

91  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DISEÑO DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y  
RIEGO POR GOTEO DE AGUA PLUVIAL EN  
ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS.**

**T E S I S**

**INGENIERO QUIMICO**

**SAMUEL RIVAS CORTES**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA**

**México, D.F.**

**1985**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.	
Variación de la precipitación pluvial y calidad del agua de riego.....	5
Generalidades.....	5
El ciclo del agua.....	8
Mediciones de precipitación .....	13
Medidores de precipitación pluvial.....	13
Precipitación media anual en mm entre 1931-1970.....	18
Calidad del agua de riego.....	23
CAPITULO II	
Equipo y proceso para medición de escurrimiento y transporte del fluido.....	29
Medidores de nivel.....	29
Medidores de flujo (de caudal).....	32
Mediciones de velocidad puntuales.....	36
Relaciones nivel-caudal.....	38
Ecuaciones de flujo.....	42
Métodos de cálculo de escurrimiento total en una corriente natural.....	43
Análisis y clasificación de hidrogramas.....	45
Coefficientes de escurrimientos.....	48
Vasos de almacenamiento.....	48
Cálculo del volumen de escurrimiento anual.....	49
Diferencias entre las presas tradicionales y los sistemas propuestos.....	50
Selección del sitio para vasos de almacenamiento y de sedimentación .....	52

Equipo y proceso necesario para el transporte, almacenamiento e irrigación del agua pluvial escurrida .....	53
Bases para el diseño del sistema de bombeo.....	55

CAPITULO III

El sistema de Riego por Goteo.....	60
Ventajas y desventajas de este sistema .....	62
Equipo utilizado en el sistema de riego por goteo.....	65
Bases del sistema de riego por goteo .....	69
El sistema de red .....	69
Tipos de goteros... ..	70
Gotero integrado de trayectoria larga.....	71
Goteros de orificio.....	73
Tubos de plástico porosos.....	77
Otros tipos de goteros.....	77
La fertilización en el riego por goteo.....	77
Tipos de fertilizantes a usa en el riego por goteo ...	79
Preparación de fertilizantes en solución.....	80
Materiales.....	80
Cálculo de la conc. de fertilizantes disueltos .....	82
Efecto de los fertilizantes en las .....	83
características del suelo .....	83
Concentración de sal en el suelo .....	83
Efecto específico del ión cloro .....	85
Efecto del ion sulfato.....	85
Recomendaciones para una buena fertilización.....	86
Métodos de aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego gota a gota.....	87

Tanques de fertilización.....	87
Bombas de fertilización.....	89
Bombas operadas con energía externa.....	89
Bombas operadas por presión de irrigación del sistema.	91
Medidores tipo Venturi.....	91
Tanque Camerom.....	92
Tanque abierto.....	94
Sofocadores friccionales.....	94
Control de flujo.....	96
Control de la presión.....	97

CAPITULO IV

Diseño Hidráulico.....	98
Fórmulas hidráulicas.....	98
Diseño de los filtros de arena para agua pluvial en irrigación por goteo.....	111
Variables de diseño .....	112
Ecuación de flujo laminar a través de lechos porosos.....	113
Diseño de las bombas del sistema.....	117
Determinación de la cabeza de bombeo.....	119
Influencia de los costos en el proyecto.....	121
Optimización de costos en el bombeo para almacenamien to e irrigación gota a gota.....	122
Evaluación de costos.....	127
Ejemplo.....	144
Capítulo V.	
Conclusiones.....	156
Bibliografía.....	157

## Introducción

El agua siempre ha sido un compuesto de vital importancia en la Tierra para todos los seres vivos incluido el hombre. - Las ruinas arqueológicas de varios pueblos antiguos indican que las primeras civilizaciones se establecieron en las riberas de los ríos lagos y lugares cercanos a manantiales, los cuales proveían del agua necesaria para la irrigación de sus cultivos y demás usos domésticos. La finalidad principal de este trabajo es el estudio del agua y su aplicación en la irrigación. Si se habla acerca de los antecedentes históricos de esta técnica, el primer pueblo que la conoció y practicó en gran escala fue el pueblo Egipcio, de ahí pasó a Babilonia China, algunos otros pueblos antiguos y muy probablemente al continente americano. Durante los inicios de la conquista de México causó sorpresa entre los primeros conquistadores que los aztecas conocieran y aplicaran el riego en la agricultura. Otros pueblos del continente americano que conocieron también la irrigación fueron los Incas en Perú y algunas otras tribus del sur de Estados Unidos, pues se han encontrado ruinas de viejos canales.

Desde que el hombre conoció el riego lo ha mejorado y perfeccionado cada día mejor con métodos más eficaces. Con el avance de la tecnología la irrigación se desarrolla cada vez en mayor escala y aparecen nuevos métodos de aplicación entre los cuales destaca el riego gota a gota. En varios países sub

desarrollados es practicada esta técnica en muy poca escala - ya que no contando con recursos suficientes para la construcción de obras hidráulicas se recurre al riego de la lluvia natural que hace la producción de alimentos eventual. Por esta razón los países pobres padecen frecuentemente hambre y desnutrición, es por eso muy urgente un desarrollo en mucho mayor proporción del riego artificial a nivel mundial. Si se analiza el caso de México un alto porcentaje del suelo laborable es de temporal. Existen treinta millones de hectáreas de cultivo de las cuales solamente un 16% son de irrigación en su mayoría por métodos tradicionales que ocasionan grandes pérdidas por filtración en muchos casos, del agua que se les suministra. La superficie de riego con respecto a la extensión total del país es de un 2.5% que es muy pequeño y es uno de los factores que determinan la baja productividad agraria y una de las causas por las que se tengan que importar grandes cantidades de alimentos. Es necesario extender el riego al resto de superficie laborable y predios ganaderos para que la producción agropecuaria sea mayor.

El porvenir del campo mexicano puede ser muy prometedor con un uso eficaz del agua pluvial que cae en el territorio nacional. Según datos estadísticos promedio de la S.A.R.H. la cantidad de agua llovida en el territorio mexicano es de -- - 1 520 650 millones de metros cúbicos anuales, de esta cantidad 415 921 millones escurre, 405 068 millones se filtran y - - -

699 662 millones se evaporan y pierden por otras causas; del agua perdida por escurrimientos se aprovecha y almacena en vasos artificiales 91 161.69 millones de metros cúbicos que es un equivalente al 23. % del total, el resto se pierde en corrientes naturales que van a los mares.

Con la información anterior se concluye que existen todavía enormes cantidades de agua escurrida por aprovechar. El objetivo de este trabajo es analizar y estudiar desde el punto de vista técnico el almacenamiento y óptimo uso del agua pluvial en irrigación, haciendo uso de los avances de la ingeniería química y civil. Durante las temporadas de lluvias con los enormes desperdicios del vital compuesto que causan en algunas zonas inundaciones y desastres se podrían aprovechar para producir grandes cantidades de alimentos en temporada de sequía, pues en muchos sitios y en otras épocas se padece de una enorme escasez que causa serios daños al campo. No se propone nada novedoso en este sencillo trabajo, simplemente se sugiere se haga uso de sistemas de bombeo para su almacenamiento y para ello se construyan los vasos necesarios en la mejor conformación del terreno. En el primer capítulo se expone el equipo y procedimiento necesarios para medir el agua llovida, las diferentes precipitaciones registradas en todo el territorio nacional y su calidad, según el contenido de sales. Durante el segundo capítulo se explica el proceso a seguir para medir los escurrimientos en una corriente con los instrumentos necesarios así como las ecuaciones de flujo del agua en una -

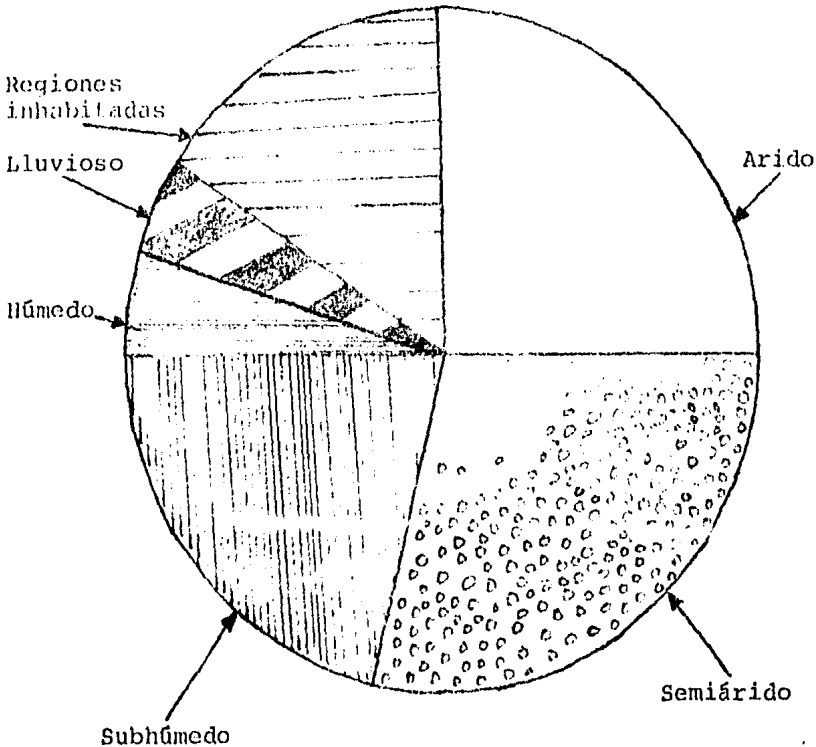


creciente que fluye en un ducto natural. Ya que se conocen los volúmenes escurridos se plantean las óptimas condiciones para la construcción de un vaso de almacenamiento alimentado por bombeo. Igualmente se dan a conocer en los capítulos tres y cuatro las ventajas y rendimientos del agua en el sistema de riego gota a gota que se ha venido desarrollando paralelamente a la industria del plástico y que ha tenido gran aceptación en todo el mundo, sobre todo en zonas áridas y semiáridas. También se habla acerca del equipo necesario para irrigación por goteo, su clasificación y costos de compra e instalación, lo mismo que para equipo de bombeo que alimenta el vaso. Por último se plantea y resuelve un problema real sobre un sistema de almacenamiento e irrigación por goteo para frutales de áreas medias ( $26-36 \text{ m}^2$ ) juntamente con un análisis y optimización de costos; con lo cual se concluye puede resultar eficaz el procedimiento sugerido para el aprovechamiento del agua pluvial en zonas de mediana o mucha aridez.

CAPITULO I

VARIACION DE LA PRECIPITACION PLUVIAL Y CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.  
Generalidades

El riego siempre ha sido indispensable en las regiones -- áridas y semiáridas debido a que la precipitación pluvial es insuficiente para el crecimiento de las plantas, a este factor se debe que muchos países destinen enormes cantidades de sus presupuestos a la construcción de obras hidráulicas. En el siguiente cuadro se hace una clasificación del clima en base a la precipitación pluvial anual, y el % de superficie de tierra existente en todo el globo terrestre juntamente con un diagrama circular.



Clasificacion del clima en base a la precipitación y % de superficie.

Clasificación del clima	Precipitación Anual	% Superficie
Arido	250 mm	25 %
Semiárido	280-510 mm	30 %
Subhúmedo	510-1020 mm	20 %
Húmedo	1020-1520 mm	5 %
Lluvioso	2030 mm	5 %

Con la tabla anterior se llega a la conclusión que aproximadamente 55% de los climas terrestres son áridos y semiáridos; es por esta razón que el riego ocupa un lugar primordial en la obtención de alimentos. En algunos países la agricultura está sujeta totalmente a la irrigación mientras que en otros solo en un cierto porcentaje y por métodos tradicionales que para mejorarse es muy necesario el uso de equipo para un mejor aprovechamiento del agua.

En las regiones áridas los recursos acuíferos dependen fundamentalmente de la cantidad de hectáreas en bosques y sierras pues éstos ayudan a conservar la humedad del suelo y favorecen la precipitación pluvial. Según cálculos aproximados se estima que por cada hectárea irrigada deben de existir siete hectáreas de sierra y bosque como cuenca de captación por esta razón es indispensable la conservación de los bosques como recursos naturales pues su destrucción aumenta la aridez. Si se aplica la proporción anterior a la superficie nacional se estima que deben existir 28 millones de hectáreas irrigadas y el resto en bosques como cuencas de captación. Según datos de la S.A.R.H. se cuentan con cerca de 5 millones de hec-

tareas de riego faltando por aprovechar 23 millones. Se menciona en la introducción que solo un 23% del agua pluvial, se almacena en presas por lo que es indispensable se dé impulso a la construcción de más y mejores sistemas de almacenamiento; de igual manera son muy valiosos los almacenamientos pequeños en zonas áridas para completar el agua faltante a los cultivos en las granjas. La construcción de vasos pequeños entre 6000 - 1000 000 metros cúbicos será uno de los temas de mayor interés en capítulos posteriores.

En cuanto al agua usada en irrigación no toda es de buena calidad, existen sales disueltas que en ocasiones son benéficas, mientras que en otras son totalmente perjudiciales. Las aguas ricas en sustancias reductoras son perjudiciales en irrigación; el mismo problema presentan las aguas de algunos manantiales pobres en oxígeno y ricas en metano y ácido carbónico pero a diferencia de las anteriores pueden aerearse en cascadas y utilizarse sin problema alguno. Las aguas ricas en bicarbonatos de calcio son igualmente perjudiciales pero pueden aerearse para favorecer la precipitación del bicarbonato o emplearse con efecto correctivo en terrenos ácidos. Las aguas que contienen sales sódicas en forma de cloruros, sulfatos carbonatos y nitratos; pueden emplearse en riego siempre y cuando el contenido no exceda ciertos límites. Las aguas que contienen sulfato cálcico permiten una acción correctiva en arcillas sódicas.

En cuanto a los sistemas de aplicación del agua en los -- que se usa más equipo son básicamente dos: el riego por goteo y el riego por aspersión, los cuales presentan grandes ventajas en zonas áridas, muy importantes son el considerable ahorro del agua y la fácil operación del equipo; de estos dos -- sistemas el de mayor interés en el presente trabajo es el riego por goteo ya que ocupará parte del presente trabajo su diseño.

### El Ciclo del Agua

Las fuentes principales de abastecimiento del agua para plantas y demás seres vivos son los océanos que cubren las -- tres cuartas partes del globo terrestre. El agua existente en los mares por medio de la energía solar sufre un cambio de estado de líquido a vapor; el agua en su estado gaseoso es -- transportada por los vientos a las superficies de los continentes e islas que al condensarse cae en forma de nieve, lluvia o granizo, abasteciendo las necesidades de los seres vivos terrestres. La cantidad de agua que cae en la superficie terrestre; una parte se evapora nuevamente; otra es absorbida y transpirada por las plantas, mientras que el agua que las plantas no aprovechan forma corrientes superficiales y subterráneas. En cuanto el agua llega a la superficie terrestre en cualquiera de los estados mencionados tiende a formar drenajes superficiales que hacen subir los caudales de los ríos, arroyos y riachuelos que van a los mares y causan muy frecuentemente, inundaciones y erosión si las lluvias o tormentas -- son muy abundantes. A este proceso natural continuo se le de-

nomina ciclo hidrológico o acuático.

El ciclo hidrológico se representa mediante una ecuación matemática que indica un balance de masa entre la precipitación pluvial, evaporación, agua escurrida, agua filtrada y almacenada. Con una correcta interpretación se puede saber, cual término de la ecuación aumenta o disminuye en un fenómeno meteorológico. La ecuación que se menciona se expresa de la siguiente manera:

$$P = E + DS + DP + SS + AA \dots \dots \dots ( 1 )$$

P= Precipitación pluvial (mm ó m<sup>3</sup>)

E= Evaporación (mm ó m<sup>3</sup>)

DS= Agua de drenaje superficial (m<sup>3</sup>)

DP= Agua de corriente subterráneas o de drenaje profundo (m<sup>3</sup>)

AA= El agua almacenada en mantos acuíferos (m<sup>3</sup>)

La precipitación pluvial anual varía en todo el territorio nacional desde 68 mm a 4493 mm, según cálculos promedio registrados en las estaciones pluviométricas de la S.A.R.H. - su variación es considerable año tras año sin embargo pueden realizarse cálculos de valores promedio de la cantidad total de lluvia. Ocasionalmente se alteran muchos los terminos de la ecuación # 1 principalmente en años muy lluviosos o muy secos.

La cantidad de lluvia representada por el término P es en México de 1 520 650 millones de metros cúbicos. El término E

(evaporación) representa el agua transpirada y evaporada por las plantas y equivale a una cantidad de 699662 millones de metros cúbicos. No existen hasta el momento avances tecnológicos importantes para impedir evaporación en gran escala. El agua perdida por escurrimientos superficiales está representada por el término DS y comprende aquella agua que se drena superficialmente y subsuperficialmente y aumenta los caudales de arroyos ríos y riachuelos en época de lluvias; en el territorio nacional la cantidad de agua perdida por el fenómeno mencionado es de 318 972 millones de metros cúbicos. Finalmente el agua que se filtra anualmente en el terreno y es la fuente de alimentación de manantiales naturales corrientes de ríos en temporada de sequía mantos acuíferos y corrientes subterráneas está representada por los últimos términos de la ecuación # 1 D.P. y A.A. y en nuestro país es de 405068 millones de metros cúbicos.

Es muy importante la preservación de las cuencas de captación; una norma adecuada es el cuidado de los bosques que atraen la lluvia; los árboles conservan y retienen la humedad del terreno además de impedir su erosión.

