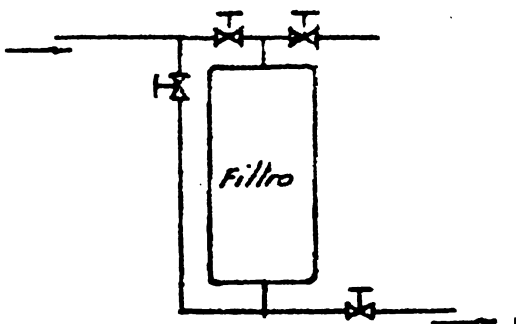


Fig. 7.6 Esquema de retrolavado

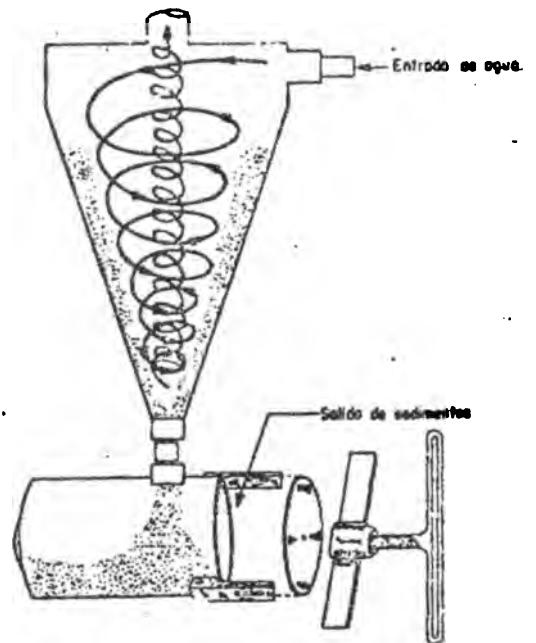


Fig. 7.4 Filtro desarenador (14)

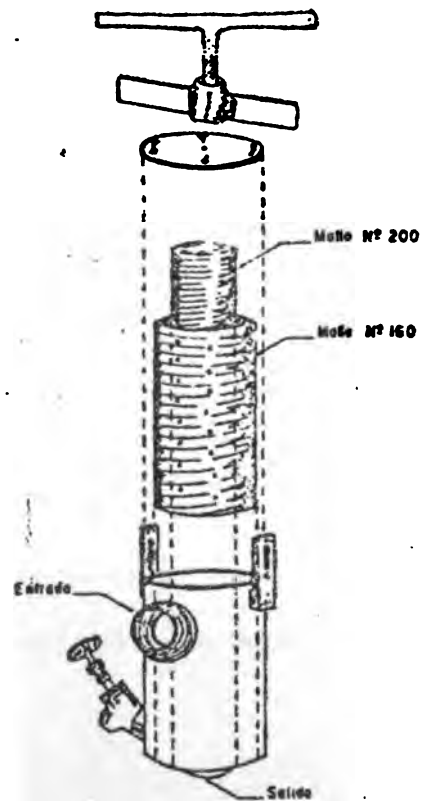


Fig 7.5 Filtro de mallas (14)



TABLA 7.1

Tamaño de las Mallas (9)

Mallas	mm	Micrones $\frac{1}{1000}$ mm	Mil $\frac{1}{1000}$ Pulgada
4	3.5	3.500	150
6	2.5	2.500	100
10	1.5	1.500	60
20	0.8	800	30
30	0.5	500	20
50	0.3	300	12
75	0.2	200	8
120	0.13	130	5
155	0.1	100	4

TABLA 7.2

Selección de Tipo de Filtro (9)

Sólidos en Suspensión	Tamaño de las Partículas	Malla recomendada	Filtro de desarenador	Filtro de Malla	Filtro de Arena	Tratamiento
Arena	0.002-0.080	10-270	X	X	X	
Cieno	0.00008-0.002	270		X	X	Sedimentación
Orgánico (algas, etc.)				X	X	Químico
Minerales				X		Químico

Para una adecuada selección de las mallas, deberá utilizarse la Tabla 7.1

se colocan sobre la superficie del terreno, lo cual facilita su inspección. Los emisores o goteros pueden ser simples orificios, perforados a espacios regulares en los tubos de distribución, o elementos especiales que se insertan -con el espaciado adecuado- a lo largo de los tubos laterales.

7.7. Goteros o Emisores. En la actualidad, se pueden distinguir tres tipos de goteros que se diferencian según el principio utilizado para cumplir la función básica de inducir las pérdidas de carga necesarias para reducir el gasto a los niveles requeridos. Los tres tipos en referencia se describen a continuación:

a. Goteros de trayectoria larga. Las figuras 7.9 y 7.10 a y d, ilustran este tipo de goteros. La pérdida de carga se produce por la fricción del agua contra las paredes del conducto. El gasto (q) en estos emisores estará dado por la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$q = \frac{\bar{n} d^{2.5}}{24.84} \sqrt{\frac{gh}{f \cdot l}}$$

Donde:

- q = gasto, en Litros/hora
- d = diámetro del microtubo, en mm.
- g = aceleración de la gravedad, en $m/seg^2 = 9.8 m/seg^2$
- h = carga a la entrada, en m.
- f = coeficiente de fricción
- l = longitud del microtubo, en m.

Cuando el flujo es laminar ($Re < 2000$), el valor de f es

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{57600 \bar{n} d}{q}$$

Entonces, sustituyendo

$$q = \frac{\bar{n} g h^{3/2}}{3.55 \times 10^7 \times u \cdot l} = \frac{h d^4}{1.15 \times 10^6 \times u \cdot l}$$

Donde:

- Re = Número de Reynolds
- u = Viscosidad cinemática del agua, en m^2/sec .

que es $1.0 \times 10^{-6} m^2/sec$. a $20^\circ C$.

Con estas fórmulas, es posible calcular la longitud (l) requerida para los goteros de trayectoria larga (microtubos) para un determinado gasto (q) con una carga dada.

b. Goteros de orificio. La figura 7.10 b ilustra este tipo de goteros. En ellos la pérdida de carga se produce por estrangulamiento en el orificio de entrada del agua. El gasto estará dado por la siguiente ecuación:

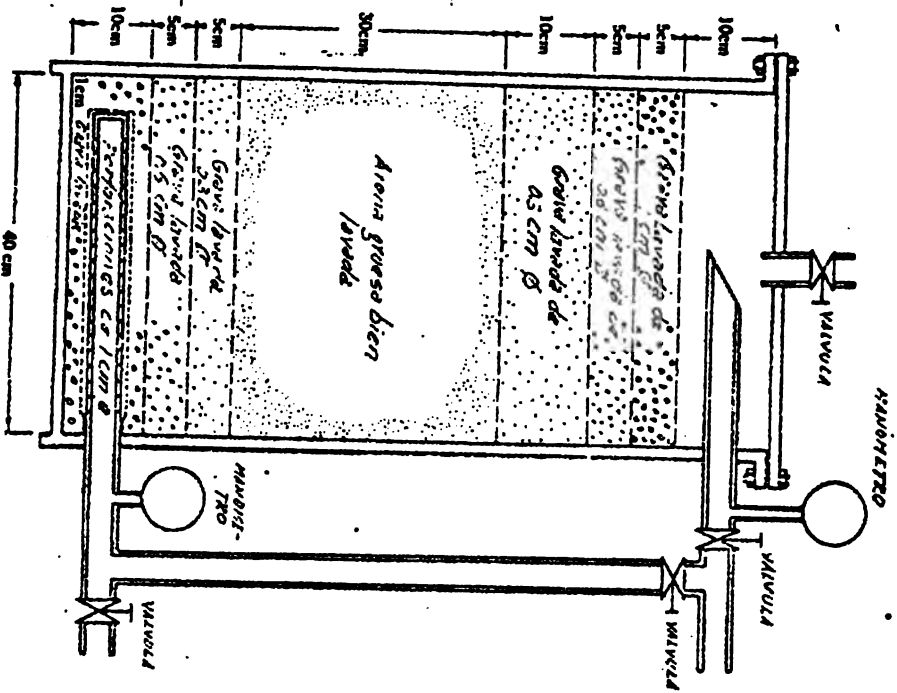


Fig. 7.7 Filtro de arena (5)

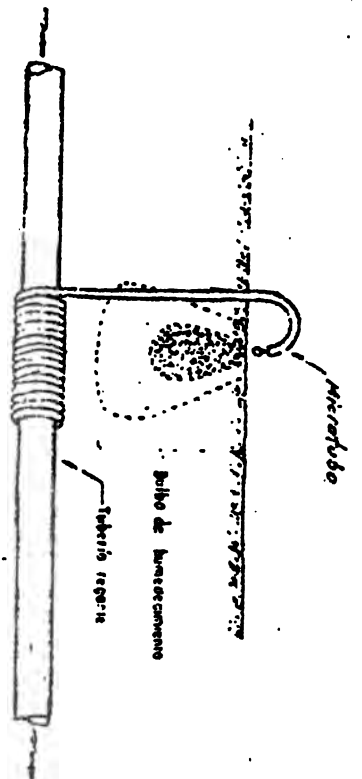


Fig. 7.8 Gotero de microtubo (1a)