De acuerdo a la cantidad de energía solar que recibe la Tierra cada año se evaporan  $12.87 \times 10^{10}$  millones de metros cúbicos de los océanos y mares además de  $24.13 \times 10^9$  millones de metros cúbicos de todas las superficies de continentes con sus respectivos lagos y ríos. De estas cantidades evaporadas

una parte cae en los continentes y otra nuevamente en los mares. La circulación de la atmósfera terrestre hace posible la distribución del agua en todo el globo terráqueo. En algunas vertientes la cantidad de agua filtrada es enorme mientras que en otras es más escasa dependiendo de la permeabilidad del terreno. En las regiones que facilitan la filtración una parte alimenta a las plantas mientras que la otra continúa su filtración por los efectos de la gravedad; en el momento que encuentra una zona rocosa impermeable se almacena en grandes cantidades considerables llamándosele al lugar del subsuelo zona de saturación que es fuente de abastecimiento de manantiales, pozos y corrientes naturales en época de sequía. La zona de saturación varía en profundidad desde unos cuantos metros hasta cientos. La formación de los mantos acuíferos está en función de la precipitación pluvial y la profundidad de la zona rocosa impermeable que retiene la filtración. El agua de los mantos acuíferos es la que se explota para múltiples usos que pueden ser riegos, usos industriales, abastecimiento a poblaciones etc.

En el esquema siguiente se puede observar el ciclo hidrológico o acuático y la formación de la zona de saturación que abastece algunos pozos artesianos y manantiales naturales.

Algunas vertientes donde existen rocas impermeables existe muy poca o quizás nula filtración de agua, estas cuencas son inadecuadas para la extracción de agua del subsuelo pero



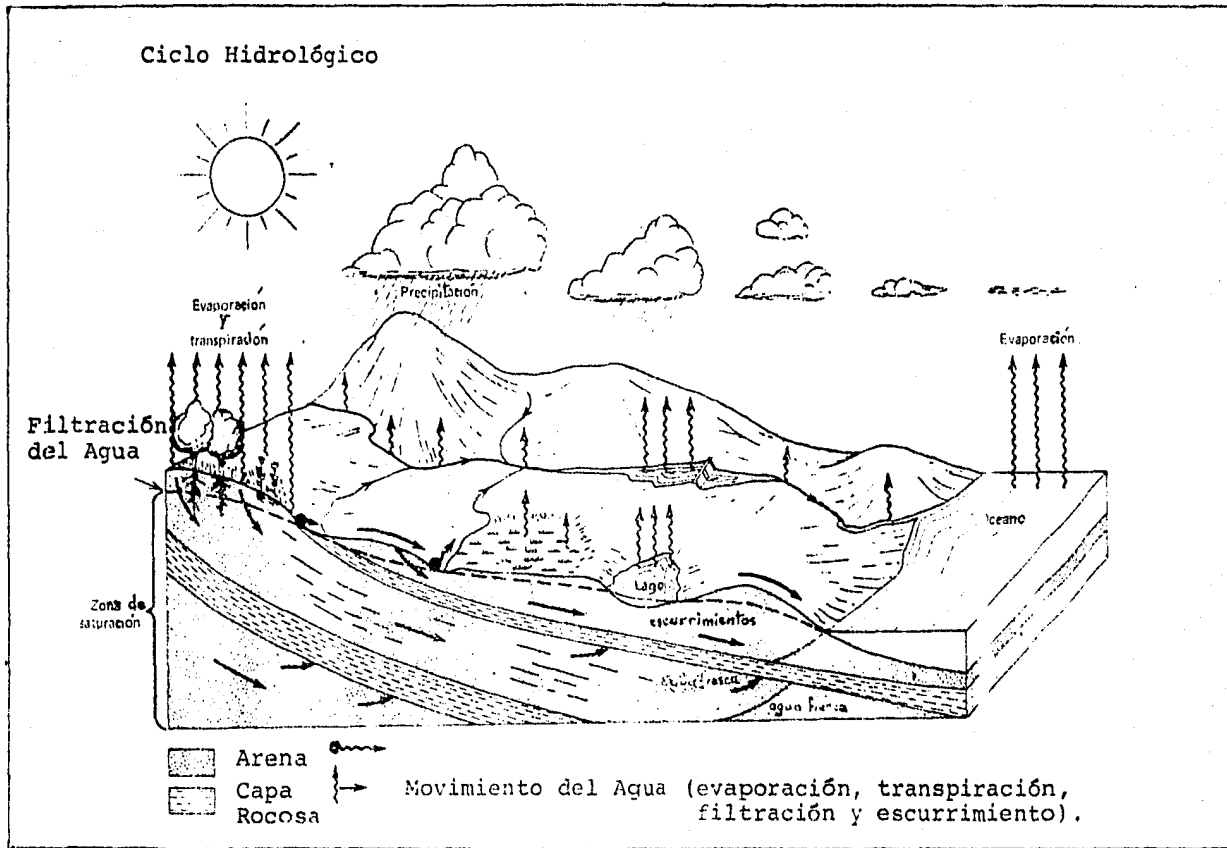


Fig. 1.1: Representación del ciclo del Agua.

son muy adecuadas para la construcción de vasos artificiales de almacenamiento. En otras regiones de fuerte filtración es muy probable extraer el agua a poca profundidad. Posteriormente se analizarán los requisitos que debe reunir el terreno en la construcción de lagos artificiales alimentados por bombeo en períodos lluviosos. Para el caso de México falta todavía por aprovechar grandes cantidades del vital compuesto; hay algunas zonas de gran aridez, en cambio en otras por las necesidades ya descritas se ocasionan inundaciones frecuentes, por lo cual es muy urgente que se multipliquen las obras hidráulicas para vasos de almacenamiento, para ello posteriormente se mencionará el equipo necesario utilizado para un sistema como se propone en este trabajo.

#### Mediciones de precipitación

La precipitación pluvial puede presentarse bajo forma de lluvia nieve o granizo. Es indispensable en la construcción de cualquier obra hidráulica conocer los milímetros de precipitación pluvial de la cuenca. En la medición (de la precipitación) para una zona determinada se mide sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía si la lluvia permaneciera en el lugar donde cae. Las unidades usadas en la medición son centímetros milímetros o pulgadas de agua.

#### Medidores de precipitación pluvial.

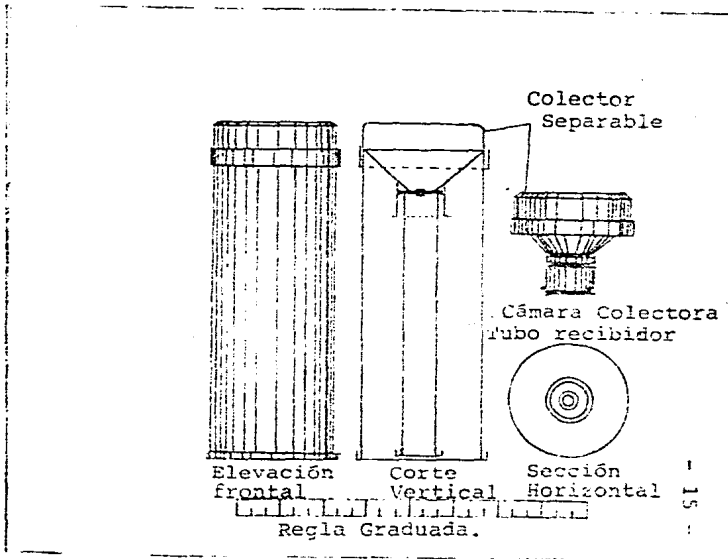
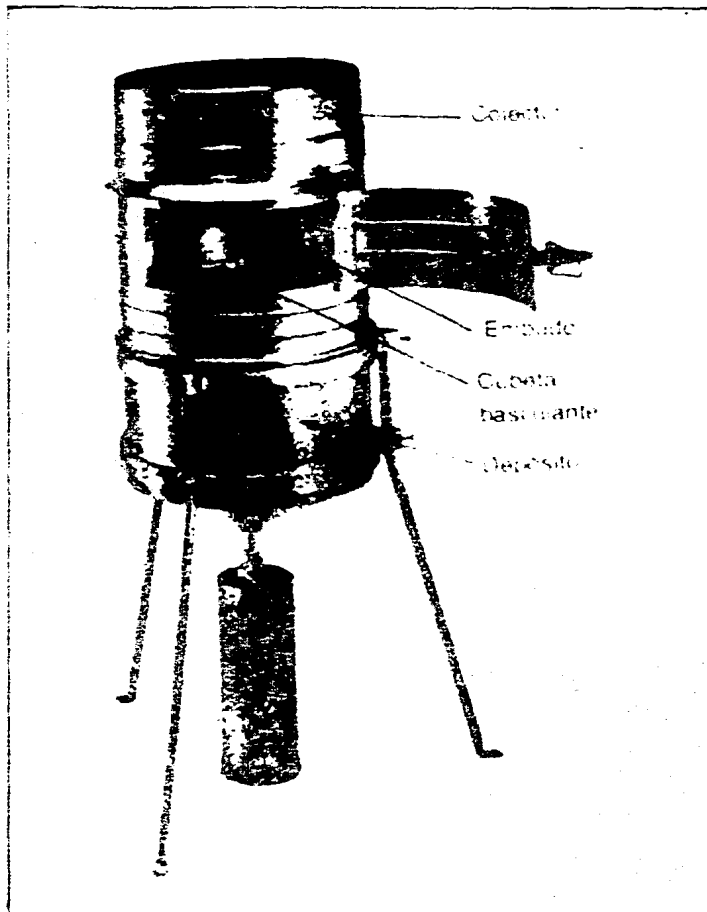
Existen ciertos instrumentos para medir el agua que llueve en un lugar llamados pluviómetros. Un recipiente cualquiera abierto con paredes totalmente verticales puede utilizarse para medir precipitación en una cuenca cualquiera; sin embargo ciertos factores tales como el viento y el salpicado --

nos producen con frecuencia resultados con un cierto márgen de error.

El pluviómetro estandar (fig. 1.2) del U.S. National Weather Service consiste en un recipiente montado sobre un soporte con un tubo medidor, un colector o receptor y una regla graduada en milímetros y décimas de milímetro. En el segundo, se recibe el agua llovida teniendo presente que un centímetro de altura del tubo equivale a un milímetro de líquido precipitado. En caso de medirla en forma de nieve se retira el tubo medidor y el colector recibiendo en el recipiente para posteriormente efectuar la fusión y medición en el tubo medidor.

Existen otros tipos de instrumentos de mediciones más directas, este tipo de instrumentos reciben el nombre de pluviógrafos y tres son los modelos más comunmente usados que son: el de cubeta basculante, el de balanza y el de flotador.

El de cubeta basculante (fig. 1.3) tiene las características de recibir el sólido (nieve, granizo) en un colector para enviarlo a una de las cubetas que hace que se invierta vaciando el contenido en una vasija y moviendo el segundo compartimiento a su lugar correspondiente. En el momento de voltearse la cubeta actúa un circuito eléctrico y por medio de una señal mueve una pluma que anota una marca sobre el papel. Se usa únicamente para medir precipitación de nieve al no ser que se le suministre calor por medio de un sistema de calefacción continuo al colector.



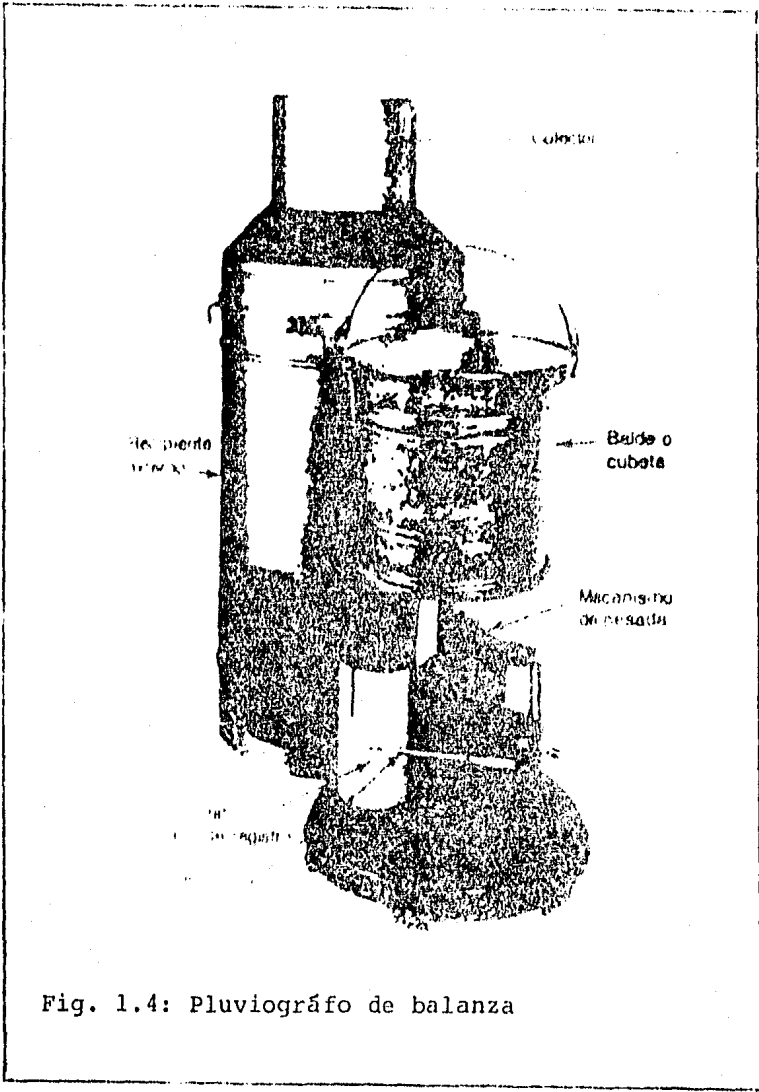


Fig. 1.4: Pluviógrafo de balanza

El pluviógrafo de balanza (fig. 1.4) pesa el compuesto en forma líquida o sólida que cae sobre una plataforma con resorte o báscula, el aumento de peso se registra en una carta que acumula los valores registrados de precipitaciones anteriores.

Existen otros tipos de pluviógrafos llamados de flotador, que en su mayoría cuentan con este instrumento y se produce un ascenso de la lluvia acumulada; en muchos de ellos el flotador se encuentra suspendido en aceite o mercurio para prevenir pérdidas por evaporación, el flotador se eleva conforme se eleva el nivel. Este tipo de instrumentos tienen la desventaja de dañarse el flotador si hay congelación por enfriamiento. Existen otros modelos de pluviógrafos con diseños diferentes pero son menos usados que los ya descritos. En el momento de usar los pluviómetros y pluviógrafos debe tomarse en consideración ciertas pérdidas ocasionadas por la velocidad del viento, para ello existen gráficas de correcciones. Para mediciones de precipitaciones en una región determinada se instala una red de estaciones pluviométricas con el fin de estimar valores promedio.

Las densidades mínimas para redes de precipitación recomendadas por hidrólogos son las siguientes:

- 1.- Para zonas planas en climas tropicales, templados o mediterráneas de 100 a 900 Km<sup>2</sup> por estación.
- 2.- En lugares montañosos de zonas templadas o mediterráneas de 100 a 250 Km<sup>2</sup> por estación.

3.- Para islas montañosas pequeñas con precipitación irregular 25 Km<sup>2</sup> por estación.

4.- En zonas áridas y polares de 1500 a 2000 Km<sup>2</sup> por estación.

Existen redes de estaciones pluviométricas en todo el territorio nacional que nos aportan datos sobre la precipitación pluvial anual promedio. Antes de continuar el presente trabajo se dará a conocer la variación pluvial en diferentes lugares del territorio nacional; se presenta a continuación la cantidad de lluvia en diferentes lugares del país según los registros de la S.A.R.H.

Precipitación Media Anual en mm entre 1931 - 1970

Estación	Precip.Pluvial	Estación	Precip.Pluvial
Aguascalientes	534 mm	El Paso de Iritú	228 mm
Calvillo	600 mm	Mulegé	122 mm
Presa Calles	460 mm	La Paz	80 mm
Baja Calif. Nte.		Poza Grande	113 mm
Ensenada	218 mm	La Purísima	158 mm
Mexicali	68 mm	El Refugio	78 mm
Rodríguez, Presa	221 mm	El Rosarito	143 mm
Tijuana	239 mm	Sn.Bartolo Sur	276 mm
Todos los Santos (Isla)	173 mm	Sn. Felipe	374 mm
Baja Calif. Sur		Sn.José del Cabo	234 mm
Buenavista	159 mm	Sta.Gertrudis	481 mm
Comondú	162 mm	Sta. Rosalía	133 mm

Estación	Precip.Pluvial	Estación	Precip.Pluvial
Campeche		Tuxtla Gutierrez	958 mm
Campeche	1110 mm	Villa Flores	1211 mm
Cd.del Carmen	1230 mm	Chihuahua	
Champotón	1119 mm	Chihuahua	314 mm
Coahuila		Delicias	272 mm
Concordia	185 mm	Cd. Guerrero	476 mm
Cuatro Ciénegas	247 mm	Hgo. del Parra!	446 mm
Presa Dn. Martín	398 mm	La Junta	478 mm
Monclova	320 mm	Nueva Casas Grandes	280 mm
Nueva Rosita	406 mm	Distrito Federal	
Piedras Negras	532 mm	Tacubaya	713 mm
Ramos Arizpe	263 mm	Durango	
Saltillo	371 mm	Cañón Fernández	266 mm
Viesca	172 mm	Cuencamé	384 mm
Colima		Durango	440 mm
Colima	905 mm	Guanacevi	555 mm
Manzanillo	1110 mm	Cd. Lerdo	260 mm
Chiapas		El Rodeo	371 mm
Sn. Cristóbal las Casas	1467 mm	El Salto	882 mm
Hacienda Sn. Cristóbal	4669 mm	Santiago Papasquiaro	459 mm
Comitán	1065 mm	Tepehuanes	467 mm
Molozintla	813 mm	Topia	1285 mm
Tapachula	2563 mm		
Tonalá	1688 mm		