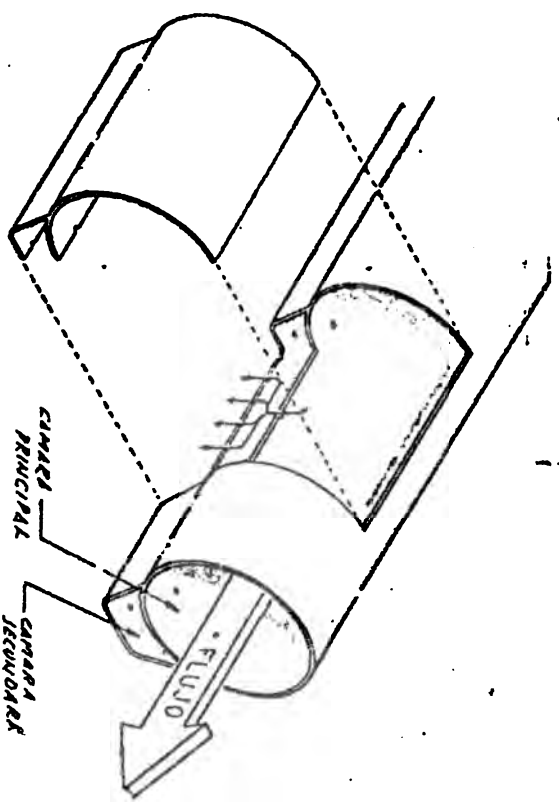


Fig. 7.11 Tubería de cámara dobl

$$q = 2.92 d^2 C_q \sqrt{2gh}$$

Donde:

q = gasto, en L/hora

d = diámetro de orificios, en mm.

C_q = coeficiente de descarga. Depende del tipo de orificio

g = aceleración de la gravedad, en m/seg² = 9.8 m/seg²

h = carga de trabajo en m.

c. Goteros de Vortex. La figura 7.10 c ilustra este tipo de goteros. En ellos, la pérdida de carga se produce por la rotación turbulenta que se crea al entrar el agua al gotero en forma tangencial, en combinación con el estrangulamiento propio de los orificios. El gasto está dado por la fórmula de los orificios, pero por el efecto de la turbulencia, dicho gasto se reduce en forma considerable para un mismo diámetro. En algunos goteros, esa reducción es a un tercio, lo que indica que el orificio de entrada, para un gasto y carga determinados, puede tener un diámetro de 1.73 veces mayor.

d. Tuberías con doble conducto. Se usan también tuberías con conducto doble, como la que se ilustra en la figura 7.11. El conducto de sección circular sirve para conducir longitudinalmente el agua, en tanto que el conducto de sección trapezoidal sirve para aplicarla al suelo. El agua pasa del conducto circular al conducto trapezoidal por medio de orificios uniformemente espaciados. Del conducto trapezoidal pasa al suelo a través de orificios que tienen el mismo diámetro, pero que son más numerosos que los anteriores. Generalmente, la relación entre los orificios de aplicación y los de conducción, es de 4 a 1. La descarga de los orificios del conducto de conducción será:

$$q = c a \sqrt{2gh}$$

Donde:

q = gasto

c = coeficiente de descarga

a = área del orificio

g = aceleración de la gravedad

h = carga sobre el orificio

Por otra parte, el gasto de los orificios del conducto de aplicación (para una relación de n a 1) será:

$$q = c a \sqrt{\frac{2gh}{n^2 + 1}}$$

Lo anterior explica por qué los cambios de presión a lo largo de la tubería tienen un efecto muy ligero sobre los cambios en el gasto; debido a la división de "h" por el factor $n^2 + 1$.

e. Relación entre gasto y carga de los goteros. En general, se puede apreciar que la relación entre el gasto (q) y la carga (h) de los goteros puede expresarse en la forma siguiente:

$$q = kh^x$$

Donde:

q = gasto, en L/hora

h = carga, en m.

k = coeficiente de proporcionalidad que depende del tipo y características del gotero.

x = exponente que caracteriza el régimen del flujo.

Esta relación puede resultar útil para hacer los ajustes necesarios de gasto de los rociadores en relación con la carga y para estudiar el grado de uniformidad de aplicación de un sistema de acuerdo con la distribución de las presiones.

En general, los fabricantes y distribuidores dan el gasto de los goteros para una carga standard de trabajo de 10.0 m.

7.8. Elementos para el Diseño. Para los fines de diseñar un sistema de riego por goteo, es necesario determinar algunos elementos básicos que permitan su dimensionamiento de acuerdo con las condiciones climáticas, las características de los suelos y la naturaleza de los cultivos. Esos elementos se refieren al consumo de agua, el área de influencia, la lámina de reposición, la frecuencia de riego, la duración del riego y el número de goteros, la relación de área humedecida, las unidades de riego y el gasto total del sistema. De aquí, se derivarán los elementos indispensables para el diseño hidráulico del sistema.

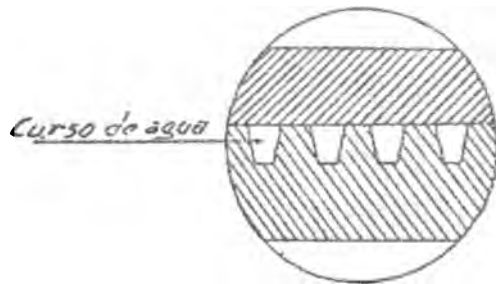
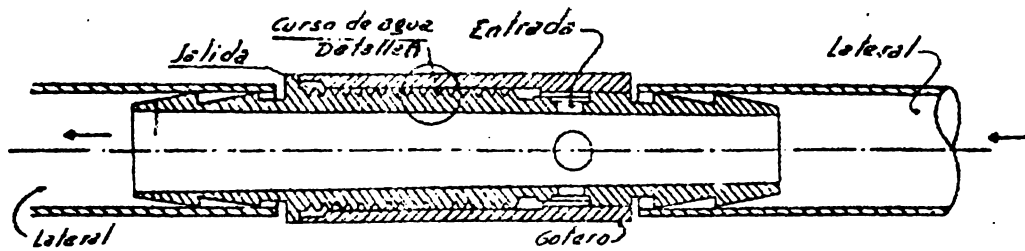
a. Consumo de agua. Conforme ya se discutió en el capítulo correspondiente, el consumo de agua representa la evapotranspiración que se produce en los cultivos bajo condiciones de adecuada disponibilidad de agua en el suelo. Utilizando algunos de los métodos ya estudiados, se puede calcular el consumo de agua. Los sistemas de riego por goteo deben diseñarse para las condiciones más severas, en cuanto a exigencias de agua. Por tanto, para determinar el consumo, se utilizará el mes más caluroso y el estado de mayor desarrollo del cultivo. El consumo diario (U_d) será:

$$U_d = \frac{U_m}{30}$$

Donde:

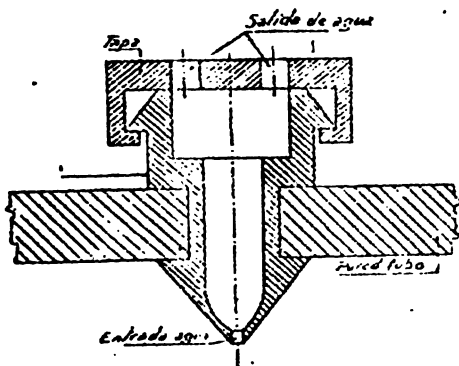
U_d = Consumo diario en mm.

U_m = Consumo mensual en mm.

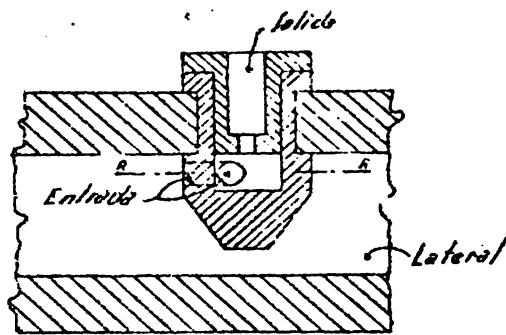


Detalle A.

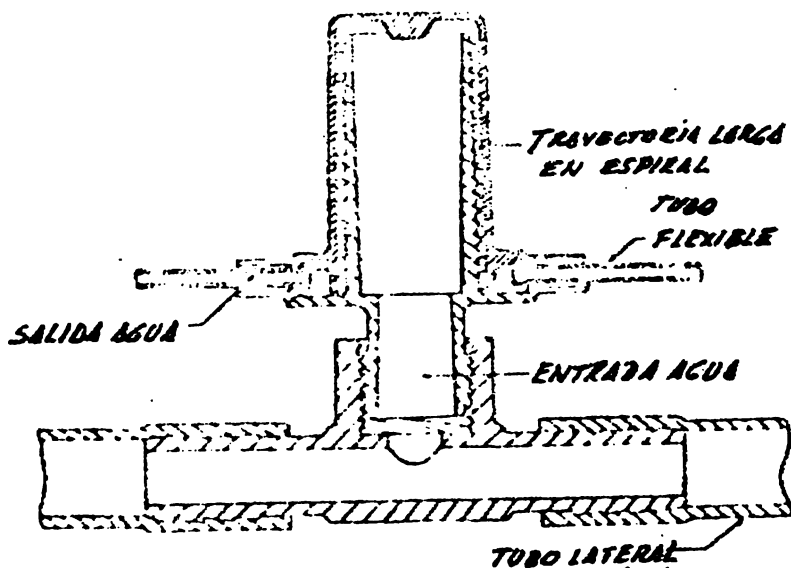
a. De trayectoria larga



b. De orificio

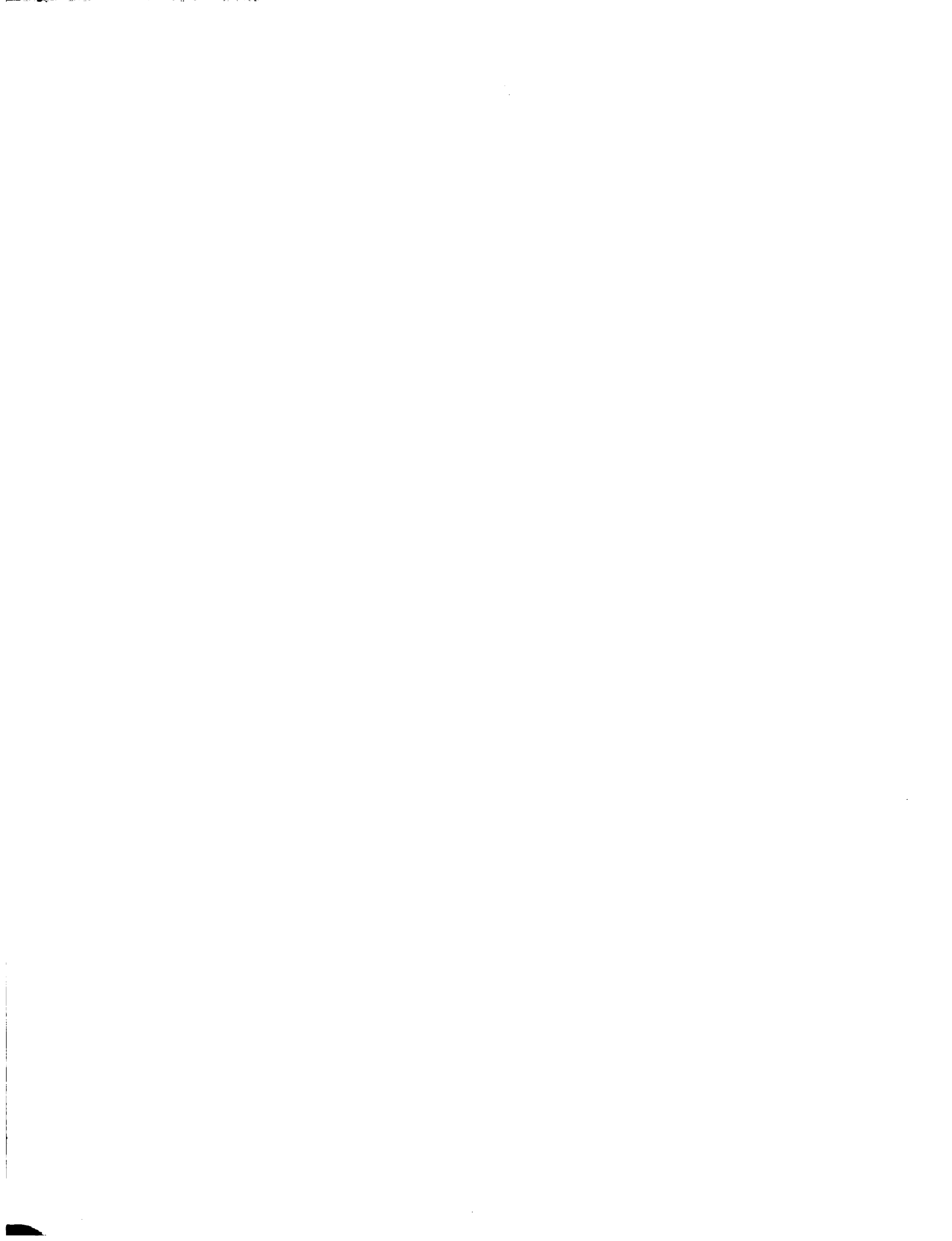


c. De vortex



d. De trayectoria larga y salida múltiple

Fig. 7.10. Tipos de Goteros (7)



b. Area de influencia. El área de influencia (A_i) representa el área ocupada por la porción más significativa de las raíces. En los cultivos perennes, como el café y los árboles frutales, se toma como área de influencia la porción del terreno cubierta por el follaje. Cuando se trata de cultivos en hilera, el área de influencia, es el área total del terreno. La figura 7.12 ilustra la determinación del área de influencia para cultivos anuales, en hileras, cuando cada línea de goteros riega dos hileras. La figura 7.13 muestra el área de influencia en cultivos perennes.

c. Láminas de reposición y de aplicación en cada riego. La lámina de reposición en cada riego (d_r), representa el espesor de la lámina de agua que ha sido consumida desde el riego anterior. Generalmente, el agua que debe reponerse se expresa como un porcentaje del agua aprovechable (la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Coeficiente de Marchitez). Para una máxima productividad, ese coeficiente se fija entre 15 y 40 por ciento.

$$d_r = \frac{c (CC - CM)}{100} \times Ga \times d_s \times \frac{A_i}{A_t} \times 1000$$

Donde:

d_r = lámina de reposición, en mm.

c = coeficiente de reposición : 0.15 a 0.40

CC = Capacidad de Campo, en porcentaje

CM = Coeficiente de Marchitez, en porcentaje

Ga = Gravedad específica aparente

d_s = espesor de capa de suelo ocupado por raíces

A_i = Area de influencia, en m^2

A_t = Area total, en m^2

El espesor de la lámina de agua que debe aplicarse en cada riego (d_a) será:

$$d_a = \frac{d_r}{Ef.}$$

Donde:

d_a = Lámina de agua que se debe aplicar, en mm.

d_r = Lámina de agua que se debe reponer, en mm.

$Ef.$ = Eficiencia, en porcentaje

d. Frecuencia de riego. Es el período que transcurre entre dos riegos consecutivos. Representa el tiempo que toma el cultivo para consumir el agua de reposición.

$$F = \frac{d_r}{U_d}$$

Donde:

- F = Frecuencia en días
- d_r = espesor de lámina de reposición, en mm.
- U_d = Consumo de agua, en mm/día

e. Duración del riego y número de emisores. La duración de cada riego (T) es el tiempo necesario para aplicar el agua de aplicación (d_a). Por ello, la duración del riego dependerá del número de goteros y del ^a gasto de cada uno.

$$T = \frac{d_a \times A_i}{nq}$$

Donde:

- T = Duración del riego, en horas
- d_a = Lámina de aplicación, en mm.
- A_i = Área de influencia, en m.
- n = Número de emisores
- q = Gasto de los rociadores, en L/hora

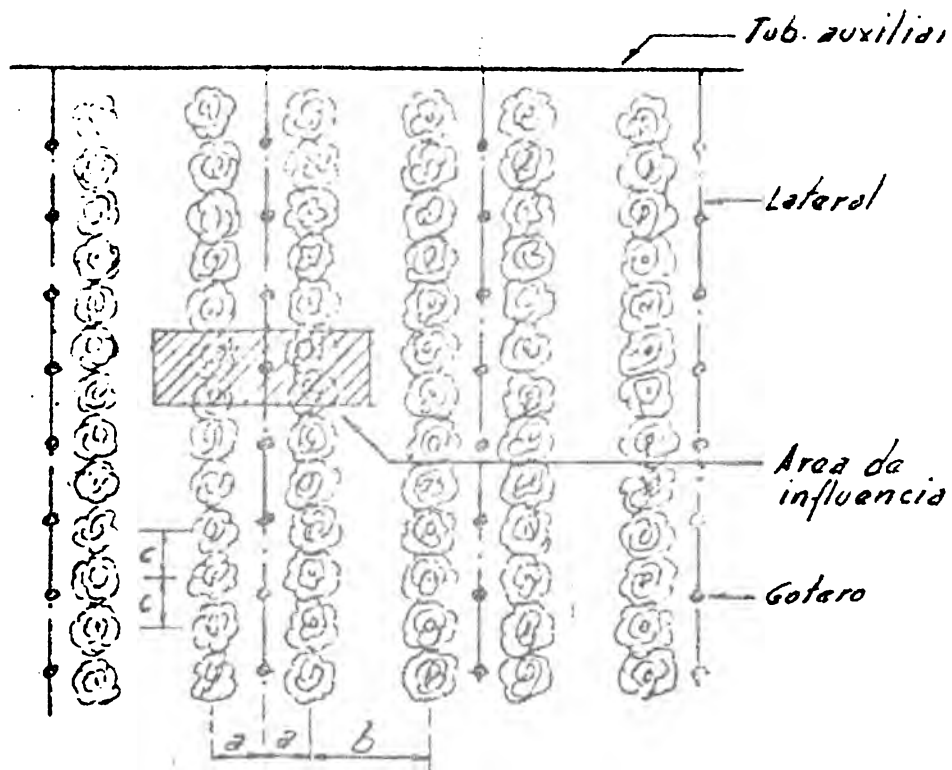
f. Relación de área humedecida. Representa la proporción del área de influencia que va a ser humedecida. Depende del tipo de suelo y del gasto de los emisores. En general, se considera que el área humedecida debe ser mayor que el 30 por ciento del área de influencia en cultivos arbóreos y arbustivos. No debe ser muy grande porque entonces se pierden los beneficios de alta eficiencia del riego por goteo. Pero si es muy pequeña, entonces no se aprovecha suficientemente el suelo como fuente de nutrientes. En el caso de cultivos hortícolas y otros cultivos de corto espaciamiento, el área humedecida debe ser casi la totalidad del área de cultivo. En relación con este tema, es evidente que se requiere más estudio e investigación. La relación de área humedecida (R) es:

$$R = \frac{A_h}{A_i}$$

Donde:

- A_h = Área humedecida, en m²
- A_i = Área de influencia, en m²

La tabla 7.3, da los diámetros efectivos promedios del área que es humedecida por cada gotero, en función del gasto de los goteros y de la textura del suelo. En cultivos arbóreos



- a = Separación menor = 0.60 a 0.70 m.
- b = Separación mayor = 0.90 a 2.50 m.
- c = Separación entre planfas = 0.25 a 0.30 m.
- d = Separación entre goteros

Fig. 7.12 Distribución de goteros en cultivos anuales

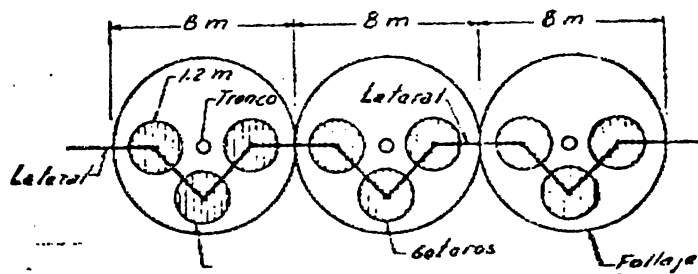


Fig. 7.13 Goteros en cultivos perennes (9)



$$A_h = \frac{n \times \pi d_e^2}{4}$$

Donde:

A_h = Área humedecida, en m^2

n = Número de emisores

d_e = Diámetro efectivo de área humedecida por cada gotero, en m.

En cultivos hortícolas y aquellos de corto distanciamiento

$$A_h = E_l \times E_e$$

Donde:

A_h = Área humedecida, en m^2

E_l = Distancia entre laterales, en m.

E_e = Distancia entre emisores, en m.

En todos los casos, conviene tomar E_e en la tabla 7.3, de tal manera que haya un cierto grado de superposición entre los diámetros humedecidos consecutivos para asegurar un humedecimiento continuo a lo largo del lateral.

g. Unidades de riego. Cada unidad de riego representa la porción de terreno que se regará en forma simultánea. Para obtener costo mínimo de instalación y de operación, será conveniente diseñar el sistema para una operación continua. De esta manera, el número de unidades de riego (N), será igual al período que media entre los riegos, o sea la frecuencia (F) dividido por la duración de cada riego (T).

$$N = \frac{24 F}{T}$$

Donde:

N = Número de unidades de riego

F = Frecuencia de los riegos, en días

T = Duración de cada riego, en horas

h. Gasto total del sistema. Este gasto total (Q) será el producto del área de cada unidad de riego por la tasa de aplicación de cada riego.

$$Q = \frac{A_t}{N} \times \frac{d_a}{T} \times \frac{A_i}{A_t} \times \frac{1}{3.600} = \frac{1}{3.600} \times \frac{d_a \times A_i}{N \times T}$$

Donde:

- Q = Gasto total del sistema, en L/seg
- A = Area total en m²
- N^t = Número de unidades de riego
- d_a = Espesor de lámina de aplicación en cada riego, en mm.
- T = Duración de cada riego, en horas
- A_i = Area de influencia, en m²

7.9. Diseño Hidráulico. Con el diseño hidráulico, se busca el dimensionamiento más económico y eficiente del sistema y de cada uno de sus componentes. Se debe seleccionar el número, el espaciamiento y la capacidad de los emisores; el diámetro de las tuberías laterales o regantes y el diámetro de la tubería principal y de las tuberías auxiliares o secundarias necesarias. En la figura 7.15, se muestra un campo que se riega por medio de un sistema de riego por goteo.

a. Número, espaciamiento y capacidad de los emisores. En las secciones 7.7 y 7.8, se han estudiado varias fórmulas que establecen las relaciones entre el número, el espaciamiento y la capacidad de los emisores en cada línea lateral del sistema. Conviene agregar ahora que la mayoría de los emisores trabajan a presiones bajas -entre 1 y 2 atmósferas- o sea una columna de agua entre 10 y 20 metros o presiones entre 1 y 2 kilogramos por centímetro cuadrado (14.7 a 29.4 libras por pulgada cuadrada). Las descargas de los emisores varían entre 2 y 15 litros por hora, según el diseño y la presión de trabajo.

b. Diámetro y longitud de los laterales. La fórmula más corrientemente usada para el cálculo de tuberías, en el diseño de sistemas de riego por goteo, es la de William y Hazen, cuya expresión en el sistema métrico, con coeficiente de descarga igual a 150 para tuberías muy lisas, es la siguiente:

$$\frac{\Delta h}{L} = 5.97 \times 10^2 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}}$$

Donde:

- Δh = Pérdida de carga, en m.
- Q = Gasto, en L/min.
- D = Diámetro, en mm.
- L = Longitud, en m.

Los laterales son tuberías con salidas múltiples, en donde las pérdidas por fricción son menores debido a la reducción gradual del gasto y de la velocidad, a lo largo de la tubería. Para esta clase de tuberías, la fórmula de William y Hazen se adiciona con un factor de ajuste (F) cuyo valor disminuye, hasta un valor constante, a medida que aumenta el número de salidas. La fórmula adquiere entonces la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta h}{L} = F \times 5.97 \times 10^2 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}}$$