Estación	Precip. Pluvial	Estación	Precip. Pluvial
Guanajuato		Calera	734 mm
Alvaro Obregón		Guadalajara	932 mm
(Sn. José Iturbide)	529 mm	Cd. Guzmán	760 mm
Guanajuato	671 mm	Pto. Vallarta	1430 mm
Irapuato	704 mm	México	
León	636 mm	Chapingo	625 mm
Sn. Diego de la Unión	401 mm	Temascaltepec	1453 mm
Sn. Miguel Allende	535 mm	Toluca	821 mm
Yuriria	674 mm	Zacualpan	1265 mm
Guerrero		Michoacán	
Acapulco	1393 mm	Aguililla	1073 mm
Alcozauca	848 mm	Apatzingán	714 mm
Chilapa	941 mm	Coalcomán	1191 mm
Iguala	1030 mm	Cuitzeo del Porvenir	632 mm
Taxco	1407 mm	La Piedad	904 mm
Hidalgo		Tacámbaro	1191 mm
Huejutla	1613 mm	Uruapan	1639 mm
Ixmiquilman	396 mm	Zacapu	829 mm
Pachuca	366 mm	Zinapécuaro	792 mm
Tula	586 mm	Zitácuaro	909 mm
Tulancingo	545 mm	Morelos	
Jalisco		Atlatlahucan	1013 mm
Atequiza	842 mm	Cuatla	1007 mm
Bolaños	600 mm	Cuernavaca	1285 mm
		Nayarit	
		Acaponeta	1376
		Ahuacatlán	834

Estación	Precip.Pluvial	Estación	Precip.Pluvial
Guanajuato		Calera	734 mm
Alvaro Obregón		Guadalajara	932 mm
(Sn. José Iturbide)	529 mm	Cd. Guzmán	760 mm
Guanajuato	671 mm	Pto. Vallarta	1430 mm
Irapuato	704 mm	México	
León	636 mm	Chapingo	625 mm
Sn. Diego de la Unión	401 mm	Temascaltepec	1453 mm
Sn. Miguel Allende	535 mm	Toluca	821 mm
Yuriria	674 mm	Zacualpan	1265 mm
Guerrero		Michoacán	
Acapulco	1393 mm	Aguililla	1073 mm
Alcozauca	848 mm	Apatzingán	714 mm
Chilapa	941 mm	Coalcomán	1191 mm
Iguala	1030 mm	Cuitzeo del Porvenir	632 mm
Taxco	1407 mm	La Piedad	904 mm
Hidalgo		Tacámbaro	1191 mm
Huejutla	1613 mm	Uruapan	1639 mm
Ixmiquilman	396 mm	Zacapu	829 mm
Pachuca	366 mm	Zinapécuaro	792 mm
Tula	586 mm	Zitácuaro	909 mm
Tulancingo	545 mm	Morelos	
Jalisco		Atlatlahucan	1013 mm
Atequiza	842 mm	Cuatla	1007 mm
Bolaños	600 mm	Cuernavaca	1285 mm
		Nayarit	
		Acaponeta	1376 mm
		Ahuacatlán	834 mm

Estación	Precip.Pluvial	Estación	Precip.Pluvial
Compostela	954 mm	San Luis Potosí	
Tepic	1188 "	Alvaro Obregón	433 "
Nuevo León		Matehuala	473 "
Cadereyta	673 "	Mexquitic	350 "
Cerralvo	590 "	San Luis Potosí	374 "
Dr. Arroyo	532 "	Sinaloa	
Granja Experimental	416 "	Cosalá	936 "
Higuera	451 "	Culiacán	671 "
Linares	541 "	Choix	771 "
Monterrey	602 "	Guamuchil	543 "
Rayones	353 "	Mazatlán	838 "
Oaxaca		Palos Blancos	728 "
Matias Romero	1424 "	San Blas	451 "
Miahuatlán	618 "		
Oaxaca	670 "	Sonora	
San Carlos Yautepec	697 "	Alamos	669 "
Tehuantepec	945 "	Angostura (Presa)	375 "
Tlacolula	562 "	Atil	333 "
Puebla		Bavispe	337 "
Cuetzalán	4443 "	Guaymas	217 "
Piactla	869 "	Hermosillo	246 "
Puebla	834 "	Lomas Nuevas	657 "
Teziutlán	1583 "	Mulatos	570 "
Tlacotepec	499 "	Nuri	645 "
Querétaro		Cd. Obregón	329 "
Centenario (Tequisquiapan)	516 "	El Orégano	337 "
Jalpan	837 "	Quiriego	646 "
Querétaro	555 "	San Javier	609 "
San Juan del Río	592 "	Santa Ana	315 "
Quintana Roo			
Cozumel	1536 "		
Chetumal	1347 "		

### Calidad del Agua de Riego.

El agua de riego varía en calidad según la concentración total de sales disueltas; cierto tipo de sales como nitratos, sulfato de calcio, algunos cloruros etc., producen efectos benéficos en la tierra; en cambio otras tales como los compuestos de boro, algunos bicarbonatos fluoruros etc., producen -- efectos totalmente perjudiciales.

Al aplicar el agua a las plantas existirán ciertos valores de tolerancia del suelo en la concentración total de sales disueltas dependiendo de la permeabilidad y composición; algunos terrenos muy impermeables acumulan rápidamente en su superficie cantidades de sales que los imposibilita para usos posteriores. La clasificación química de las aguas se hace en base a la salinidad de sales de sodio, boro carbonatos y bicarbonatos. Las unidades de salinidad se miden en base a la conductividad eléctrica y sus unidades son micromhos/cm a una temperatura de 25° C, las unidades mencionadas representan el grado de salinidad en una agua cualquiera. Para medir la conductividad se compara la del agua con la resistencia eléctrica entre dos electrodos de una solución estándar de KCl a 25° C. El contenido de sales se obtiene multiplicando la conductividad por un factor que para muchos casos es de 0.65; por este procedimiento se calcula en ppm la concentración total de sólidos disueltos.

La conductividad varía desde 100 a 5000 micromohos y en base a ella la salinidad se clasifica en: baja, media, alta y muy alta como se especifica en el siguiente cuadro:

Intervalo de conductividad	Clasificación de la Salinidad
100 - 250 micromohos/cm	Baja
250 - 750 "	Media
750 -2250 "	Alta
2250 -5000 "	Muy Alta

Las aguas de salinidad baja son recomendables en la mayoría de los casos, pueden acarrear problemas en un cierto período de tiempo únicamente en terrenos muy impermeables. El agua para riego de salinidad media es también apta para el riego a diferencia del caso anterior tienen que emplearse grandes volúmenes en muchos casos para lavado de suelos y cultivos tolerantes a la salinidad.

La tercera clasificación comprende las aguas de salinidad alta, en estos casos se emplearán grandes volúmenes para lavar suelos además de emplear cultivos tolerantes a la salinidad.

En la última clasificación se incluyen las aguas de salinidad muy elevada que en rangos menores solamente se usarán en grandes cantidades con cultivos tolerantes a la salinidad y en terrenos muy permeables; en muchos casos no es aconsejable su uso.

Existen dos cationes que neutralizan los efectos de los iones  $\text{Na}^+$  que son el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ , por este motivo se busca siempre en toda agua de riego que la proporción de los iones sodio sea semejante a la concentración total de los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , como no sucede así en la mayoría de los casos se pretende que la proporción de sodio no rebase ciertos límites. Existe una ecuación que establece una relación entre la concentración de iones  $\text{Na}^+$  con la  $\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}$  y se define de la siguiente forma:

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

En donde S.A.R. se define como relación de adsorción de sodio, las concentraciones de los iones están dados en equivalentes por millón. Los valores de S.A.R. van desde 0 a 31 y no tiene unidades, y se especifican con la tabla siguiente:

Intervalo de S.A.R.	Clasificación
0 - 10	Baja
10 - 18	Media
18 - 26	Alta
26 - 31	Muy Alta

Recomendaciones para análisis y su posible uso

Dentro del grupo bajo como contenido de sodio no existen problemas en la mayoría de los casos; solamente podrán presentarse inconvenientes en cultivos muy sensibles a este ión. La

segunda clasificación comprende las aguas de riego que contienen una concentración de iones sodio en término medio. Las sales disueltas pueden ser cloruros bicarbonatos y sulfatos -- principalmente; el exceso de estas sales produce una alcalinidad alta y dureza en los suelos presentando problemas de filtración; sobre todo en suelos arcillosos. El efecto de las sales mencionadas puede ser neutralizado con sulfato de calcio.

El tercer grupo abarca las aguas con alto contenido de sodio que es de gran peligro su acumulación en el suelo, son -- aconsejables en estos casos las aportaciones de materia orgánica y sulfato de calcio así como un buen drenaje en el terreno.

El último grupo incluye las aguas con contenidos de sodio muy elevados que solo es recomendable usarlos con muchas precauciones y solamente en determinados casos. Es también indispensable conocer en el agua de riego el contenido de boro y -- en base a su concentración tener ciertas precauciones en su uso; en concentraciones menores de 0.5 mg/l puede ser benéfico el uso de estas aguas, en concentraciones mayores es poco aconsejable su uso porque afecta el desarrollo de las plantas y es tóxico a la vida animal. Existen algunas especies que -- son tolerantes al contenido de boro en concentraciones mayores de 0.5 mg/l otras que son en grado mucho mayor y algunas -- que son muy sensibles. La presencia de este elemento en concentraciones mayores de 4 mg/l no es recomendable el uso de -- esas aguas aun teniendo las plantas un alto grado de toleran-

cia.

Las aguas de riego también pueden clasificarse según su contenido de carbonatos y bicarbonatos como: se especifica -- continuación

Calidad del agua	Conc. (Meq/l)
Buena	0 - 1.25
Regular	1.20 - 2.50
Mala	2.50

El contenido de carbonato y bicarbonato puede disminuirse por medio de una aereación para favorecer la precipitación de los bicarbonatos y aumentar el contenido de oxígeno. Los tratamientos anteriores se aplican a aguas procedentes de algunos pozos y estanques porque en algunos de ellos por la materia orgánica contenida, los microorganismos consumen el oxígeno. También pueden eliminarse los bicarbonatos agregándoles\_ fosfato potásico para provocar la formación de fosfato de calcio que es benéfico para el suelo.

Existen algunas aguas para riego con características ácidas que pueden tratarse antes de ser usadas haciéndolas pasar por bolsas que contengan cal, cenizas o escorias fosfatadas.

Algunos otros factores que también influyen en la calidad del agua son temperatura, contenido de berilio, fluoruros y otros de menor importancia. La temperatura óptima para el agua de riego, es de 28 - 30°C si es mayor debe de aerearse pa



ra su enfriamiento, si las temperaturas son muy bajas tienden a paralizarse las paredes rediculares de las plantas. El contenido de berilio no afecta la vida vegetal pero si la animal por esta razón las aguas deben poseer este elemento en muy bajas concentraciones.

## CAPITULO II

### Equipo y proceso para medición de escurrimiento y transporte del fluido

En el capítulo anterior se hizo énfasis sobre la importancia del agua en la agricultura, se habló también de las diferentes precipitaciones pluviales en todo el territorio nacional y de la calidad del agua de riego. En este segundo capítulo se hablará sobre el equipo y procedimiento necesarios para medir escurrimientos totales en una cuenca, con la finalidad de calcular la capacidad del estanque de almacenamiento para almacenar toda el agua escurrida en una temporada lluviosa o en su caso conocer los escurrimientos totales en un lugar determinado. También mencionaremos el equipo y proceso necesarios para la ampliación y construcción de una obra hidráulica. En zonas áridas y semiáridas, donde las precipitaciones pluviales son bajas es importante aprovechar toda el agua escurrida en una cuenca cualquiera.

#### Medidores de Nivel

En el estudio de cualquier proyecto hidráulico es indispensable estudiar la variación de flujo del caudal de la corriente natural donde se desee establecer una obra hidráulica cualquiera, con la finalidad de calcular el flujo total en un tiempo determinado y conocer los límites de la obra hidráulica que se proyecta. Antes de mencionar los medidores de caudal es muy útil conocer otra variable llamada nivel de referencia. El flujo de agua en una corriente natural (río, arroyo, riachuelo) presenta muchas variantes que dependen de la -

precipitación pluvial, temperatura ambiente, permeabilidad -- del terreno etc. El nivel de referencia en la creciente de un río arroyo etc.; se define como la elevación del agua en una estación medida por encima de un cero arbitrario como punto de partida. En el siguiente esquema se ilustra un corte transversal de un río con una escala en un nivel fijado.

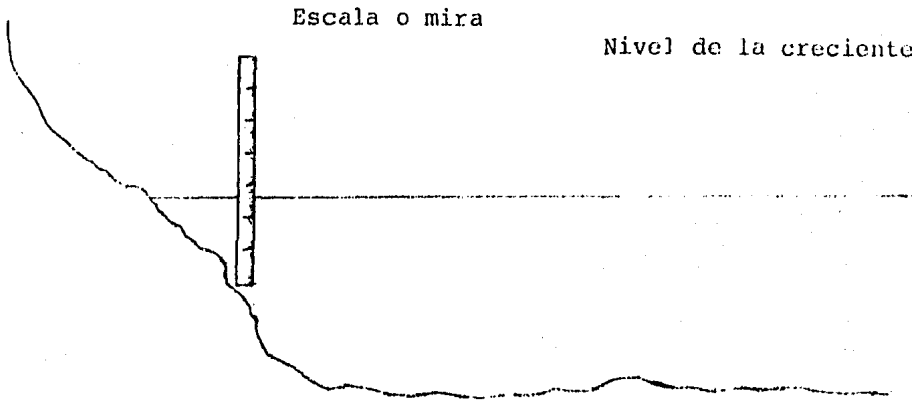


Fig. 2.1: Corte transversal de un río.

Existen ciertos instrumentos para medir el nivel de un -- río o corriente cualquiera conocidos con el nombre de limnime tros que consisten en unas miras o escalas seccionadas que se colocan en un cierto nivel como referencia. Para su uso la mi ra o escala graduada se coloca dentro del agua en el nivel de referencia seccionado; puede también pintarse la escala en -- una estructura tal como un puente o puede colocarse directa-- mente dentro del nivel seleccionado. El margen o escala puede

variar desde unos cuantos centímetros hasta dos o más metros, según sea la intensidad del caudal a medir. En la figura anterior se presenta una escala para con ella determinar el nivel de referencia.

Existen otros tipos de instrumentos que permiten registrar el nivel mediante un flotador y este último mueve un plumbín que nos indica el nivel del agua en la corriente; este tipo de medidores reciben el nombre de limnógrafos y los hay de diferentes clases. Para conocer la variación de nivel respecto al tiempo es necesario una carta de registro que nos marque en forma continua las elevaciones y caídas de las crecientes a través de un tiempo establecido ya sea semanal, mensual, bimestral etc. En la siguiente figura se puede observar una carta de registro para variaciones de nivel a través del tiempo.

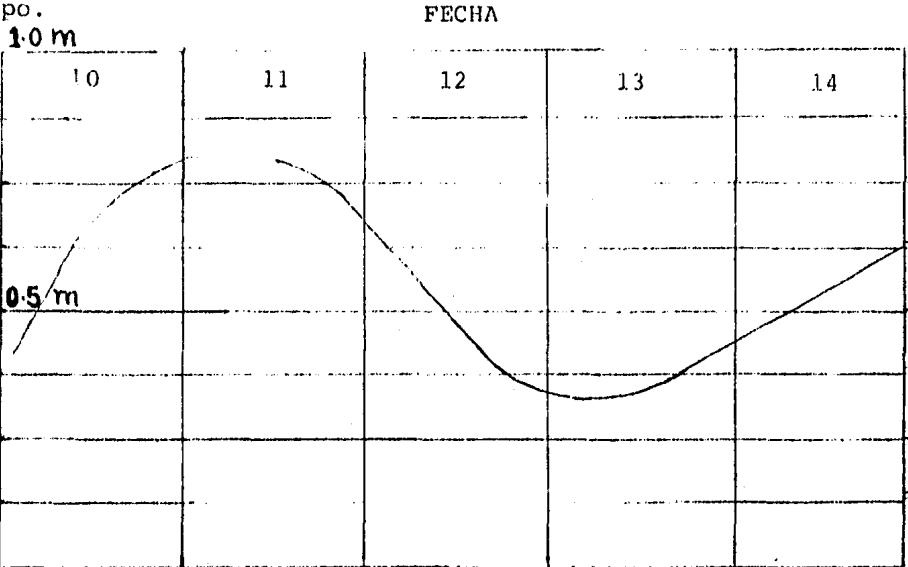


Fig. 2.2

Los limnómetros y limnógrafos pueden ser de varios tipos según la exactitud de la variación del caudal. Algunos de estos instrumentos transmiten la información sobre el nivel del agua por medio de señales que envían a los registradores a control remoto. Los limnógrafos se instalan en pozos de protección localizados a una cierta distancia de la corriente natural; tienen una conexión con el caudal que indica el nivel de la corriente. La protección sirve para evitar la acumulación de sólidos en suspensión que arrastra la corriente cuando las tormentas o lluvias son muy abundantes.

#### Medidores de flujo (de caudal)

Los medidores de flujo son instrumentos usados para medir velocidades puntuales en una corriente natural (río, arroyo etc.). En hidrología los aparatos usados para mediciones de flujo de caudal reciben el nombre de correntómetros; mediante estos instrumentos se determinan velocidades puntuales en varias secciones de la corriente, con las velocidades promedio de cada sección y el área transversal es posible conocer el flujo en  $U^3/\text{seg}$ .

Entre los tipos más conocidos para estas mediciones se encuentran dos: el correntómetro Price y el correntómetro de tipo de hélice.