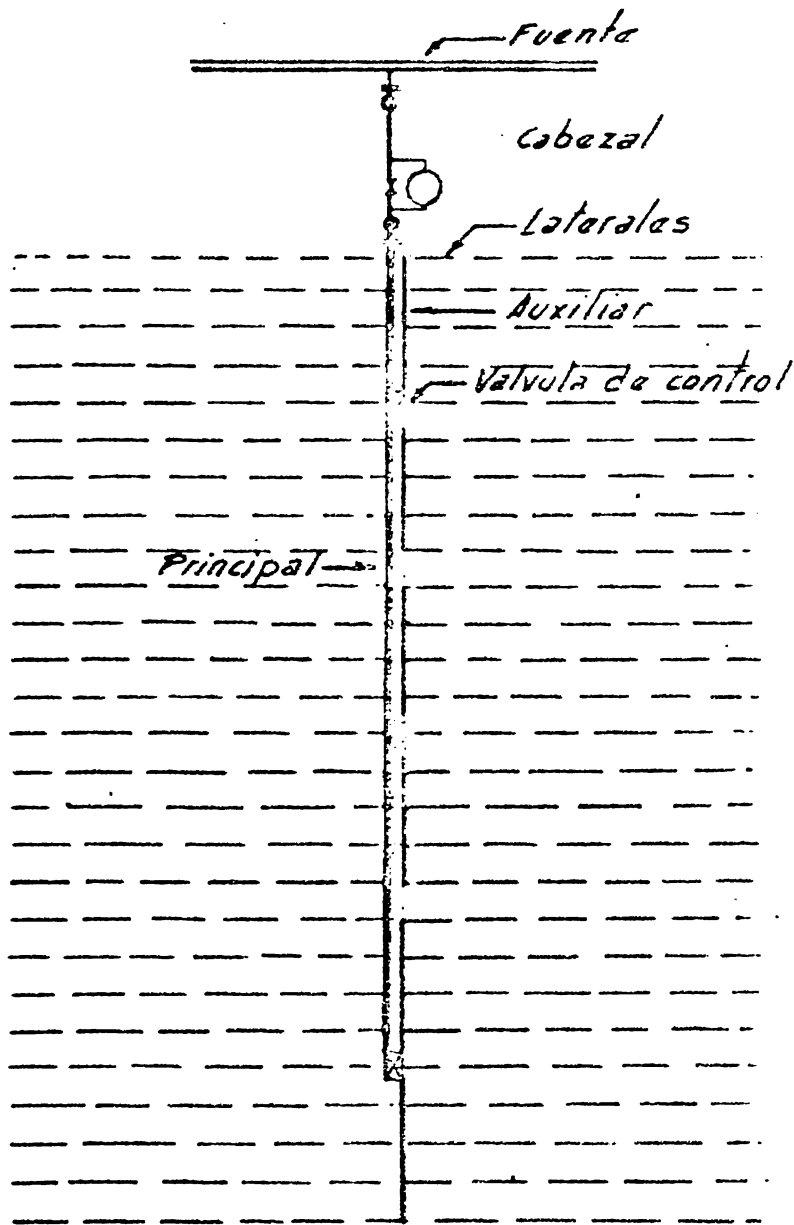


Fig. 7.15 Campo de riego

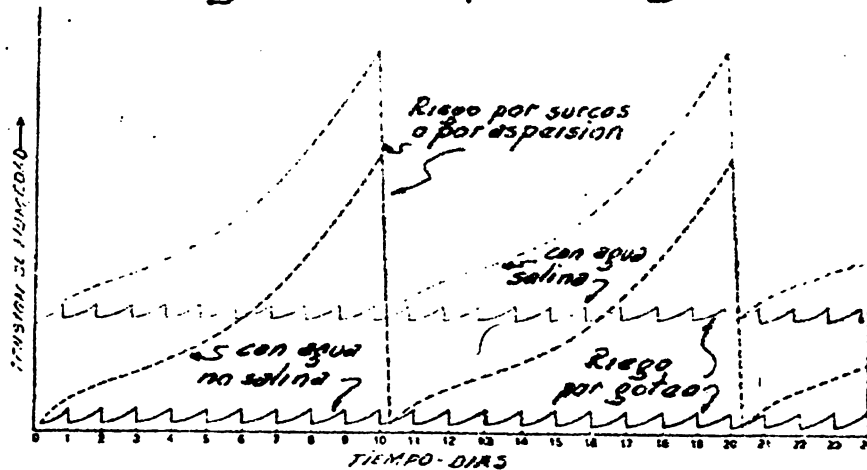


Fig 7.14 Variaciones de la tensión de humedad del suelo con la frecuencia de aplicación y la salinidad de agua. (13)



TABLA 7.3

Diámetro de área mojada por goteros, en m^{*}

Gasto Textura	2 L/h	4 L/h	8 L/h	12 L/h
Gruesa	0.4	0.7	1.0	1.2
Media	0.8	1.4	2.0	2.6
Fina	1.5	2.0	2.5	3.0

* Derivada de Karmeli (4) y Myers (7)

El valor de F puede calcularse en forma aproximada, con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2}$$

Donde:

N = Número de salidas

Cuando el número de salidas es mayor que 10, se puede usar la fórmula general siguiente:

$$\frac{\Delta h}{L} = 2.05 \times 10^2 \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}}$$

El gasto total de cada lateral (Q) es la suma de los gastos parciales de los emisores a lo largo de la línea. Para asegurar un alto índice de uniformidad de aplicación, en la práctica, se diseña el lateral para que las pérdidas por fricción en toda su longitud, no sobrepasen el 20 por ciento de la presión de trabajo de los emisores. En esta forma, el cálculo se reduce a determinar la longitud máxima del lateral, de diámetro conocido, que produzca una pérdida por fricción (Δh) igual o menor que el 20 por ciento de la presión de trabajo de los emisores. Para ello, conviene construir series de curvas que relacionen el espaciamiento promedio de los emisores o grupos de emisores con el gasto de la línea, en litros por minuto, por metro de longitud. Para estos fines, la fórmula de William y Hazen, adquiere la siguiente forma:

$$\Delta h = 2.05 \times 10^2 \frac{Q_1^{1.852}}{D^{4.871}} L^{2.852}$$

En esta fórmula, todos los símbolos son los mismos que en la fórmula anterior, siendo Q_1 el gasto de la línea en litros por minuto por metro de longitud. La figura 7.17, permite determinar la longitud máxima de los laterales con tuberías de polietileno de diferentes diámetros, en función del gasto por unidad de longitud, para pérdidas de carga de 10% y de 20% cuando la presión de operación de los emisores es de 10.33 metros.

El efecto de la variación de la presión sobre la descarga de los emisores, se demuestra considerando que la descarga es proporcional a la raíz cuadrada de la presión:

$$q = c \sqrt{2gh} ; q_1 = k \sqrt{h_1} \text{ y } q_2 = k \sqrt{h_2}$$

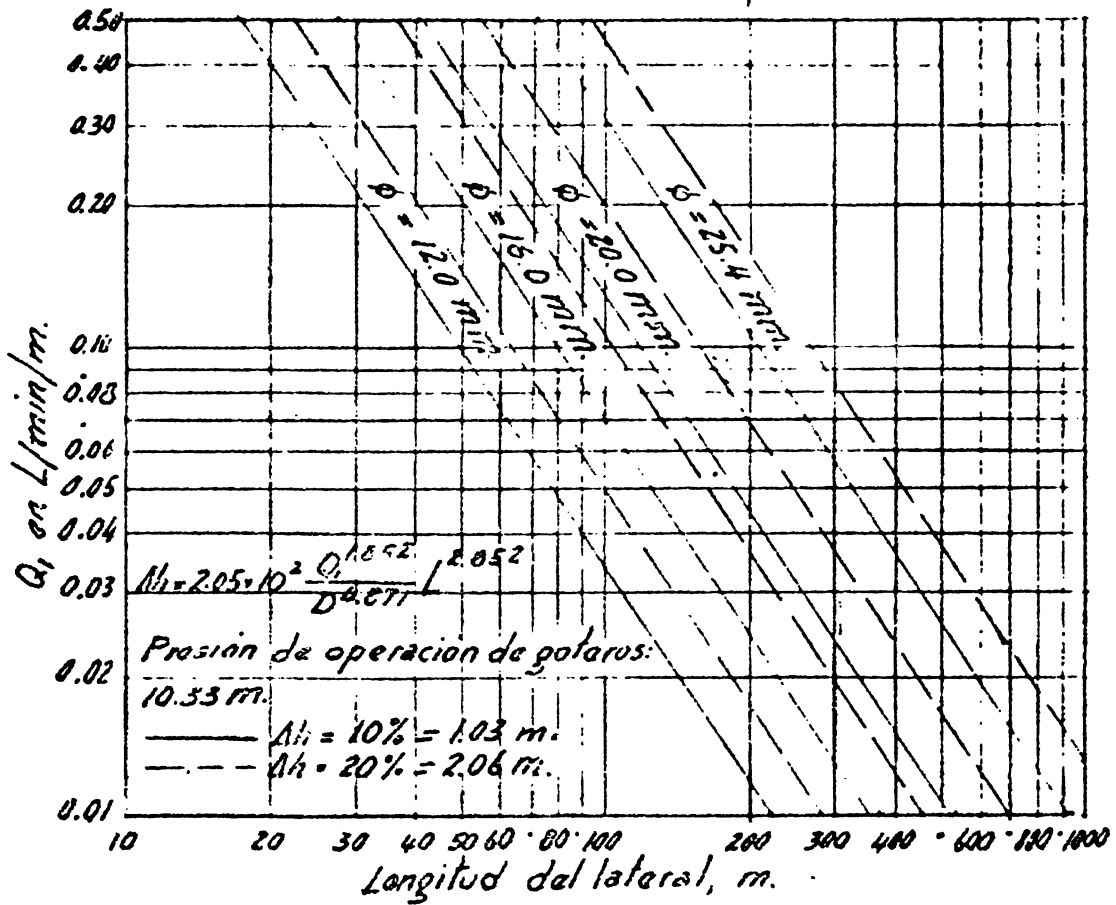


Fig. 7.16 Longitud de laterales

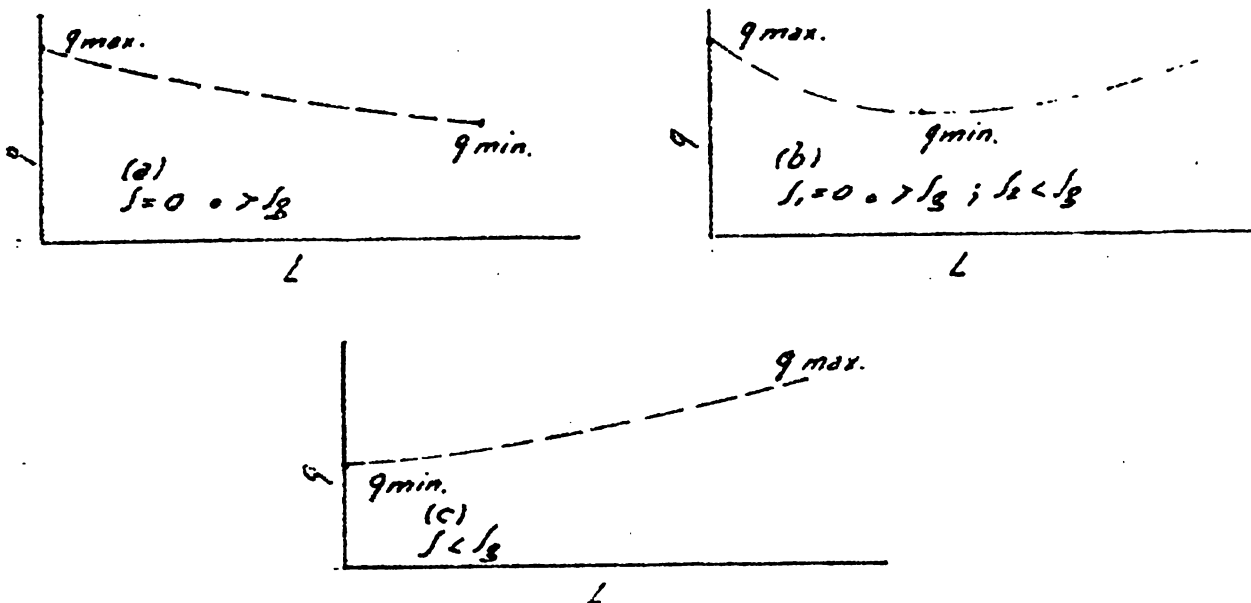


Fig. 7.17 Variación del gasto (q) de goteros con longitud (L) de laterales.
 s = pendiente terreno; S_g = Grad. hidráulica (16)