El primero de ellos es el más comunmente utilizado (fig. 2.4) consiste en seis copas cónicas que giran sobre un eje

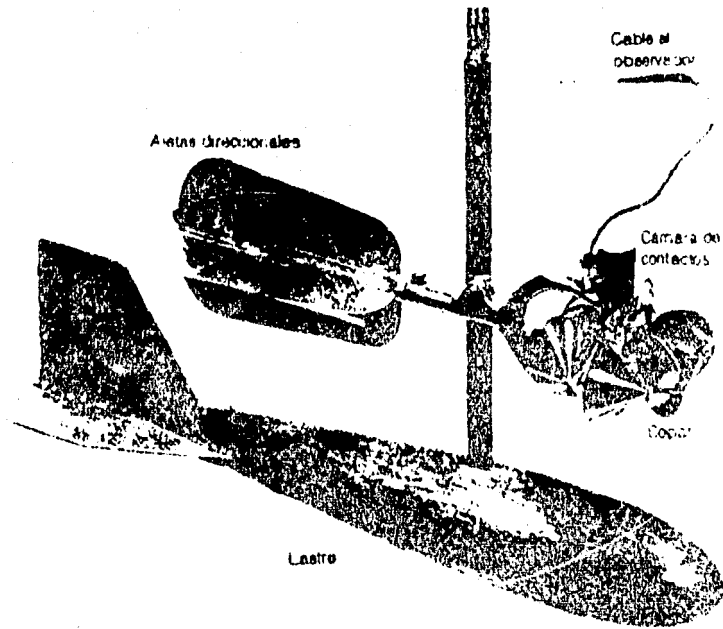


Fig. 2.4

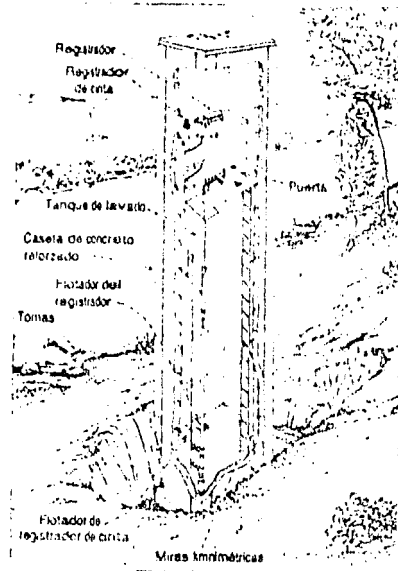


Fig. 2.3

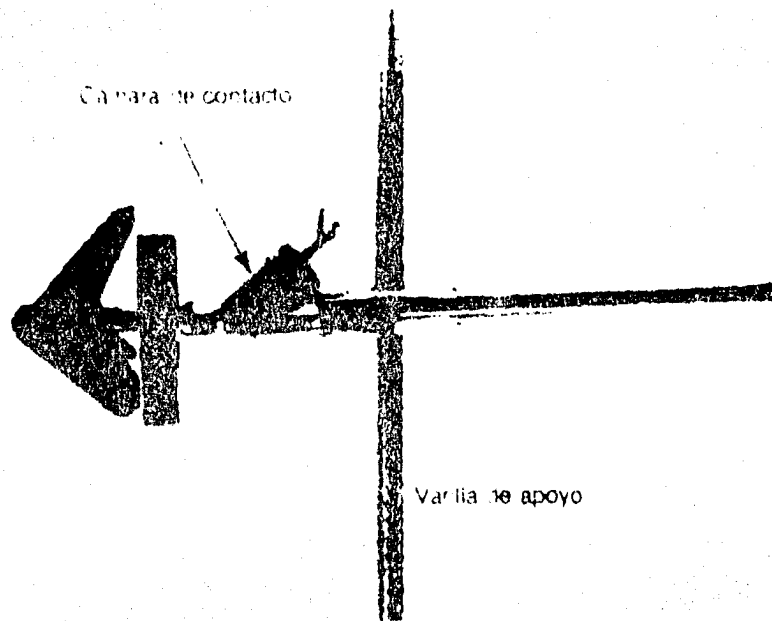


Fig. 2.5

vertical. Las seis copas accionan un circuito eléctrico a través de una batería y un alambre eléctrico que soporta el correntómetro produciéndose una señal por cada vuelta (o cada cinco vueltas que se trasmite a unos audífonos que tiene el operador). Estos tipos de aparatos pueden utilizarse para medir velocidades puntuales a diferentes profundidades suspendido en cables especiales. Existe otro modelo para medir velocidades puntuales en profundidades pequeñas y se le conoce como el correntómetro Price-Pigmeo.

Otros también muy usados son los del tipo de hélice (fig. 2.5), en estos instrumentos las hélices se usan como medio de rotación y al igual que en el caso anterior pone a funcionar un circuito eléctrico que por medio de señales enviadas se efectúan las mediciones de velocidad correspondientes. Una ventaja de él de eje vertical como lo es el correntómetro Price es que las balineras que sostienen al eje se pueden encerrar dentro de conos invertidos que están llenos de aire e impiden la entrada de agua cargada de sólidos suspendidos. En los correntómetros de hélice las balineras no pueden protegerse de la misma manera que en los de tipo Price.

Existe una ecuación que relaciona la velocidad del agua con la velocidad de la hélice y el número de revoluciones por segundo  $N$  y es la siguiente:

$$V = a + bn$$

$V$  = velocidad del agua

$a$  = Velocidad para vencer la fricción mecánica  
 $N$  = # de rev. por segundo  
 $b$  = Constante

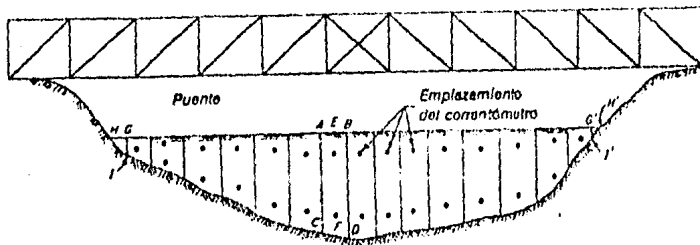


Cada correntómetro de tipo de hélice tendrá una velocidad de fricción diferente y una constante diferente; por esta razón antes de usar cualquiera de ellos será necesario su calibración. Para esta operación se usará algún vehículo que se mueva en agua a una velocidad constante o que rote alrededor de un pivote central en un tanque circular. Con los datos de velocidad es posible establecer una gráfica de diferentes velocidades a diferentes contactos por unidad de tiempo.

#### Mediciones de velocidad puntuales

Ya que se ha calibrado el aparato el siguiente paso a seguir es medir las velocidades puntuales en un caudal con el fin de calcular las velocidades promedio. Las áreas transversales multiplicadas por las velocidades promedio nos da el caudal promedio en  $U^3/\text{seg}$ , como el caudal varía constantemente las mediciones de velocidad puntual deben de efectuarse lo más rápido posible con el fin de obtener valores con un mínimo de error.

Existe un procedimiento por el cual se estima la variación de velocidades en una corriente. La siguiente figura especifica la variación de velocidades a diferentes profundidades.



Procedimiento para mediciones con correntómetro.

Fig. 2.6

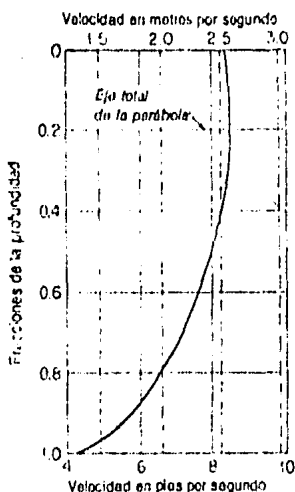


Fig. 2.7

El mencionado método consiste en dividir una corriente en varias secciones como se puede observar en la figura anterior; se divide con el fin de calcular la velocidad promedio en cada tramo; una vez que se ha dividido en un número determinado se procede a seguir la siguiente técnica:

- 1) Se mide la profundidad total del agua por medio de un cable.
- 2) Se levanta el correntómetro a 0.8 m de la profundidad y se mide la velocidad accionando el cronómetro y parándolo 45 seg después. Con el número de impulsos contados (tomando como cero el primero) y el tiempo recorrido permite el cálculo de la velocidad a partir de la curva de calibración.
- 3) El correntómetro se levanta 0.2 m de profundidad y se comienza con otra sección empezando el paso 2.

Existe un margen de error en las mediciones cuando las velocidades son demasiado altas, pueden existir ángulos de inclinación que cuando son grandes producen en las mediciones un porcentaje de error que posteriormente tenga que corregirse.

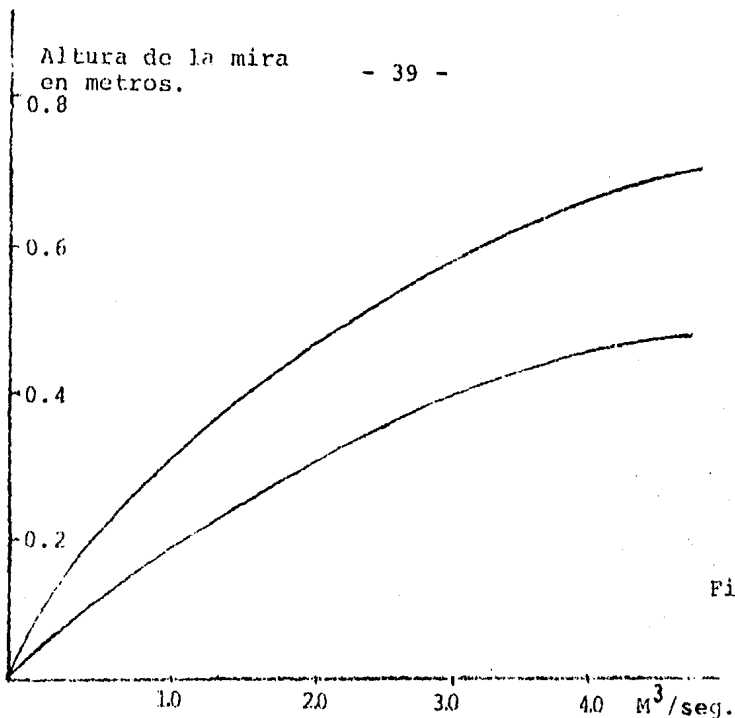
Una vez que se han determinado las velocidades puntuales, el caudal se calcula como indica el procedimiento siguiente:

- 1) Se determina la velocidad promedio en cada una de las secciones promediando velocidades a 0.2 y 0.8 m de profundidad.
- 2) Se multiplica la velocidad promedio por el área de la sección.
- 3) El último paso a seguir es sumar los incrementos de caudal y la descarga de las orillas se toma como cero.

Las mediciones anteriores se realizan desde un puente como sección de medición, en caso de no disponerse del mismo -- pueden realizarse con un bote aunque los resultados obtenidos no son muy satisfactorios. Un método mejor para el caso de no disponerse de un puente puede ser efectuar las mediciones desde un cable suspendido. Otros tipos de mediciones pueden hacerse con agentes químicos con resultados no muy exactos.

#### Relaciones nivel - caudal

Las mediciones periódicas de caudal y las observaciones de nivel nos proporcionan la información necesaria para construir las gráficas de nivel contra caudal como se ilustra en la figura siguiente :



Si el ducto natural de la corriente se ve alterado por se dimentos, la curva nivel-caudal queda totalmente alterada por lo que es necesario efectuar nuevas mediciones nivel-caudal para una nueva gráfica. Lo mismo ocurre si el ducto se altera por erosiones. En caso de una buena confiabilidad en la curva nivel-caudal la información leída en la gráfica sobre el flujo a diferentes niveles nos puede ser muy útil para la medición y variación del caudal en diferentes tiempos; con esta información pueden construirse hidrogramas que nos permiten obtener el cálculo de la cantidad total de agua pluvial escurrida que fluye en un tiempo determinado como lo veremos con mayor detalle más adelante.

En la Fig. 2.10 se tienen dos gráficas de nivel contra caudal para dos diferentes niveles de referencia mientras

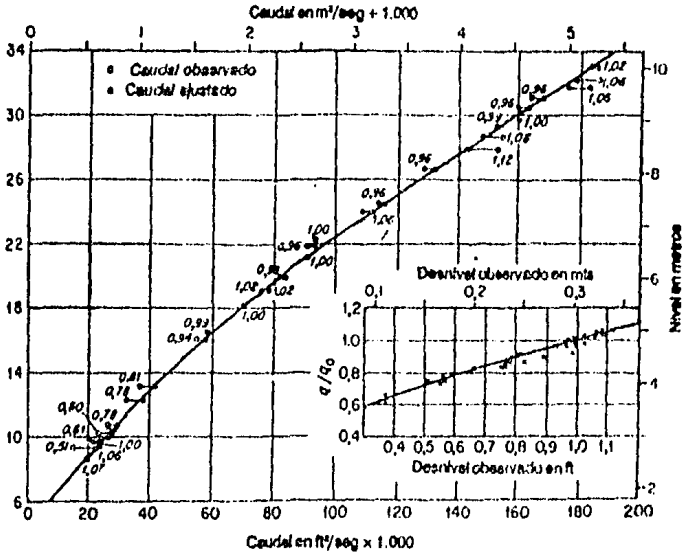


Fig. 3.10 a.

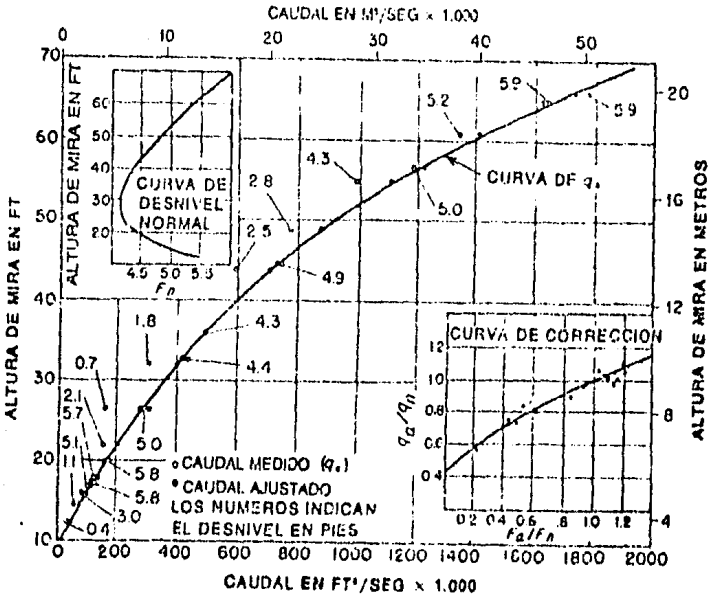


Fig. 3.10 b

que en la figura 2.9 son tan sólo dos curvas parabólicas ajustadas a un solo nivel cada una.

En las mediciones de caudal raramente se observará un flujo constante es decir existe una continua variación que depende de la precipitación pluvial. El flujo en  $U^3/\text{seg}$  se relaciona con el área transversal y el nivel de la corriente de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\frac{q}{q_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^m = \left(\frac{F}{F_0}\right)^k$$

En donde  $q$  representa el flujo en  $U^3/\text{seg}$ ,  $s$  es la pendiente del caudal y  $F$  la dif. de alturas de dos miras del agua de la corriente;  $m$  y  $k$  son exponentes cuyo valor es mayor que cero y menor que 1. El flujo en el sistema métrico decimal se mide en  $M^3/s$ . Se muestran anteriormente unas gráficas de nivel contra caudal para dos ejemplos de ríos de E.U. en la primera la variación de  $F$  es pequeña mientras que en la segunda es mucho mayor. Se disponen de dos gráficas auxiliares para determinar el valor de  $q$  a un determinado nivel. La forma de leer las gráficas se explica ampliamente en el párrafo que se encuentra en la página siguiente.

En la primera de ellas la variación de  $F$  es menor que en la segunda; el procedimiento para determinar un valor de  $q$  a un nivel determinado es como sigue:

Se conoce primero la relación  $q/q_0$  que multiplicada por  $q_0$  se obtiene  $q$ .  $F_0$  y  $q_0$  son valores constantes de referencia.

Para calcular el valor de  $Q_n$  en el caso de la segunda gráfica se sigue una secuencia de varios pasos de la siguiente manera:

- 1) Se lee en cada curva el desnivel normal de  $F_n$
- 2) Se obtiene el valor de  $F_a$
- 3) Con  $F_a$  y  $F_n$  se calcula  $F_a/F_n$
- 4) Se encuentra el valor  $Q_a/Q_n$
- 5) Se multiplica  $Q_a/Q_n$  por  $Q_n$  para obtener  $Q_a$

El valor de  $Q_n$  se obtiene gráficamente conociendo la altura de la mira.

#### Ecuaciones de flujo

Las ecuaciones de las curvas de calibración pueden ser determinadas en una forma aproximada; generalmente son de tipo parabólico:

$$q = K (g-a)^b$$

$q$  = Gasto del caudal en  $m^3/seg$

$g$  = nivel de la creciente

$a$ ,  $b$  y  $k$  son constantes para la estación lluviosa;  $a$  es una distancia fija entre la elevación cero de la mira y la elevación para un caudal cero.

Existe otra forma para extrapolar curvas de calibración - está basada en la fórmula de Chezy ; que se muestra en la página siguiente

A = Area de la sección

R = Radio hidráulico

C = Coef. de rugosidad

S = pendiente de la creciente

$$q = AC \sqrt{RS}$$

Un último método para calcular gastos de caudal se hace por medio de la fórmula de Chezy-Manning

$$q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

A = Area de la sección transversal

R = Radio hidráulico

n = Coef. de rugosidad

S = pendiente de la Sup del agua

El coeficiente de rugosidad en corrientes naturales es de 0.035, el área se determina como ya quedó especificado. El coef. de 1 se usa para unidades inglesas y 1.49 para unidades del sistema métrico.

Métodos de cálculo de escurrimiento total en una corriente natural.

El flujo en una corriente natural depende de la intensidad de la tormenta o aguacero, una parte se deposita en como retención subsuperficial, otra forma corrientes inmediatas que aumenta el caudal de arroyos, ríos y otra se evapora. El agua que más interesa para nuestro estudio es el agua que escurre y forma corrientes naturales en épocas de lluvias y que durante las tormentas hacen subir momentaneamente caudales de riachuelos arroyos y ríos. Existe un método para determinar -



la cantidad total de agua que fluye en una corriente y se basa en cálculos por medio de una gráfica el volumen total de agua escurrida en un lapso de tiempo. Este tipo de gráficas recibe el nombre de hidrogramas. Para su construcción se requieren datos sobre variación continua del nivel de caudal en un período de tiempo, para ello es indispensable colocar en el ducto natural los registradores continuos de nivel. Con los datos sobre variación de nivel se puede determinar el caudal en cualquiera de los tiempos transcurridos, por medio de las curvas de nivel contra caudal; con el conjunto de valores conocidos se construye la gráfica de tasa de flujo contra tiempo. En el diagrama de la fig. 2.10 se ejemplifica un hidrograma de una corriente natural para tres tormentas consecutivas. En el eje vertical se encuentra la escala de valores de los diferentes flujos según la precipitación pluvial; los picos de la gráfica indican el flujo máximo por la precipitación

El eje horizontal especifica el lapso de tiempo entre cada tormenta.

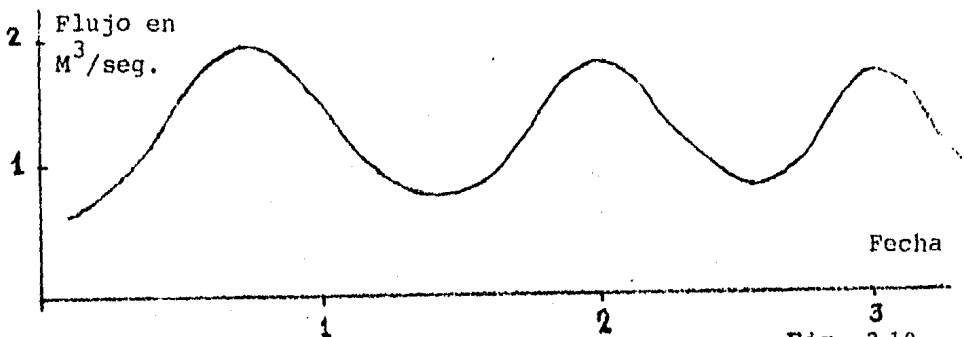


Fig. 2.10

Si se mide el área bajo la curva se obtiene el volumen total de agua que fluye en la corriente en un intervalo de tiempo. En los picos de la gráfica se encuentra el flujo máximo, conforme disminuye a medida que cesa lentamente o de una manera repentina la tormenta. El área total de la gráfica bajo la curva en un margen de tiempo representa el escurrimiento total. No puede hablarse de un flujo constante en una corriente natural debido a que existen muchas variaciones meteorológicas que la alteran.

#### Análisis y clasificación de hidrogramas

En un hidrograma cualquiera se distinguen tres corrientes componentes:

La primera de ellas (sup #1) el flujo por escurrimiento de agua subterránea originada por un manantial natural.

La segunda es el flujo de la corriente por escurrimiento sub-superficial (área # 2)

Finalmente la tercera representa el escurrimiento superficial y es la más abundante (superficie # 3)

En la figura siguiente se especifican los tres elementos que componen el hidrograma. Con las áreas # 1, 2 y 3 se representan las corrientes de flujo originadas por el manantial y los escurrimientos provocados por períodos lluviosos.

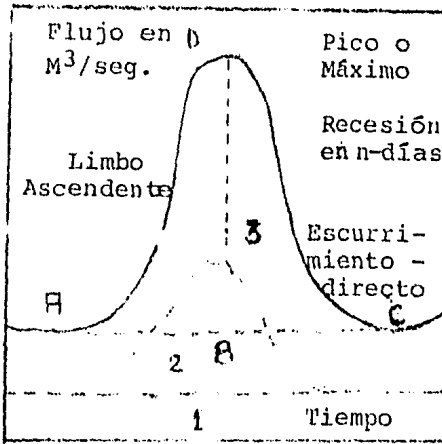


Fig. 2.11 Flujo contra tiempo

Si se desea calcular la cantidad total de agua que escurre debido a una tormenta o aguaceero debe restarse en el hidrograma la cantidad total de agua que fluye debido a un manantial natural que suele ser aproximadamente constante o presenta pocas variaciones.

En la figura se ilustra el aumento de nivel del caudal en una corriente ocasionada por los tres componentes. En la parte inferior de la curva antes de iniciarse el crecimiento repentino del caudal tenemos el flujo de un manantial (número 1) que es aproximadamente constante; al comenzar a subir el caudal de una manera repentina la corriente recibe agua por escurrimiento superficial y subsuperficial (# 2 y 3) conforme pasa un cierto tiempo el escurrimiento superficial hace que la corriente alcance un caudal máximo para posteriormente iniciar el período de recesión; durante este lapso el agua por escurrimiento superficial cesa para escurrir únicamente agua subsuperficial y del manantial natural. En el pico del hidrograma se alcanza el flujo máximo. Analizando las gráficas podemos sacar los resultados que representan cada parte de la gráfica y algunas áreas. El área ABCD representa toda el agua escurrida en la cuenca drenada; como se observa el escurrimiento total tarda algunos días. El tiempo de drenado en el área

desde que comienza la recesión varía dependiendo del área de la cuenca drenada y de los escurrimientos subsuperficiales. - Existe una ecuación que nos permite calcular el tiempo de drenado en forma aproximada:

$$N = Ad^{0.2}$$

N = Período de escurrimientos en días

Ad = Área de la cuenca, m<sup>2</sup> , Km<sup>2</sup>

Se puede establecer un balance hídrico en una área cualquiera entre el volumen del área escurrida, precipitación pluvial, agua de realimentación a la cuenca y la cantidad de agua en la zona de saturación.

$$R = P - L - G$$

R = Cantidad de agua escurrida (mm agua o m<sup>3</sup>)

P = Precipitación pluvial (mm de agua o m<sup>3</sup>)

L = Agua de realimentación a la cuenca (mm o m<sup>3</sup>)

G = Agua en la zona de saturación (mm o m<sup>3</sup>)

El valor de R puede calcularse como se describió a principio del capítulo mediante medidores de nivel y correntómetros en la corriente natural de drenaje de la cuenca. En hidrograma anterior está representada por el área A.BCD.

La precipitación pluvial se determina con pluviógrafos como ya se describió en el primer capítulo.

El valor de L representa el agua evaporada en la cuenca; al igual que la transpirada y existen unos instrumentos especia-

les llamados evaporímetros para su medición.

El valor de G puede obtenerse conocidos los valores de -- las demás variables.,

#### Coefficientes de escurrimientos

Se puede establecer también una ecuación entre la precipitación pluvial y el agua escurrida partiendo de la consideración de que la precipitación pluvial es directamente proporcional al escurrimiento

$$R \propto P$$

Podemos establecer una igualdad en la ecuación anterior

$$R = KP$$

El valor de K se determinará en forma experimental se aproxima a la unidad para superficies muy impermeables. Su valor estará siempre entre 0 y 1 dependiendo de las características de la cuenca, evaporaciones etc.

#### Vasos de almacenamiento

En páginas anteriores se estudió el escurrimiento superficial del agua en una corriente natural cualquiera juntamente con sus variables más importantes; el objetivo del estudio de sus variables es con el fin de estimar el flujo total de agua en una corriente natural en una temporada lluviosa. La información necesaria para la estimación total del agua es un pe--

río de tiempo es la siguiente:

- 1 - Conocimiento del área de drenaje de una corriente cualquiera.
- 2 - Curvas de relación nivel-caudal
- 3 - Cartas de registro continuo sobre variación de nivel
- 4 - Hidrogramas de todas las tormentas, períodos lluviosos y aguaceros de cinco o más años consecutivos.

Para obtener la información mencionada ya se ha seguido un largo proceso como se describe paso a paso en este capítulo. Con la información ya descrita se estiman volúmenes totales de flujo anuales promedio y de esta forma se pueden diseñar los vasos necesarios para su almacenamiento total, pues en zonas áridas es indispensable el aprovechamiento total del agua escurrida. Para alimentar algunos de los vasos será necesario la instalación de sistemas de bombeo; con el proceso que se describirá más detalladamente se eliminan arenas y polvos en suspensión que pueda llevar el agua bombeada. Los usos posteriores pueden ser para irrigación pero también el líquido almacenado puede ser tratado y potabilizarse para usos de pueblos o ciudades pues la demanda es cada vez mayor. En este trabajo nos enfocaremos más al uso del agua en agricultura con el equipo necesario para un buen rendimiento.

#### Cálculo del volumen de escurrimiento anual

En el cálculo del volumen anual se sigue el siguiente pro

cedimiento:

- 1- Obtención de las curvas nivel-caudal de la corriente natural
- 2- Coleccionar todas las cartas de registro
- 3- Elaboración de los hidrogramas de las corrientes durante todo el período lluvioso.
- 4- Medición del área bajo las curvas de todos los hidrogramas de las crecientes.
- 5- Suma de todas las áreas de los hidrogramas y obtener su equivalencia de agua escurrida.

El procedimiento antes mencionado se realiza durante 5 ó más años consecutivos con el fin de obtener volúmenes de agua pluvial escurrida promedio, y los volúmenes de los vasos sean más precisos.

Diferencias entre las presas tradicionales y los sistemas propuestos: Los criterios que se siguen tradicionalmente en la construcción de un vaso de almacenamiento para irrigación es la existencia de una corriente natural, baja permeabilidad en el terreno, que haya un vaso natural y buenos rendimientos del agua. La diferencia que existe entre los sistemas propuestos y las presas en cauces naturales consiste en el tratamiento previo del agua antes de ser almacenada; con el tratamiento se eliminan en gran parte los sólidos en suspensión. En las presas los sólidos (en suspensión) agotan progresivamente la capacidad del vaso, que en unos casos es lento, mientras que

en otros más rápido, dependiendo de las pendientes del área de drenaje tipos de suelos etc. Con los sólidos en suspensión la finalidad de todo vaso es el azolvamiento de su capacidad.

El agua natural que escurre al caer una lluvia intensa -- arrastra sólidos del suelo que la hacen tener una cierta turbidez; estos sólidos son arenas y cierta cantidad de polvos finos por esta razón es importante darle un previo tratamiento antes de depositarse en un estanque artificial. El primer paso a seguir es depositar las arenas y polvos finos en una presa artificial que variará su capacidad en base al escurrimiento total de una tormenta de mayor intensidad en la cuenca del lugar durante el período de lluvias. En el diseño del depósito de sedimentos se tomarán en cuenta el número de tormentas en la temporada lluviosa, el escurrimiento mayor alcanzado y los hidrogramas de 5 ó más años consecutivos con la finalidad de conocer el volumen escurrido en la tormenta de mayor intensidad. Con esta base y con la cantidad total de sólidos en suspensión anuales arrastrados por la corriente se recurre a un ingeniero civil para el diseño de los vasos de almacenamiento en los cuales se depositará el agua escurrida en toda una temporada lluviosa. En caso de contarse con una estación pluviométrica en el lugar se tiene bastante información sobre tormentas.

En sitios donde ya existe una presa construida puede tomarse el vaso como depósito de sedimentos e instalarse el --



equipo necesario para el transporte del agua del exceso de su capacidad a depósitos de almacenamiento ya diseñados y construidos mediante un previo balance hídrico. Con este procedimiento el agua escurrida durante los períodos lluviosos puede tener un aprovechamiento óptimo. En la construcción de los depósitos de almacenamiento es necesario igualmente recurrir al ingeniero civil quién seleccionará el mejor sitio posible.

Una manera de proteger los vasos de sedimentos es cubriendo los alrededores con capas de vegetación, para ello es muy útil la asesoría de agrónomos especializados en el área de conservación de suelos.

#### Selección del sitio para vasos de almacenamiento y de sedimentación

Entre las muchas variantes sobre los sitios más adecuados para los vasos de almacenamiento y de depósitos (sedimentos) se mencionan a continuación:

- 1.- La cantidad de terreno ocupada sea mínima
- 2.- El vaso debe poseer una buena profundidad con óptima capacidad para que la energía solar recibida sea mínima y en consecuencia las pérdidas por evaporación sean pequeñas.
- 3.- Distancias lo más cortas posibles entre los depósitos con el fin de reducir costos de bombeo y equipo.
- 4.- Evitar áreas que produzcan mucho azolve
- 5.- Elegir los vasos de almacenamiento en lugares donde no se

contamine mucho el agua con exceso de sales o sustancias tóxicas.

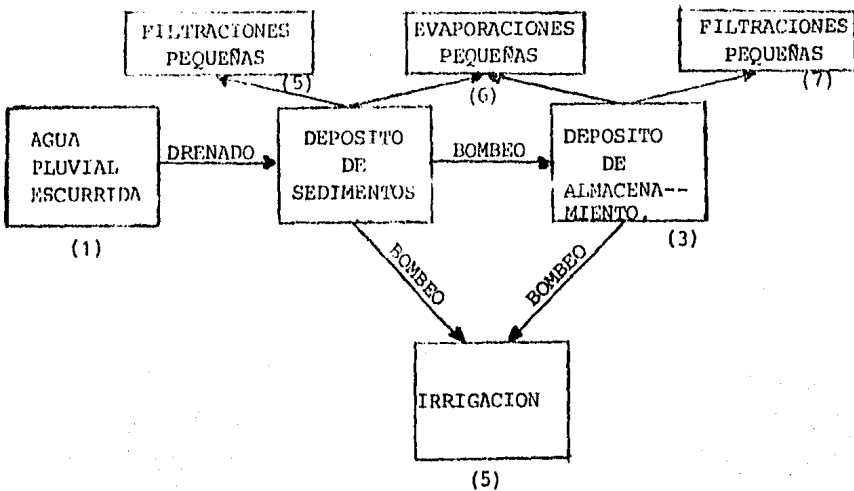
6.- Evitar fugas por agrietamiento del terreno

7.- Baja permeabilidad en los suelos de los depósitos.

Los lugares que satisfagan las normas mencionadas se eligen como depósitos de sedimentos y almacenamientos; como en la realidad es difícil satisfacer cabalmente los requisitos mencionados se busca al menos los mejores sitios que cumplan mejor con los requerimientos anteriores.

Equipo y proceso necesario para el transporte, almacenamiento e irrigación del agua pluvial escurrida

El agua pluvial escurrida superficialmente y subsuperficialmente en el ciclo hidrológico para ser usada como agua de irrigación es sometida al siguiente proceso:



En el esquema anterior el cuadro número uno representa el agua pluvial que escurre en una tormenta aguacero o lluvia; - en una cuenca cualquiera; al fluir momentaneamente hace subir los caudales de las corrientes naturales, otra parte del agua escurre más lentamente y alimenta también los caudales de las corrientes naturales. Mediante el drenado, el escurrimiento fluye al depósito de sedimentos (2) arrastrando arenas y sólidos en suspensión que le dan cierta turbidez. En el depósito de sedimentos (2) se eliminan mediante decantación - - ciertas arenas y polvos finos quedando en algunas cantidades de lodos, en el primer depósito. El vaso de sedimentación consiste en una presa construida sobre la corriente natural con capacidad que puede equivaler a los escurrimientos de la tormenta de mayor intensidad; de ella puede bombearse agua para irrigación en época de sequía o fluir por gravedad según la localización del predio que se desee regar. El agua del depósito de sedimentos puede bombearse al depósito de almacenamiento; en algunos casos podrá establecerse un flujo por medio de un canal y fluir por gravedad, para el caso de un bombeo hablaremos más adelante sobre las bases de diseño. En ambos depósitos ocurren pérdidas por evaporación y filtraciones pequeñas (5,6,7) ya que existe un poco de permeabilidad en los depósitos. Para evitar que las pérdidas por evaporación sean grandes (6) se ha tomado ya en consideración que el área de los depósitos sea pequeña y de la mayor profundidad posible para que la energía solar recibida sea en la menor -

--cantidad. En el momento de usar el agua para irrigación --  
(4) se hará uso nuevamente del sistema de bombeo unido a una\_  
red de tuberías que pueden ser para riego de goteo o asper- -  
sión según convenga más al cultivo de que se trate.

#### Bases para el diseño del sistema de bombeo

Antes de proceder al diseño del sistema de bombeo es in--  
dispensable conocer los escurrimientos totales en la corrien-  
te natural en la cual se iniciará el almacenamiento por bom--  
beo. Anteriormente se habló sobre el proceso seguido para la  
medición de escurrimientos totales, para ello se cuenta con -  
los hidrogramas de las temporadas lluviosas de los últimos 5\_  
ó más años consecutivos para estimar escurrimientos anuales -  
promedio. Los datos de escurrimiento totales proporcionan un\_  
criterio para el diseño de los depósitos de almacenamiento y  
de sedimentación cuando se desca un almacenamiento total, en  
el caso en el que solamente se desee almacenar una pequeña --  
cantidad de los escurrimientos totales no se requerirán capa-  
cidades gigantescas en los depósitos de sedimentación y alma-  
cenamiento.

Para un almacenamiento total del agua escurrida en una corrient  
te se seguirán los siguientes pasos:

- 1.- Medición de los escurrimientos totales anuales de cinco -  
o más años consecutivos
- 2.- Estimación del volumen anual promedio de escurrimiento

- 3.- Hidrogramas de las tormentas de mayor intensidad
- 4.- Medición de los escurrimientos de las tormentas anteriores
- 5.- Cálculo del escurrimiento promedio de las tormentas más intensas en  $m^3$ .
- 6.- Diseño de la capacidad del depósito de sedimentación con el dato anterior.
- 7.- Diseño del depósito de almacenamiento en base a los escurrimientos totales.
- 8.- Cálculo de la capacidad del sistema de bombeo

En los pasos anteriores solamente en dos de ellos se recurre a un ingeniero civil que son el seis y el siete.

El último de ellos puede o no consultarse según sea el caso de hacer llegar el agua al depósito de almacenamiento. En zonas áridas de nuestro país ocurren la mayor intensidad de lluvias en los meses de julio y agosto en los meses de junio, septiembre y octubre existen menos probabilidades de lluvias o tormentas intensas. Para el diseño del sistema de bombeo se considerará que un 80% o más de los escurrimientos ocurren en estos meses. En caso de hacer llegar el agua por canales del depósito de sedimentos al de almacenamiento no es necesario el bombeo. En el diseño de la tubería y la bomba; se seguirá el procedimiento siguiente:

1 - Se calcula la cantidad de agua que se bombeará en el período de los meses de julio y agosto que es de 62 días, para

ello se sugiere recurrir a los hidrogramas y estimar valores promedio

2 - Se divide el volumen total entre 62 para conocer el gasto por día a bombear

3 - Medición de la longitud entre los dos depósitos, altura de uno con respecto al otro.

4 - Se efectúa un balance de materia y energía con el fin de calcular la potencia de la bomba o bombas requeridas.

5 - Se le asigna a la bomba un 50% más de diseño en su potencia por las alteraciones pluviométricas en años muy lluviosos, si se desea un almacenamiento total.