Una variación de 20% de h, implica una variación de q menor de 10%, conforme se demuestra enseguida:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{1.20}} = \frac{1}{1.095}$$

c. Efecto de la pendiente. En la figura 7.17, se ilustran tres condiciones de distribución del gasto a lo largo del lateral en función de la pendiente. En el caso (a), el gasto disminuye continuamente a lo largo del lateral. Esto ocurre cuando la pendiente del lateral es cero o inclinada hacia arriba. En el caso (b), el gasto disminuye primero y luego aumenta, a lo largo del lateral. Esto ocurre, cuando la pendiente del lateral es cero o ascendente al principio, y luego desciende con una pendiente que permite ganar más energía que la que se pierde por fricción. En el caso (c), el gasto aumenta a lo largo del lateral. Esto ocurre cuando la pendiente del lateral es descendente y mayor que la gradiente hidráulica. En la figura 7.17, se indica, para cada caso, el valor del gasto total del lateral (Q_1), en función del gasto inicial (a) para una variación del gasto a lo largo de la línea igual a 10%.

d. Diámetro y longitud del tubo principal y tubos auxiliares. El diámetro de la tubería principal depende del gasto que debe conducir, el cual decrece gradualmente a medida que va entregando agua a los laterales, bien sea en forma directa o por medio de tuberías auxiliares. Para los cálculos se usa la fórmula de William y Hazen, aplicándola a los diferentes tramos de la tubería. La figura 7.18, contiene un gráfico que permite calcular los tramos de la tubería cuando su gasto es constante (tiene una sola salida). En tanto que el gráfico de la figura 7.19 se utilizará para los casos en que la tubería tiene salidas múltiples, lo cual produce un gasto decreciente.

En el diseño de los tubos auxiliares y principales, debe tenerse en cuenta la pendiente del terreno. Lo mejor es dibujar el perfil del terreno, establecer la presión de carga de los laterales y trazar la gradiente hidráulica de la tubería.

e. Pérdidas de carga. Además de las pérdidas de carga, debidas a la fricción en las tuberías, es preciso determinar también las pérdidas de carga que se producen en los diferentes aditamentos que integran la tubería, como codos, tees, etc., y todos los elementos que integran el cabezal. En el capítulo sobre Tuberías, se discuten las pérdidas de carga para diferentes aditamentos. Para los elementos que integran el cabezal, será necesario obtener información de los fabricantes o hacer la determinación experimentalmente. La carga total para la selección de la bomba (H_T), será igual a la suma de las pérdidas ocurridas en toda la red.

$$H_T = h_o + h_l + h_a + h_p + h_d + h_e$$

Donde:

H_T = Carga total, en m.

h_o = Presión de operación de los emisores, en m.

h_l = Pérdida de carga en laterales

h_a = Pérdida de carga en auxiliares

h_p = Pérdida de carga en principal

h_d = Pérdida de carga en aditamentos

h_e = Pérdida de carga en elementos del cabezal

7.10. Ejemplo. Diseñar un sistema de riego por goteo para un cultivo de cítricos como el que se muestra en la figura 7.20. Datos: espaciamiento entre árboles: 6.0 m. x 6.0 m.; diámetro del follaje: 6.0 m.; consumo de agua para mes más severo: 168.0 mm.; suelo de textura media con CC = 17%; CM = 10%; Ga = 1.5%; profundidad radicular efectiva (d_s) = 1.0 m.; coeficiente de reposición de agua (C) = 0.20.

a. Elementos de diseño

1. Consumo diario

$$U_d = \frac{U_m}{30} = \frac{168}{30} = 5.6 \text{ mm/día}$$

$$\text{Area de influencia: } A_i = \pi R^2 = 3.14 \times 9.0 = 28.26 \text{ m}^2$$

$$\text{Consumo diario por árbol: } U_d \times A_i = 5.6 \times 28.26 = 158.26 \text{ L/d.}$$

Consumo diario por hectárea:

$$U_{dh} = U_d \frac{A_i}{A_t} \times 10,000 = 5.6 \times \frac{28.26}{6 \times 6} \times 10,000 = 43,960 \text{ L/d}$$

2. Lámina de reposición en cada riego (d_r)

$$d_r = \frac{c (CC. - CM)}{100} \times Ga \times d_s \times \frac{A_i}{A_t}$$

$$d_r = \frac{0.2 (17 - 10)}{100} \times 1.5 \times 1.0 \times 0.785 \times 1000 = 16.48 \text{ mm.}$$

Lámina de aplicación en cada riego (d_a)

$$d_a = \frac{d_r}{Ef} = \frac{16.48}{0.9} = 18.31 \text{ mm.}$$

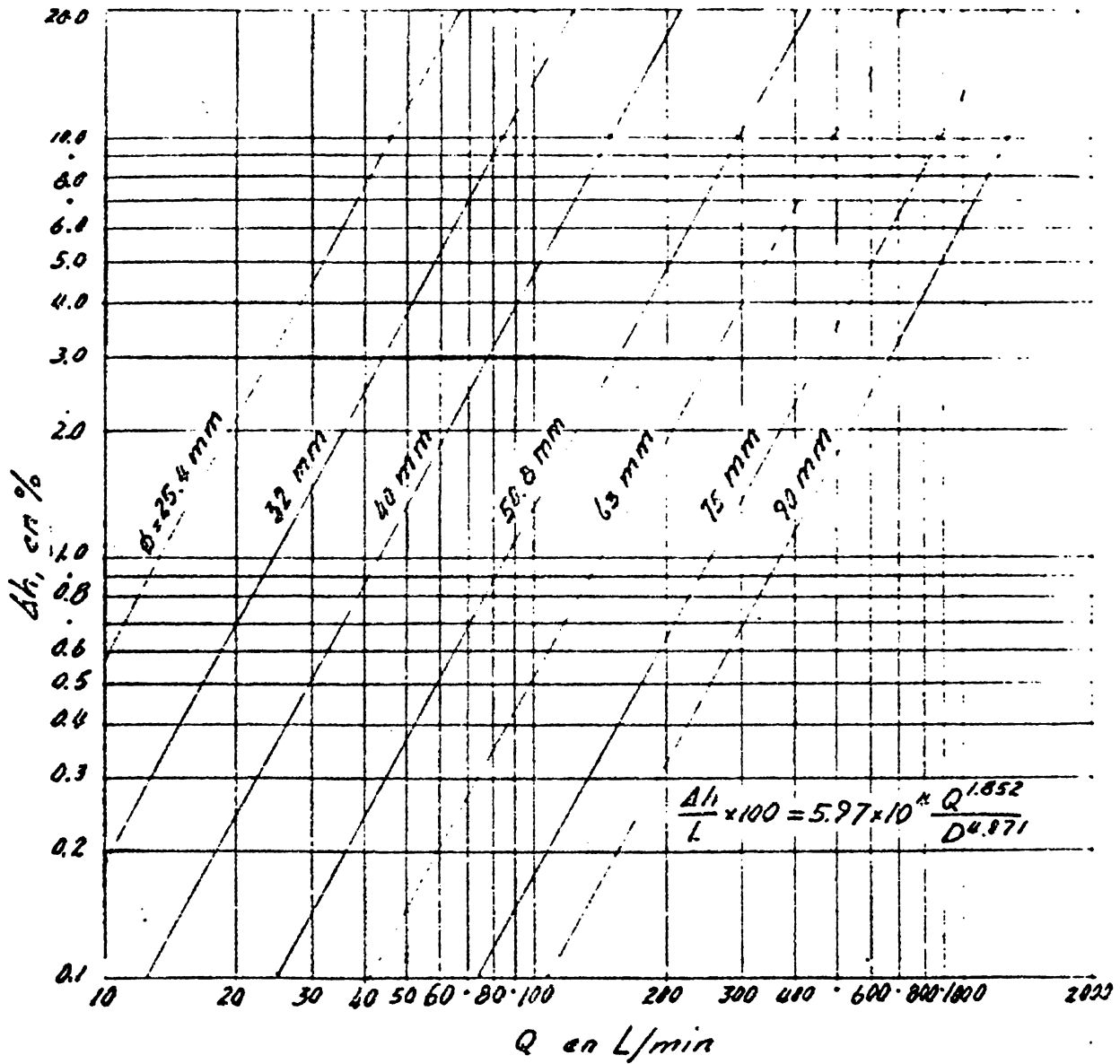


Fig. 7.18
 Tubería principal. Gasto
 constante. Una salida.