El tipo de bomba a usar se recomienda sea de motor de combustión interna; aunque en algunos lugares podrá usarse bombas de motor eléctrico. Las bombas centrífugas son muy recomendables para bombear agua y presenta muchas ventajas su uso; ejemplo de ellas son: su bajo costo inicial, simplicidad en su diseño, costos de mantenimiento bajos y flexibilidad en su aplicación. Con este tipo de bombas pueden bombearse desde cantidades pequeñas como pueden unos cuantos litros por minuto hasta cantidades muy considerables como son 2,028000 litros por minuto en alturas hasta de 95 m. En muchos lugares existirá el problema de la falta de corriente eléctrica por esa razón se ha sugerido el uso de bombas de motor de combustión interna. El impulsor deberá ser inatascable es decir debe poseer amplios espacios para evitar que algunos polvos finos y materiales fibrosos que existan en el agua obstruyan el

flujo. Otro tipo de impulsor que también es recomendable es el impulsor abierto que permite el paso de algunos sólidos.

Otros factores a considerar en el diseño de la bomba o bombas necesarias son las caídas de presión en todo el sistema de riego por goteo, por esta razón al final del último capítulo se hablará ampliamente de todas las variables de diseño. Las bombas a diseñar tendrán dos funciones: La primera de ellas será bombear agua en los meses de julio y agosto principalmente al vaso de almacenamiento y la segunda hacer llegar el agua a los cultivos a través del sistema gota a gota durante la temporada de sequía.

Hemos mencionado el procedimiento para el cálculo de la capacidad de los vasos de almacenamiento y sedimentación para un almacenamiento total, pero aun falta especificar el caso de un almacenamiento parcial de los escurrimientos totales de una corriente. El procedimiento a seguir es exactamente el mismo con la diferencia de que se suprimirán algunos de los pasos anteriores. Entre los pasos que no son necesarios son: la medición total de escurrimientos, estimación del volumen anual promedio, volumen escurrido en tormentas intensas, diseño de capacidad del depósito de sedimentos en base a los escurrimientos de tormentas intensas. Pueden resumirse en los pasos siguientes:

1. Diseño de la capacidad del depósito de almacenamiento
2. Diseño del depósito de sedimentos para eliminar parcialmente sólidos en suspensión y arenas.

3. Con la capacidad del depósito de almacenamiento se calcula la cantidad de agua a bombear en 62 días
4. Medición de las distancias entre los dos depósitos así como su diferencia de alturas.
5. Balance de materia y energía con los datos anteriores
6. Asignación de un 50% más de su diseño por las variaciones de caudal.

Con las especificaciones anteriores y las caídas de presión totales en el sistema de riego por goteo se diseña la capacidad y potencia de la bomba como se hará en el último capítulo.



### Capítulo III

#### El Sistema de Riego por Goteo

Entre los sistemas tradicionales de suministro de agua a las plantas que el hombre ha usado desde hace 5000 años existe un considerable desperdicio debido a que las plantas únicamente aprovechan del 30-60% del agua que se les suministra. En lugares áridos y semiáridos donde la escasez de agua es muy frecuente el buen rendimiento del vital líquido es de enorme importancia; por esta razón se han desarrollado nuevas técnicas de suministro del agua a las plantas que permitan mayores rendimientos. Entre los sistemas de desarrollo más reciente que hacen uso de equipo y que proporcionan rendimientos satisfactorios se encuentran: el riego por aspersión, el de goteo y subterráneo; de los tres el que más nos interesa en nuestro estudio es el sistema de riego por goteo que proporciona rendimientos sorprendentes en el uso del agua.

El sistema de riego por goteo fue observado accidentalmente hace más de 40 años por el ingeniero israelita Symcha Blas quien distinguió que el crecimiento de un árbol cercano a un grifo que goteaba era mucho más frondoso que el crecimiento de los árboles no alcanzados por el agua del grifo. Blas sabía que los métodos tradicionales desperdiciaban agua en grandes cantidades por lo cual el ejemplo observado le sirvió para idear una técnica de riego que suministrara el compuesto a las plantas en cantidades pequeñas e intervalos frecuentes --

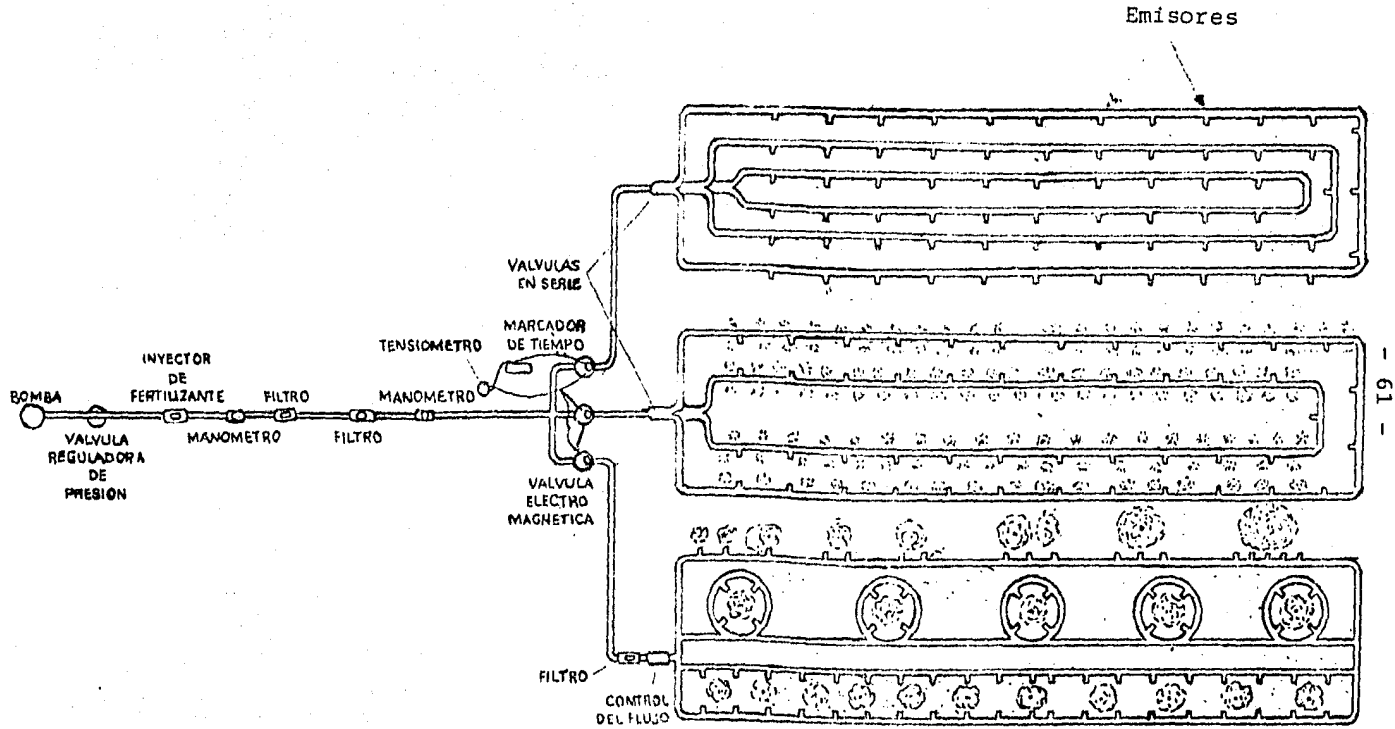


Fig. 3.1 ESQUEMA DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

con óptimos resultados. La técnica consiste en una red de tubos de plástico (polietileno principalmente) conectados a una tubería principal, colocados cerca de una hilera de cultivos que suministran cantidades pequeñas y constantes de agua en intervalos frecuentes de tiempo. En esta forma nació el sistema de riego por goteo que tan buena aceptación ha tenido en todo el mundo sobre todo en zonas áridas y donde la mano de obra es muy costosa.

La cantidad de mangueras dependerá básicamente de los cultivos que se tengan en el predio agrícola; de igual manera el número de emisores estará en función de los mismos. Existen varios tipos de emisores que se han desarrollado y perfeccionado paralelamente al perfeccionamiento del riego por goteo; se describirán detalladamente más adelante, En la figura 3.1 se muestra un esquema sobre el sistema de riego por goteo.

#### Ventajas y desventajas de este sistema

El sistema de riego por goteo ofrece excelentes ventajas a saber:

- 1- Se obtienen rendimientos hasta de un 70% con respecto a otros métodos de irrigación.
- 2- Nivel de humedad ideal y en consecuencia la fotosíntesis se realiza en óptimas condiciones.
- 3- Grandes ahorros del agua y reducción al mínimo de las pérdidas por evaporación filtración y escurrimiento.

- 4- Se puede utilizar todo tipo de suelos sin problemas de erosión.
- 5- Funciona en todos los climas y preferentemente en los áridos y semiáridos.
- 6- No existe interferencia de los vientos como sucede con el riego por aspersión.
- 7- Fácil control de las hierbas además de disminuir el suministro de agroquímicos.
- 8- Ahorro de mano de obra por su cómodo manejo de equipo.
- 9- Fertilización simultánea de las plantas y aprovechamiento óptimo de los fertilizantes al aplicarlos disueltos.
- 10- Evita la asfixia radicular en las plantas y se aprovechan las aguas muy salinas.
- 11- Mejor calidad en frutos y más precoces.

El sistema de riego gota a gota también tiene sus desventajas como cualquier otro como se enumeran de la siguiente manera:

1. Alto costo de inversión inicial según la extensión a cultivar.
2. Equipos de alta calidad para que resistan todas las condiciones ambientales.
3. Vigilancia constante para evitar irregularidades.
4. Problemas de obturación en goteros por sales mal disueltas o algunos sólidos en suspensión.
5. Algunos inconvenientes en la aplicación de fertilizantes -

de mediana o poca solubilidad.

6. Proliferación de algunas plagas y enfermedades.
7. Dificultades en el uso de aguas turbias por el tratamiento que requieren.
8. Elaboración de proyectos para hacer llegar a la planta la misma cantidad de agua, al mismo tiempo que se necesita una buena filtración.
9. La proliferación de algunas algas obtura frecuentemente los emisores.
10. Problemas de anclaje de la planta por concentrarse las raíces en un solo lado.
11. Disturbios ocasionados por roedores en el equipo.

En sus comienzos de aplicación de este sistema se presentaban serias dificultades entre ellas la obturación en los orificios por los que se suministraba el agua; otro serio problema era los altos costos de tuberías razón por la cual fue necesario esperar que la industria del plástico se desarrollara para que los costos se redujeran considerablemente. Entre los materiales más usados para mangueras son dos principalmente el polietileno y el cloruro de polivinilo, este último tiene la desventaja de degradarse rápidamente con la luz solar por esta razón las tuberías y mangueras no deben de estar expuestas a la intemperie; las mangueras usadas para el riego por goteo deben de ir enterradas. El polietileno posee mejores propiedades tales como ser inerte a los ácidos y bases fuertes y no degradarse tan fácilmente como el P.V.C., este

polímero se usa también para moldear goteros, accesorios y tuberías. Existen polietilenos de diferentes densidades y sus usos son para darle a las tuberías y accesorios mayor o menor rigidez; cada fabricante podrá darle al polietileno la densidad deseada y el negro de humo le da mayor intemperismo, por esta razón las tuberías y accesorios se mezclan con este constituyente.

#### Equipo utilizado en el sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo se caracteriza por las bajas presiones con las que trabaja el equipo; el intervalo de presión varía de 0.2 a 2 atm, pueden existir variaciones de presión ya sea que las mangueras se encuentren al mismo nivel de la bomba o en uno menor. La presión en el sistema variará según la cantidad de emisores, al aumentar el número de emisores la presión disminuye en caso contrario si el número de emisores disminuye la presión interna será mayor.

El sistema puede dividirse en tres partes:

1. Unidad de control
2. Ramas principales
3. Sistema de redes laterales

La unidad de control está formada del siguiente equipo:

- a) Bomba central que se coloca en la parte más alta del terreno con sus elementos y conectada al tanque de almacenamiento

to de agua; puede prescindirse de ella si el tanque tiene la altura conveniente (Fig. 3.1a).

b) Tubo de conducción central; se encuentra conectado a la bomba y al depósito de agua (Fig. 3.1b).

c) Depósito del agua: varía su volumen según los requerimientos del cultivo

d) Filtros según la cantidad de sólidos en suspensión o materia orgánica disuelta, para el caso de agua pluvial se recomiendan filtros de arena.

e) Medidor de volumen de agua

f) Manómetro para medir variaciones de presión

g) Rompedor de vacío que evite los cambios internos de presión que alterarían los flujos constantes y medidas.

h) Válvulas de retención de bola que controla la salida a los ramales.

i) Tanques para fertilizantes disueltos cuyo volumen puede ser 25, 50 ó 100 litros según los requerimientos.

En la unidad de control salen los ramales principales de plástico (polietileno negro) que se encargan de distribuir los ramales laterales en los cultivos. Sus diámetros varían entre 25 y 50 mm según el tipo de cultivo, tamaño, forma y características del predio.

En los ramales principales se acoplan las demás líneas de la red cuyo diámetro varía entre 6.0 y 16 mm su diámetro estará en función de las caídas de presión y tipos de emisores

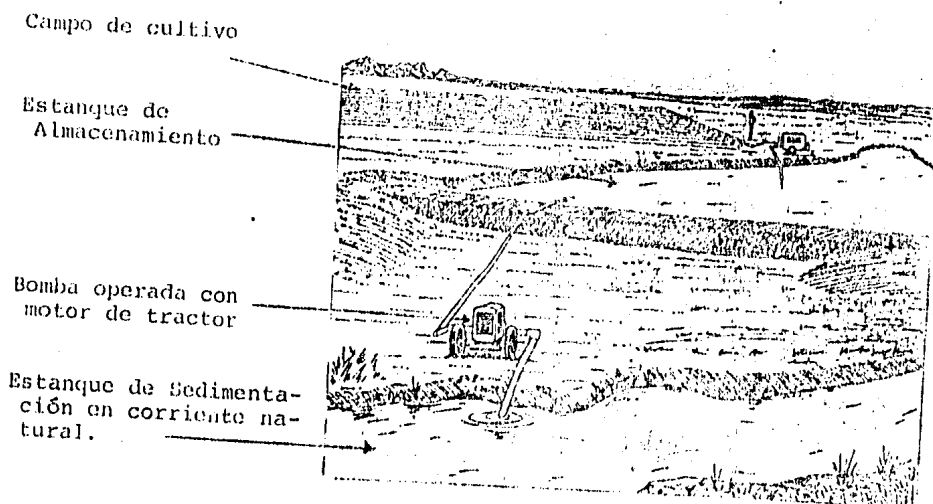


Fig. 3.1a

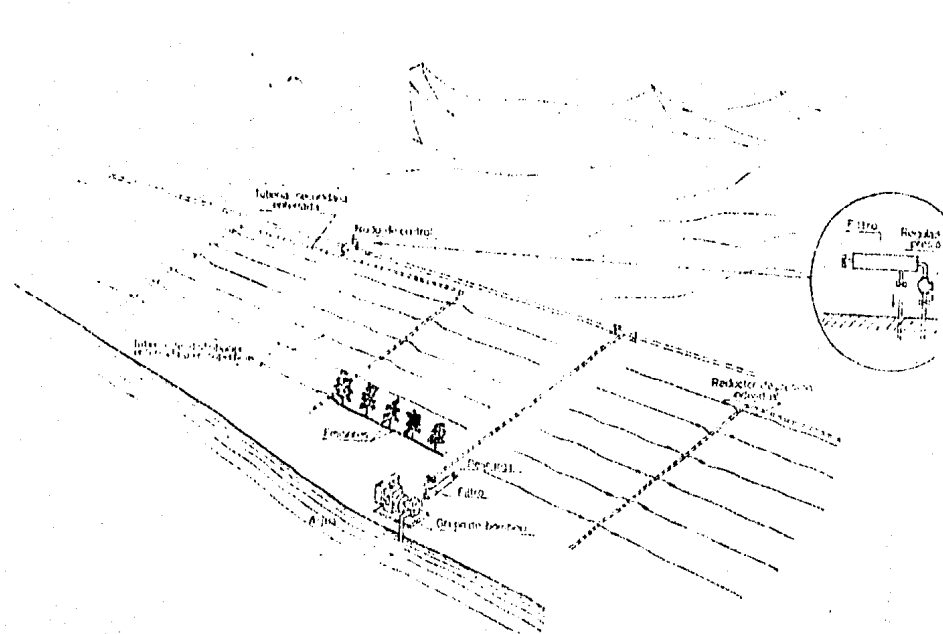


Fig. 3.1b Depósito de agua cercano al campo de cultivo.



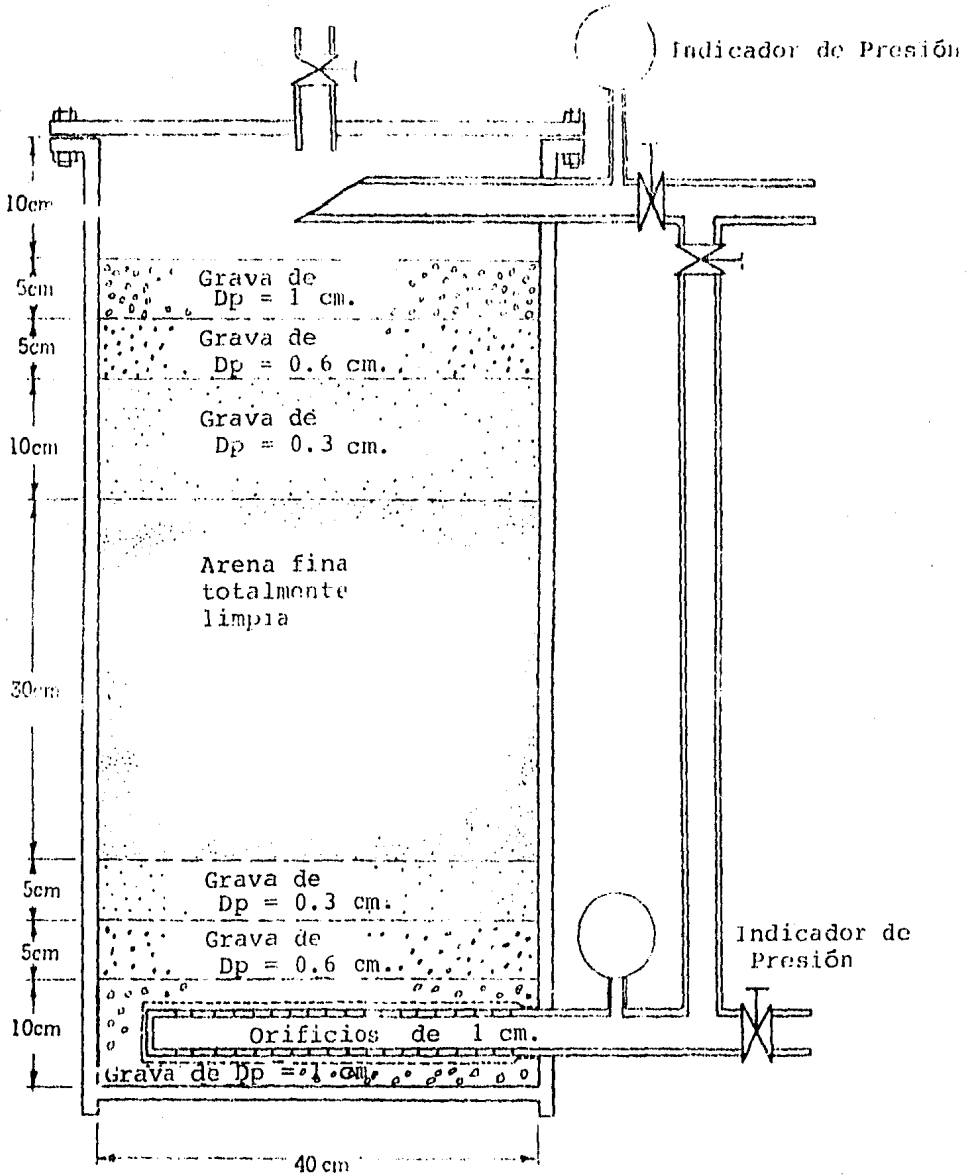


Fig. 3.1.C Esquema de un filtro de arena

que se usen; al final de cada línea lateral se encuentra un tapón que sirve para abrir y lavar tuberías lo mismo que para regular presión. El material de cada rama lateral es polietileno. (Fig. 3.1d).

Los emisores o goteros se encuentran unidos a los ramales laterales y su número dependerá del tipo de cultivos que se tengan en el campo. Existen reglas generales recomendadas para cultivos que nos dicen el número de goteros por planta según el cultivo de que se trate, algunas hortalizas y legumbres ocupan 1 emisor por planta. Otros factores que determinan la cantidad de goteros son: la edad de la planta y la superficie que ocupan. Si se aplica el riego gota a gota a frutales; se hará una clasificación en plantas de pequeña superficie, mediana y grande. Los frutales de superficie pequeña ocupan en general un área de  $9m^2$  ejemplos más comunes son la vid y el plátano, los de superficie mediana  $25m^2$  y son ejemplos el manzano, duraznero, cítricos y aguacate chico. Los árboles de superficie grande abarcarán áreas de 40 a  $50m^2$  como el nogal, olivo, higuera, aguacate grande, mango, tamarindo, etc. El número de goteros por planta, para el caso de plantas jóvenes de superficie mediana se recomiendan de 4 a 6 goteros por árbol en un círculo de 1.8 - 2.0 m de diámetro (fig. 3.2)

En plantas de superficie chica se emplean 3 goteros por árbol. En árboles de superficie grande de 6-7 goteros por árbol. En plantas establecidas no habrá mucha diferencia con --

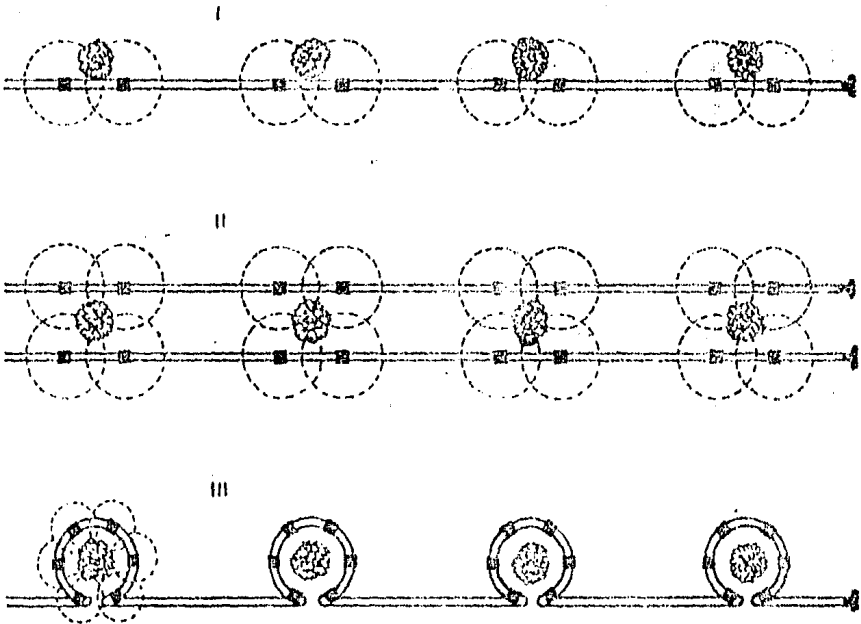


Fig. 3.1d Líneas laterales regantes

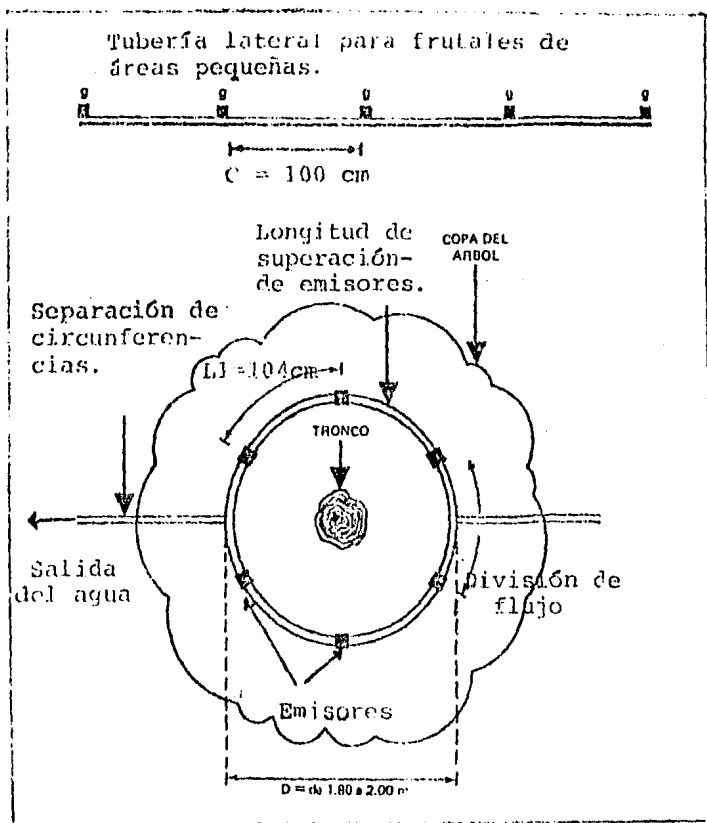


Fig. 3.2a



Fig. 3.2b

las reglas anteriores así en árboles de áreas medianas adultos se colocarán de 5 a 6 goteros por planta; para árboles de superficie grande en edad adulta es recomendable de 6 - 7 goteros/planta en un círculo de hasta 3 m de diámetro.

#### Bases del sistema de riego por goteo

El principio en que se basa el diseño de un sistema de riego por goteo es la transferencia de momentum que es un fenómeno de transporte que se realiza dentro de la tubería de plástico; existe un gradiente de momentum producido por la bomba de la unidad de control o por el depósito instalado a una altura determinada. Existen dos tipos de flujo en la tubería ocasionados por la transferencia de momentum y son: el flujo laminar y flujo turbulento; en el laminar el movimiento macroscópico del fluido forma un perfil parabólico de velocidades a lo largo del diámetro del ducto de plástico, en el turbulento el movimiento macroscópico es errático y forma remolinos dentro de la manguera; el número de Reynolds nos indica el tipo de flujo; ambos se presentan en el sistema de riego por goteo e interesa su estudio para el diseño de los ramales laterales y principales de un sistema.

#### El sistema de red

El conjunto de tuberías y accesorios en el sistema de riego por goteo son de materiales plásticos. El flujo que se presenta en la red puede ser turbulento o laminar.

Cuando el flujo es laminar los goteros se obturan frecuentemente debido a que quedan en el agua algunos polvos finos y sales disueltas que alcanzan a cristalizarse. Cuando el flujo es turbulento las obturaciones son mucho menos frecuentes. En las laterales de la red se encuentran instalados una cierta cantidad de emisores cuyo número estará en función del cultivo que se tenga. Una propiedad fundamental de los goteros es que deben ser fuertemente resistentes a la luz solar para evitar su deformación y crecimiento de algas; por esta última razón su coloración es negra. En cuanto a sus dimensiones no deben variar a diferentes condiciones climáticas para conservar las características de flujo del sistema. El polipropileno y polietileno de alta densidad poseen las propiedades anteriores y se usan para moldear los accesorios mencionados.

### Tipos de goteros

Existe en el mercado una amplia variedad de goteros y cada día son desarrollados nuevos modelos. Los más conocidos se describen a continuación:

#### Microtubos

Goteros integrados de trayectoria larga

Goteros de orificio

Tubos de plástico porosos

Los primeros consisten en tubos de plástico de un diámetro muy pequeño que es de 0.05 a 0.0875 cm (algunas veces se usa un diámetro diferente al intervalo mencionado) que se in-

sertar en la tubería lateral, su goteo está determinado por su longitud. En la figura 3. se observa como aumentando su longitud el gasto se ve limitado severamente; por lo antes mencionado es necesario ajustar las longitudes perfectamente para que el gasto sea uniforme debido a que en cada tramo de tubería existen pequeñas caídas de presión. El tipo de flujo interior del microtubo es laminar.

Para su instalación se procede a taladrar la lateral con un orificio de un diámetro de 0.16 cm menor al diámetro del microtubo; con las propiedades elásticas hay un ajuste adecuado. Sin embargo este gotero instalado tiene una desventaja y es el riesgo constante de alterarse la tubería lateral y los microtubos por viento cambios de temperatura o las diferentes prácticas de cultivo. Por los factores mencionados siguiendo el mismo principio se ha fabricado un gotero llamado de trayectoria larga.

#### Gotero integrado de trayectoria larga

Bajo el mismo principio que el anterior puede clasificarse de dos tipos:

1) Gotero Espiral. En este gotero la trayectoria larga está hecha de polipropileno en forma espiral y es endurecida para mantener una forma permanente; una terminación de la espiral es insertada en la tubería lateral y el resto alrededor de la misma; para en esta forma el árbol reciba un goteo continuo. El diámetro de la espiral de estos emisores es de 0.0375

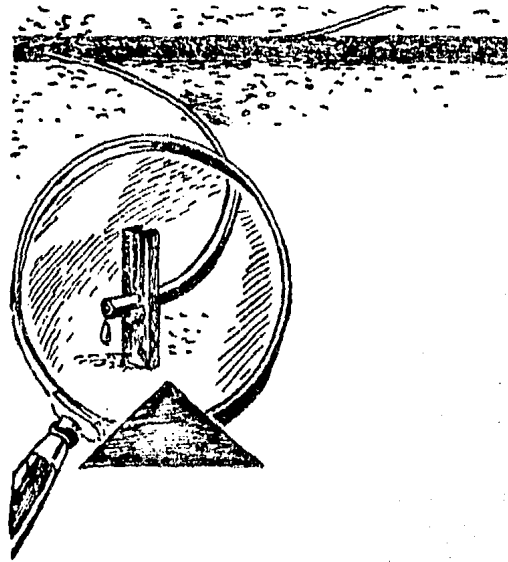


FIG. 3.3 GOTERO DE MICROTUBO.



a 0.0875 cm; su costo en el mercado es bajo pero tienen la -- desventaja de ser muy afectados por los cambios de temperatu- ra no son muy elásticos y pueden saltar fuera del agujero de\_ la lateral. La ventaja principal es que proveen menos obstruc\_ ción al flujo del agua. Las pérdidas de energía y consecuentemente la descarga está influenciada por la curvatura de las \_ espirales.

ii) Gotero Espiral Interno: Muchos fabricantes basados en el\_ principio ya descrito han adoptado este nuevo tipo de gotero\_ a diferencia del anterior no lleva microtubos o capilares. El efecto del microtubo es producido por moldear un largo canal\_ que se cubre con una tapa cilíndrica exterior. Este emisor es\_ tá insertado dentro de la lateral. (Fig. 3.4a) ; así se crea un \_ conducto espiral interno de sección cruzada circular o rectan\_ gular. El agua entra por una terminación y sale por la otra \_ con energía menor. El flujo en estos goteros es de 2, 4 u \_ 8 lts/h y el tipo de flujo es laminar con una presión de ope- ración de 100 centibars.

#### Goteros de orificio

Estos tipos de goteros consisten en una cámara interior -- de alta presión y una exterior de presión más baja; el flujo\_ es regulado por un obturador movable; los fabricantes han de- sarrollado varios diseños; uno de ellos se ilustra en la fig. 3.4b Presentan varias ventajas sobre otros emisores por eso\_ nos ocuparemos de ellos más ampliamente. Se opina frecuente--

mente sobre la dificultad de obtener una descarga baja en este tipo de goteros pero su simple y económica construcción ha hecho que se hagan estudios sobre su aplicación en ciertas áreas y que se mejoren sus modelos. El diámetro de los orificios es menor de 1 mm.

La forma tradicional de insertar estos goteros (por medio de taladro en la tubería) ha resultado ineficaz debido a que se presentan obstrucciones en los orificios por presiones altas; y a presiones bajas la descarga en la tubería no es uniforme. Por estas razones los fabricantes han desarrollado orificios para insertar en las laterales con el fin de conseguir una descarga más uniforme. Se puede resolver el problema de altas descargas ajustando al emisor un obturador movable (en forma de una diminuta pelota o pequeño cono que consigue bajar la presión en la lateral) y alcanzar una presión de operación normal. Por medio de esta elevada presión en la operación inicial se consigue dejar fuera a pequeñas partículas que causarían azolve a presiones altas la pelota o cono bloquea la entrada a partículas extrañas del exterior y deja solamente una pequeña salida al agua. Las partes movibles se han incorporado para regular descargas y lograr un flujo más uniforme. Existen algunas objeciones para las innovaciones hechas a estos goteros tales como el bloqueo por materia extraña a las partes movibles y en consecuencia operar el equipo defectuosamente; por esta razón el equipo deberá revisarse cuidadosamente antes de salir al mercado.

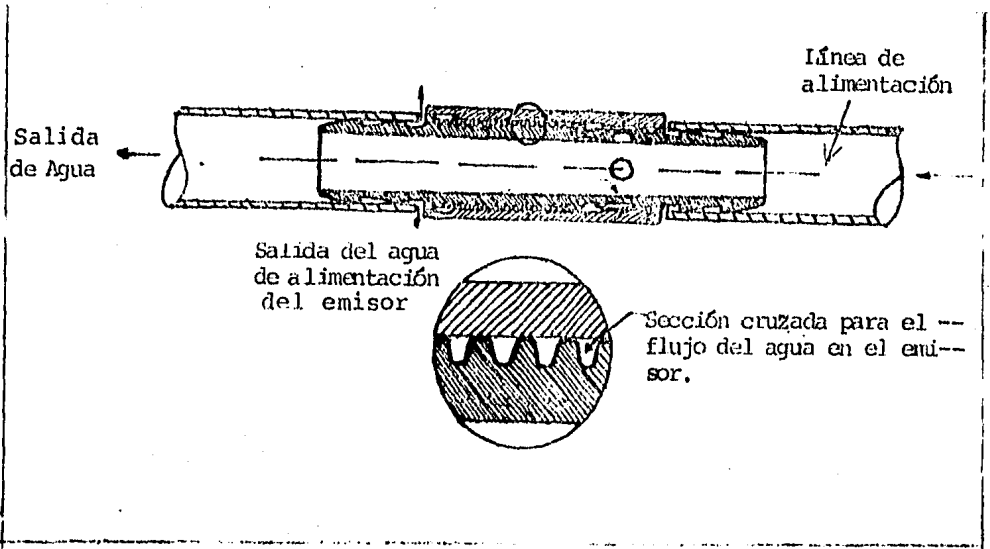


Figura 3.4a. Corte longitudinal del gotero espiral.

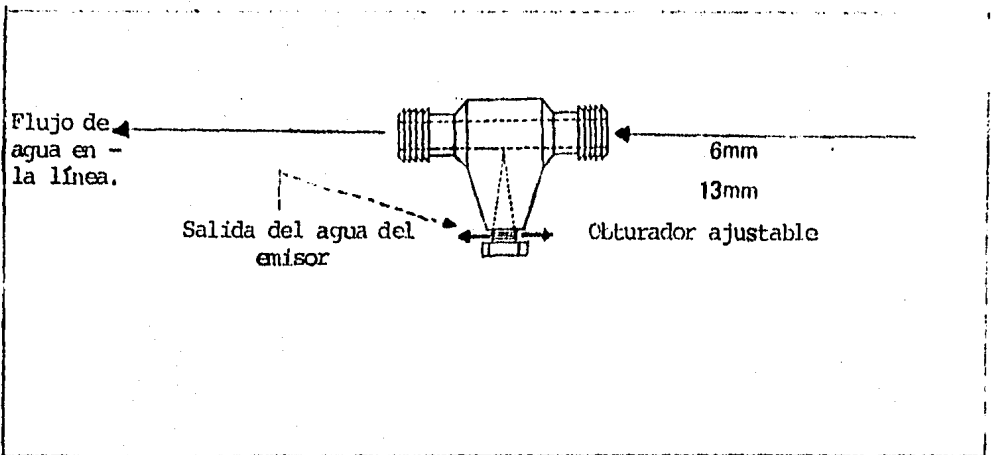


Fig. 3.4 b. Corte longitudinal de un modelo de emisor de orificio.