3. Frecuencia de riego

$$F = \frac{d_r}{U_d} = \frac{16.48}{5.6} = 2.94 \text{ días} \approx 3.0 \text{ días}$$

4. Duración del riego, número y capacidad de emisores

Asumiendo: un emisor con 4 salidas por árbol, con un gasto (q) por cada salida de 6 L/hora.

$$T = \frac{d_a \times A_i}{nq} = \frac{18.31 \times 28.26}{4 \times 6} = 21.56 \text{ horas}$$

5. Relación de área humedecida

Interpolando en tabla 7.3, para rociador de 6 L/hora y suelo de textura media, se obtiene $d_h = 1.7 \text{ m}$.

$$R = \frac{A_h}{A_i} = \frac{4 \times 3.14 \times 0.85^2}{28.26} = 0.32$$

6. Unidades de riego

$$N = \frac{24F}{T} = \frac{24 \times 3}{21.56} = 3.34 \approx 3.0 \text{ unidades}$$

7. Gasto total del sistema

$$Q = \frac{1}{3600} \times \frac{d_a A_i}{N \times T} = \frac{1}{3600} \times \frac{18.31 \times 0.785 \times 400 \times 200}{3 \times 21.56} = 4.93 \text{ L/s}$$

b. Sistema de distribución. Aunque son muchas las alternativas posibles, en este ejemplo se consideran dos alternativas (I y II de la figura 7.20) para diseñar el sistema de distribución. La alternativa I se resuelve en detalle como sigue:

I. Diámetro y longitud de laterales. En I los laterales tendrán una longitud de

$$L_1 = \frac{400}{6} = 66.67 \text{ m. a lado y lado del auxiliar}$$

Estimamos una longitud equivalente de 0.5 m. por la conexión de cada uno de los veintidós goteros de cada lateral. A la longitud real, agregaremos 11.0 m., para determinar la pérdida de carga. Por tanto, tomamos $L_1 = 77.67 \text{ m}$.

El gasto (Q_1) por metro lineal será

$$Q_1 = \frac{qn}{60 E} = \frac{6 \times 4}{60 \times 6} = 0.067 \text{ L/min/m.}$$

Considerando que la presión de operación de los goteros será de 10.0 m. y que admitimos una variación máxima de 20%, la pérdida de carga será de 2.0 m.

Con estos datos en el gráfico de la figura 7.16, encontramos que el diámetro de los laterales será de 12.0 mm.

2. Líneas auxiliares. En I, la longitud de las líneas auxiliares, será de 200.00 m. Como la admisión del agua es por el centro, para calcular el diámetro y la pérdida de carga, se tomará la longitud igual a 100.00 m. Agregando por pérdidas en cada una de las 17 salidas, una longitud equivalente de 1.0 m., la longitud para calcular gasto y pérdidas de carga, será de 117.0 m.

El número de laterales en cada 100.0 m. de auxiliar, será de $2 \times 100/6 = 33$.

El gasto (Q_a) de cada tramo de auxiliar será entonces:

$$Q_a = 0.067 \times 67 \times 33 = 148.10 \text{ L/min.}$$

Admitiendo una pérdida de carga no mayor de 2.0%, en el gráfico de la figura 7.19, tomamos un diámetro de 50.8 mm. En ese caso, la pérdida de carga será de $0.011 \times 117 = 1.29$ m.

3. Línea principal. En I estudiaremos la línea principal en sus diferentes tramos.

Tramo a-b-c-d-g

$$Q_p = 4.95 \text{ L/seg} = 296 \text{ L/min.}$$

$L = 433.0$ m. Agregando longitud equivalente del codo en "d",

$$L_e = 435.0 \text{ m.}$$

En la figura 4.13, seleccionamos una tubería de 75 mm. Así la pérdida de carga será de $1.4 \times 435/100 = 6.1$ m. Conviene observar que por el desnivel del terreno hay una ganancia de 1.5 m. de carga, quedando la pérdida neta en 4.6 m.

Tramo a-b-c-f

$$Q_p = 296 \text{ L/min.}; L_e = 300 + 2 = 302 \text{ m.}$$

En gráfico de figura 7.13, mantenemos para el tramo a-b-c, con longitud de 200 m., el diámetro ya calculado de 75 mm. Con ello, la pérdida de carga será de $1.4 \times 200/100 = 2.8$ m. En el mismo gráfico, para el tramo c-f (102 m), tomamos un diámetro de 63 mm., con lo cual la pérdida de carga será de $3.8 \times 102/100 = 3.87$. La pérdida total para el tramo

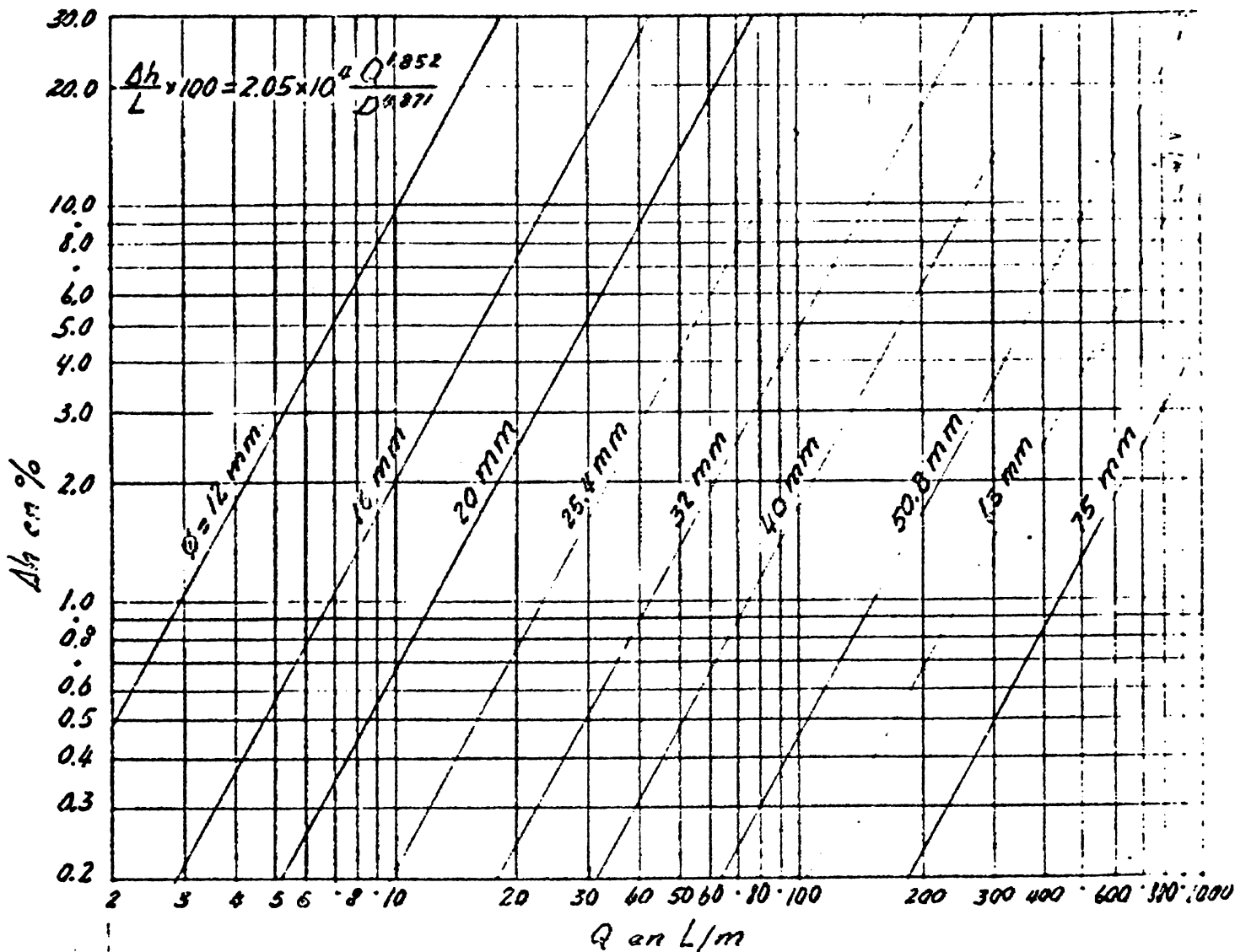


Fig. 7.19
Tubos auxiliares con salidas multiples.

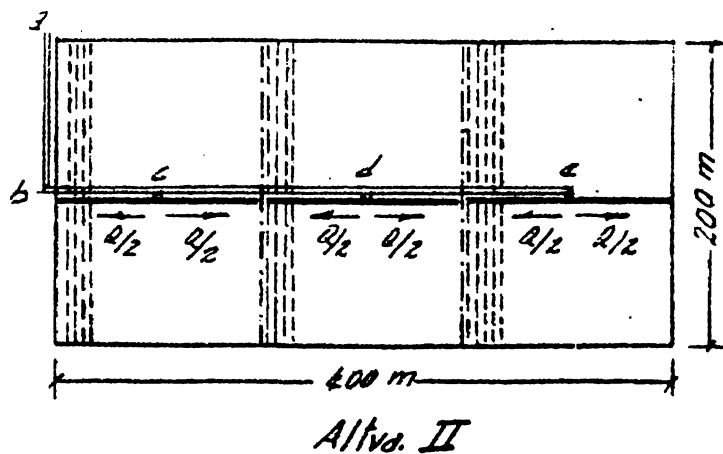
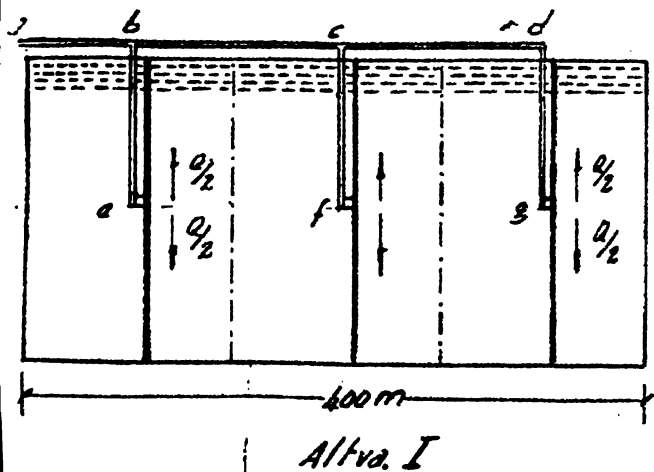


Figura 7.20. Ejemplo

a-b-c-f, será $2.8 + 3.87 = 6.67$. Restando lo que se gana por desnivel, la pérdida neta quedará en $6.67 - 1.0 = 5.67$ m.

Tramo a-b-e

$$Q = 296 \text{ L/min.}; L_e = 167 + 2 = 169 \text{ m.}$$

Dejando el tramo a-b con un diámetro de 75 mm., la pérdida de carga será de $1.4 \times 67/100 = 0.94$ m. Seleccionando para el tramo b-e un diámetro de 63 mm., la pérdida de carga será de $3.8 \times 100/100 = 3.8$ m. La pérdida total para a-b-e, será $3.8 + 0.94 = 4.74$. Restando lo que se gana por desnivel, se obtiene una pérdida neta de $4.74 - 0.5 = 4.24$ m.

4. Carga total sobre la bomba. En alternativa I, cuando opera unidad "g"

$$H_t = 10.3 + 2.0 + 1.29 + 4.6 = 13.59 + 4.6 = 18.19 \text{ m.}$$

$$\text{Cuando opera unidad "f", } H_t = 13.59 + 5.67 = 19.26 \text{ m.}$$

$$\text{Cuando opera unidad "e", } H_t = 13.59 + 4.24 = 17.83 \text{ m.}$$

La alternativa II fue estudiada en la misma forma, obteniéndose los siguientes resultados:

1. Diámetro y longitud de laterales

$$L_1 = 100.0 \text{ m. a lado y lado del auxiliar}$$

$$L_1 = \text{incluyendo equivalente conexión goteros} = 116.5 \text{ m.}$$

$$Q_1 = 0.067 \text{ L/min/m.}$$

$$\text{Diámetro} = 16 \text{ mm. para una pérdida de } h = 0.1 \times 10 = 1.0 \text{ m.}$$

2. Líneas auxiliares

$$\text{Longitud} = 133/2 = 66.7 \text{ m.}$$

$$\text{Longitud equivalente, incluyendo 11 salidas} = 77.7 \text{ m.}$$

$$\text{Número de laterales en cada auxiliar } 2 \times 66.7/6 = 22$$

$$Q_a = 0.067 \times 100 \times 22 = 148.0 \text{ L/min.}$$

$$\text{Diámetro (fig. 7.19)} = 40.0 \text{ mm., con } Ah = 3.5\%$$

$$\text{Pérdida de carga} = 3.5 \times 77.7/100 = 2.72 \text{ m.}$$

3. Línea principal

Tramo a-b-c-d-e

$$Q_p = 296 \text{ L/min.}; L = 433 + 2 = 435 \text{ m.}$$

Diámetro (fig. 7.18) = 75 mm. para Ah = 1.4%

Pérdida de carga = $1.4 \times 435/100 = 6.10$ m.

Pérdida de carga neta = $6.10 - 1.5 = 4.60$ m.

Tramo a-b-c-d

$Q_p = 296$ L/m., L = 302 m., D = 75 mm.

Pérdida de carga = $1.4 \times 302/100 = 4.23$ m.

Pérdida de carga neta = $4.23 - 1.00 = 3.23$ m.

Tramo a-b-c

$Q_p = 296$ L/min. ; L = 169 m., D = 75 mm.

Pérdida de carga = $1.4 \times 169/100 = 2.37$

Pérdida de carga neta = $2.37 - 0.5 = 1.87$ m.

4. Carga total sobre la bomba. En alternativa II, cuando opera unidad "e"

$H_t = 10.3 + 1.0 + 2.72 + 4.6 = 14.02 + 4.6 = 18.62$ m.

Cuando opera unidad "d", $H_t = 14.02 + 3.23 = 17.25$ m.

Cuando opera unidad "c", $H_t = 14.02 + 1.87 = 15.90$ m.

c. Observaciones

1. Adviértase que al calcular las pérdidas de carga, no se han adoptado criterios muy rigurosos. No se ha verificado, por ejemplo, si las longitudes equivalentes asumidas para las conexiones han sido correctas, después de calcular los diámetros.

2. Adviértase que al calcular la carga total sobre la bomba, ha hecho falta el valor de las pérdidas de carga en el cabezal. Esa es una pérdida importante que debe calcularse de acuerdo con los diferentes elementos que forman el cabezal y de conformidad con los coeficientes que se obtengan de los fabricantes.

3. En la alternativa I, se obtiene un mejor balance hidráulico de las presiones, lo cual asegura una mejor uniformidad en la distribución del agua, sin necesidad de instalar equipos reguladores especiales de presión. En la alternativa I, las pérdidas de carga en el principal para el riego de las unidades g; f y e, son 4.6; 5.6 y 4.2, respectivamente. En la alternativa II, las pérdidas del principal para las unidades equivalentes e; d y c, son 4.6; 3.2 y 1.9, respectivamente.

4. El estudio relativo a la selección de los tubos, principal y auxiliares y laterales, deberá complementarse con un estudio de costos. Menores diámetros significa menor costo para la instalación del sistema, pero esos mismos diámetros menores también significan mayores pérdidas de carga y por ello, la bomba y el motor serán más grandes y costosos, resultando también más costosos los costos de operación.

///

...

R E F E R E N C I A S

1. FAO. Riego por Goteo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974.
2. GIBSON, W. Hydraulics, Mechanics and Economics of Subsurface and Drip Irrigation of Hawaiian Sugar Cane. The Sugar Journal. Vol. 38, No. 2. P. 27-31. New Orleans, Luisiana. July 1975.
3. GOLDBERG, D., GORNAT B., SHMUELI, M. y Otros. Aumento del Uso Agrícola de Agua Salina por Medio del Riego por Goteo. Centro Regional de Ayuda Técnica. México/Buenos Aires. 1974.
4. GOLDBERG, D., GORNAT, B. y RIMON, D. Drip Irrigation-Principles, Design and Agricultural Practices. Drip Irrigation Scientific Publications. Israel. 1976.
5. KARMELI, D. y PERI, G. Trickle Irrigation-Design Principles. The Technion Student Publishing House. Israel. 1972.
6. GOLDBERG, D. y SHMUELI, M. El Riego por Goteo un Método que Puede Usarse en Condiciones Desérticas y Áridas con Agua y Suelo de Elevada Salinidad. Centro Regional de Ayuda Técnica. México/Buenos Aires. 1974.
7. KELLER, J. y KARMELI, D. Trickle Irrigation Design-Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, California
8. KENWORTHY, A. L. Trickle Irrigation. Simplified Guidelines for Orchard Installation and Use. Michigan State University Agricultural Exp. Sta. Research Report 248. East Lansing. 1974.
9. MYERS, J.M. y HARRISON, D. C. Drip Irrigation of Tree Crops: Distribution Systems and Design Criteria. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. Vol. 86-1973. P. 66-71. Gransville. 1974.
10. PHENE, C.J. Management of Seedbeds with Trickle Irrigation Reprint from the Cuvéd Tobacco Farmer, Florence, S. C. 1976.
11. RIEGOS MODERNOS, S. A. La Selección de un Sistema de Riego por Goteo. Mimeografiado. México. 1977.
12. SHMUELI, M. y GOLDBERG, D. Emergencia, Crecimiento Temprano y Salinidad de Cinco Hortalizas Germinadas con Riego por Goteo y por Aspersión en una Zona Árida. Centro Regional de Ayuda Técnica México/Buenos Aires. 1974.

13. SHOJI, K. Drip Irrigation. Scientific American. Vol. 237, No. 5-p. 62-68. 1977.
14. VALENZUELA RUIZ, TOMAS. Principios Básicos del Riego por Goteo. Seminario Internacional de Riego por Goteo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Buenos Aires. 1975.
15. WU, I-PAI y FANGMEIR, D. D. Hydraulic Design of Twin-Chamber Trickle Irrigation Laterals. The Agricultural Experiment Station, University of Arizona Technical Bulletin No. 216. Tucson, Arizona. 1974.
16. WU, I-PAI. Drip Irrigation System Design for Sugar Cane Fields. Hawaiian Planters' Records Vol. 59, No. 1. Honolulu. 1975.

14

IICA

P12

22 Blair Enrique

AUTHOR

Riego por Goteo.

TITLE

DATE DUE	BORROWER'S NAME
14 FEB 1971	F. Loidet Alfaro.