Aunque muy frecuentemente se presentan problemas de instalación y funcionamiento con los goteros de orificio, son relativamente baratos y fáciles de instalar, además siendo el flujo turbulento los azolvamientos rara vez ocurren.

El diámetro de las tuberías es de aproximadamente 1.25 cm y la presión es de 50-150 centibars, como a presiones bajas - el número de salidas es mucho mayor la proporción de flujo es grande, en cambio a presiones elevadas el número de salidas - es más pequeño.

Las ventajas de los goteros de orificio se resumen como sigue:

- a) Son realmente baratos y pueden fabricarse en una forma -- continua
- b) No ocurren obstrucciones frecuentes porque se trabaja con flujos turbulentos y presiones interiores altas.
- c) Descargas de agua muy pequeñas como  $1\frac{1}{h}$  (1 litro por hora) - que son muy apropiadas para suelos pesados.
- d) Con las descargas pequeñas el tiempo de operación es mayor y el sistema es más económico
- e) Los gastos de operación e iniciales pueden reducirse al - usar tuberías de diámetro pequeños y bombas más pequeñas.
- f) El diámetro de la tubería debe ser mayor cuando el número\_ de emisores es grande.

En años recientes se han fabricado tuberías de doble pa--

red que han sido muy económicas por ser de paredes delgadas. Este equipo tiene la desventaja de no operar satisfactoriamente en pendientes empinadas por no tener un gasto uniforme; pero en pendientes moderadas trabaja sin graves problemas.

#### Tubos de plástico porosos

Los tubos de plástico porosos descargan agua a través de su longitud total en una proporción relativamente uniforme, su uso ha sido muy limitado. Al ser colocada una tubería enterrada con estas características la aplicación del agua se desvía del concepto de aplicación por goteo. Este sistema puede ser muy duradero si el agua de riego es de buena calidad de otra manera resulta impráctico en la mayoría de los casos.

#### Otros tipos de goteros

A medida que transcurre el tiempo aparecen en el mercado nuevos modelos de goteros mejorados en base a la experiencia de los modelos ya conocidos. Como ya se ha mencionado el problema más serio en cualquier gotero es el ensuciamiento que impide el suministro de agua. Todo fabricante debe proporcionar una lista de probables problemas que se presentan en los emisores y la manera de resolverlos.

#### La fertilización en el riego por goteo

Debido a que la mayoría de la irrigación por goteo es muy usada en regiones áridas por este método es posible fertili-

zar el suelo y proveer en esta forma los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta. En lugares con lluvias abundantes y donde la irrigación por goteo es suplementaria puede agregarse el fertilizante a la planta sin antes ser disuelto y con el agua de lluvia se disuelve y llega a las raíces de las plantas; pero en lugares de lluvias escasas y donde las plantas están sujetas casi en su totalidad al agua de irrigación, al agregarse el fertilizante sin disolverse se corre el riesgo de desperdiciarse o ser poco eficiente si no hay una suficiente cantidad de agua; por lo que es conveniente incluir en el sistema de irrigación el equipo y proceso necesarios para una fertilización.

La fertilización por este medio ayuda a un buen rendimiento y calidad de la cosecha pues se pueden alcanzar producciones hasta de un 60 u 80% más de lo ordinario; además al incluirse la fertilización en el riego por goteo, puede suministrarse un buen control de la fertilización y un ahorro de mano de obra en los cultivos.

Antes de aplicar la fertilización en un campo es necesario conocer la solubilidad de las sales nutrientes; algunas de ellas son poco solubles y su aplicación por la red de goteo causa serios problemas que puede ser el azolvamiento en los goteros o la corrosión en las tuberías, algunas sales de fósforo son poco solubles otras a temperaturas de agua muy bajas pueden cristalizar y causar serios problemas en la red. -

Por esa razón se mencionará cuales son las sales nutrientes - más adecuadas.

#### Tipos de fertilizantes a usar en el riego por goteo

Los fertilizantes a usar en el riego por goteo deben ser perfectamente solubles; cualquier sal parcialmente soluble -- bloquean al sistema y crean obstáculos operacionales. El superfosfato es parcialmente soluble razón por la cual es difícil de aplicar en el riego por goteo; en lugares donde el riego por goteo es suplementario pueden aplicarse los nutrientes del fósforo en épocas lluviosas y el resto en periodos de sequía. En algunos jardines privados se aplican fertilizantes - ya preparados con todos los nutrientes necesarios para las plantas, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno y azufre. El nitrógeno puede aparecer como nitrato o sales de amonio; los microelementos aparecen como quelatos en ácidos orgánicos que - previenen perfectamente las precipitaciones en la red y retienen su solubilidad. Estos tipos de fertilizantes son muy costosos y su uso en gran escala resulta antieconómico. En los fertilizantes preparados con todos los nutrientes el fósforo presenta serias dificultades debido a que la mayoría de sus compuestos son poco solubles. Una práctica común de la aplicación -- del fósforo es el método que ya anteriormente se mencionó. Varios de los fertilizantes usados se listan a continuación con

sus solubilidades respectivas.

Fertilizante	Solubilidad	g/l
Amoniaco ( $\text{NH}_3$ )	97	"
Nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )	1185	"
Sulfato de amonio	700	"
Nitrato de calcio	2670	"
Sulfato de calcio	Insoluble	"
Fosfato de di-Amonio	413	"
Sulfato de magnesio	700	"
Sulfato de manganeso	517	"
Fosfato de mono-amonio	225	"
Fosfato de mono-calcio	Insoluble	
Cloruro de potasio	277	g/l
Nitrato de potasio	135	"
Sulfato de potasio	67	"
Urea	1190	"

#### Preparación de fertilizantes en solución

Los fertilizantes líquidos pueden ser preparados de compuestos químicos que son solubles en agua y pueden almacenarse en solución o en forma sólida y se preparan como sigue:

#### Materiales

En cualquier preparación de fertilizantes es necesario conocer el % de composición de cada elemento nutriente. A continuación se especifica el % de su composición en peso de las



siguientes sales químicamente puras:

Compuestos	Composición en peso
Nitrato de potasio	14%N, 39% K
Urea	32 % N
Sulfato de magnesio	20% Mg
Nitrato de amonio	35% N
Nitrato de calcio	17.) % N, 25 % CaO
Fosfato de monoamonio	12 % N, 61 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

Todos los fertilizantes deben ser almacenados en lugares bien ventilados y en contenedores herméticos tales como costales de polietileno. Debe evitarse el excesivo calor cerca de ellos pues algunos son muy oxidantes y en presencia de materia orgánica pueden causar incendios.

Las soluciones se preparan teniendo en cuenta su solubilidad. No es en general conveniente preparar soluciones con fertilizantes de solubilidad baja a no ser que sea en concentraciones muy bajas y con extremas precauciones; en concentraciones no muy bajas se corre el riesgo de azolvar las tuberías de plástico. El agua que se emplee para solubizarlos debe ser no muy fría a no ser que su solubilidad sea muy elevada. En el caso del nitrato de potasio si se emplea agua demasiado fría se corre el riesgo de que se formen cristales en las mangueras y las corroan. Si se mezclan dos o más soluciones de nutrientes debe conocerse de manera precisa las reacciones --

iónicas que puedan ocurrir entre dos compuestos diferentes, - puede ser probable que se formen precipitados muy insolubles que muy fácilmente tapan los emisores y azolven las mangueras. Así por ejemplo al mezclarse una sal de calcio soluble con un fosfato de cierta solubilidad puede formarse como precipitado fosfato de calcio de muy poca solubilidad que azolve totalmente mangueras y goteros.

#### Cálculo de la concentración de fertilizantes disueltos

Las concentraciones de fertilizantes disueltos pueden calcularse como porcentajes de peso en volumen o como porcentaje de peso en peso.

Si se desea calcular la concentración expresada como ppm en solución y se tienen el % de peso en volumen (P/V) se aplica la siguiente ecuación:

$$\frac{\% \text{ P/V} \times 1000}{\text{Dilución}} = \text{ppm en Soln diluida}$$

Como ejemplo ; si se tiene un fertilizante que contenga 4% de  $N_2$  y 10%  $K_2O$  en P/V y las diluciones son de 1:400 ml se obtendrán las siguientes concentraciones

$$\text{ppm N} = \frac{4 \times 10000}{400} = 100 \text{ ppm N}$$

$$\text{ppm } K_2O = \frac{10 \times 10\ 000}{400} = 250 \text{ ppm } K_2O$$

En el caso de que se tengan concentraciones de %  $\frac{P}{P}$  (por--

centaje de peso en peso) se pueden calcular también las concentraciones de soln diluida en ppm con la siguiente fórmula:

$$\frac{\% P/P \times 1000 \times P}{\text{Dilución}} = \text{ppm de soln diluida}$$

Puede considerarse como ejemplo el mismo caso anterior en el cual se tiene una densidad de la soln concentrada de 1.2 y una conc. en peso de 4% N y 10% K<sub>2</sub>O

$$\text{ppm N} = \frac{4 \times 1000 \times 1.2}{400} = 120 \text{ ppm}$$

$$\text{ppm K}_2\text{O} = \frac{10 \times 10000 \times 1.2}{400} = 300 \text{ ppm}$$

Efecto de fertilizantes en las características del suelo

Los fertilizantes tienen un efecto sobre el suelo de varias maneras; como pueden ser cambiando su pH aumentando el índice de sal, provocando demasiada dureza etc. El pH en el suelo se define como su grado de acidez. Los suelos según su pH pueden clasificarse como ácidos, básicos y neutros. El uso constante de urea y nitrato de amonio provoca un aumento de la conc. de iones H<sup>+</sup> y por lo tanto acidifica el suelo. El nitrato de sodio y de potasio son peligrosos en concentraciones elevadas. El nitrato de calcio y la cianamida tienen un efecto diferente a los compuestos anteriores.

Concentración de sal en el suelo

Otra propiedad muy importante en el suelo es su índice de sal que se define como el grado de incremento de la presión osmótica en la solución del mismo ; comparando iguales cantidades de fertilizante con respecto al índice de sal de nitrato de sodio (que se le asigna un número de 100) observaremos como varía el índice. En la tabla siguiente se tienen algunos índices de sal para algunos fertilizantes.

Fertilizante	Índice de sal
Nitrato de amonio	105
Nitrato de sodio	100
U r e a	75
Nitrato de potasio	74
Sulfato de amonio	69
Nitrato de calcio	58
Amoniaco	47
Sulfato de potasio	46
Fosfato de diamonio	34
Cianamida de calcio	31
Fosfato de monoamonio	30
Superfosfato concentrado	10
Superfosfato ordinario	8
Carbonato de calcio	5
Melafofosfato de calcio	0
Magnesia	2

Con el incremento del índice de sal la capacidad de absor

ción de las plantas se ve disminuida ya que aumenta su presión osmótica y por lo tanto su crecimiento es menor; en casos extremos la planta se marchita y muere, pero antes las concentraciones excesivas ocasionan serios daños a las raíces y a sus semillas.

#### Efecto específico del ión cloro

El cloro también incrementa la presión osmótica en la planta, su exceso retarda el crecimiento en forma directamente proporcional a su concentración; algunas plantas son más sensibles al cloro que otras. Entre las plantas sensibles al cloro se encuentran los cerezos, durazneros, ciruelo, manzanos, aguacates, cítricos, papas, vides, nogales y tabaco. El cloro también afecta la germinación de semillas y calidad de los frutos.

#### Efecto específico del ión sulfato

El azufre en pequeñas cantidades es necesario para el crecimiento de las plantas, si se aplica excediendo los requerimientos mínimos contribuye a elevar la concentración total de sales y aumenta la presión osmótica en las plantas de una manera perjudicial. El aumento del azufre en forma de iones sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ) acompañado de ciertos cationes tales como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y otros que elevan la presión osmótica de una manera inadecuada retardando el crecimiento de las plantas, provocando daños en la raíz o retrasando la germinación de las semillas. -

Para evitar los daños anteriores se aplican los fertilizantes en dosis pequeñas e intervalos frecuentes.

Los cloruros y sulfatos pueden acumularse al aplicarse como fertilizantes cloruro de potasio y sulfato de amonio. Para evitar la acumulación de sales los terrenos de cultivo deben tener un sistema de drenaje con el fin de que pueda realizarse un lavado periódicamente en forma natural o artificial.

#### Recomendaciones para una buena fertilización

Antes de llevar a cabo una fertilización por medio de un sistema de riego por goteo es conveniente que se tomen muestras del terreno de cultivo para conocer las concentraciones de nutrientes del suelo y con estos datos llevar a cabo una adecuada fertilización. Si los niveles de nitrógeno y potasio son más bajos que los requeridos es necesario suplementarlos inmediatamente; en caso contrario si son demasiado altos será necesario un lavado terreno para volver a refertilizar nuevamente o bien conseguir las concentraciones adecuadas. Los muestreos deben ser hechos en forma continua y periódica y deben ser representativos, es decir, deben tomarse del cono de la raíz la parte humedecida del gotero; también debe haber suficientes muestras para conocer el nivel de concentración promedio en todo el predio. Los análisis de suelo aunque no garantizan todavía un crecimiento óptimo, si son una buena guía para el campesino pues ayudan a evitar la acumulación excesiva de sales y a una mejor producción de cosechas.

Métodos de aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego por goteo.

Los métodos de aplicación de fertilizante por medio del sistema de goteo se clasifican en tres grupos principales: Por tanques de fertilización, bombas de fertilización y medidores tipo Venturi.

i) Tanques de fertilización

La fertilización por medio de tanques consiste en conectar un tanque en paralelo a la tubería principal con la dosis correcta de nutrientes disueltos, para ello debe de tenerse muy en cuenta las solubilidades ya mencionadas de los nutrientes y las reacciones iónicas que ocurren en determinado tipo de mezclas de soluciones. Con el tanque de fertilización en paralelo y el gradiente de presión producido por la bomba o depósito la solución del tanque de fertilización se diluye con el agua de la tubería principal en toda la red de cultivo en forma continua.

Los volúmenes de tanques de fertilización pueden ser desde 30 a 100 l. Es importante cuando se va a aplicar el fertilizante conocer las cantidades que se van a suministrar a los cultivos y la frecuencia con que deben de aplicarse, para realizar esta operación conviene la asesoría de técnicos agrícolas. El volumen del tanque se selecciona en base a las cantidades de fertilizante a suministrar, la frecuencia de aplicación y las solubilidades. La dilución estará en función del cultivo, pue-

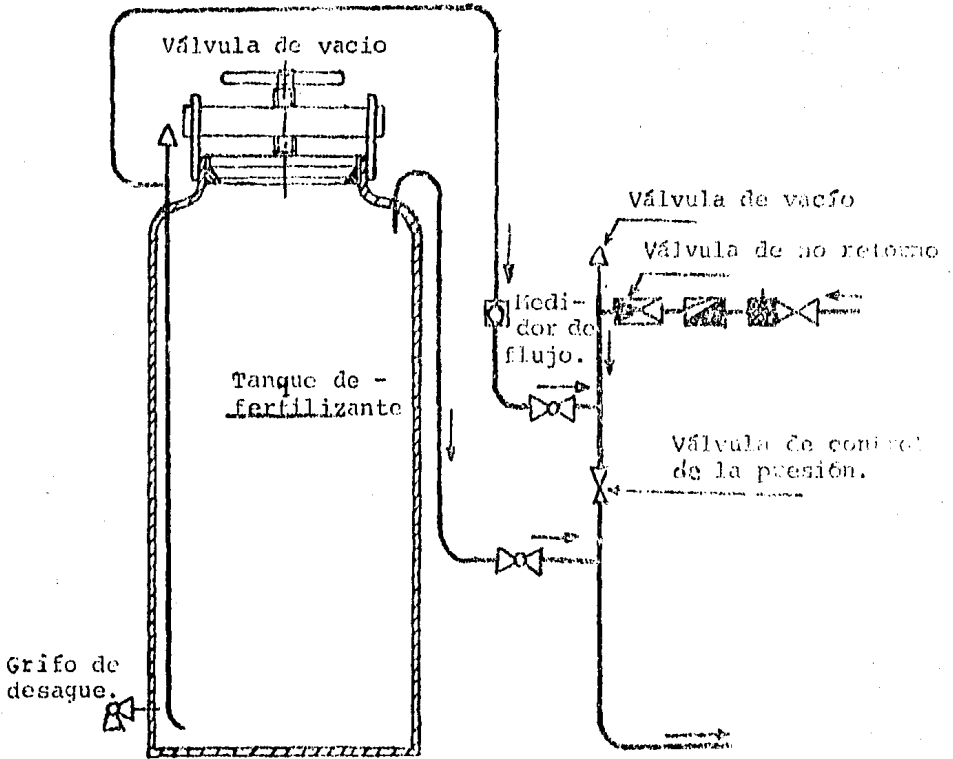


Fig. 3.5 Tanque de fertilizante.



de ser de  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{200}$ ,  $\frac{1}{1000}$  etc. La concentración disminuye progresivamente conforme el equipo comienza a operar.

En figura 3.5 se muestra un esquema del tanque de fertilización que se acaba de describir. Este tipo de tanques son contruidos de metal con sus recubrimientos apropiados. El tanque es cerrado por un cerrojo central que presiona sobre la tapa; en la cubierta se encuentra una válvula de vacío que previene el flujo de retorno de la solución del fertilizante a la malla del suplemento de agua. Se han hecho pruebas con tanques pequeños y diámetros de tuberías pequeñas trabajando a elevadas presiones, obteniéndose excelentes resultados sobre la uniformidad de distribución. Para prevenir en el sistema el retorno de dilución también se tienen que montar válvulas de retención que al igual que las de vacío se encargan de desconectar del tanque el sistema del agua de riego. El uso de estos tanques es excelente, su problema es su elevado costo.

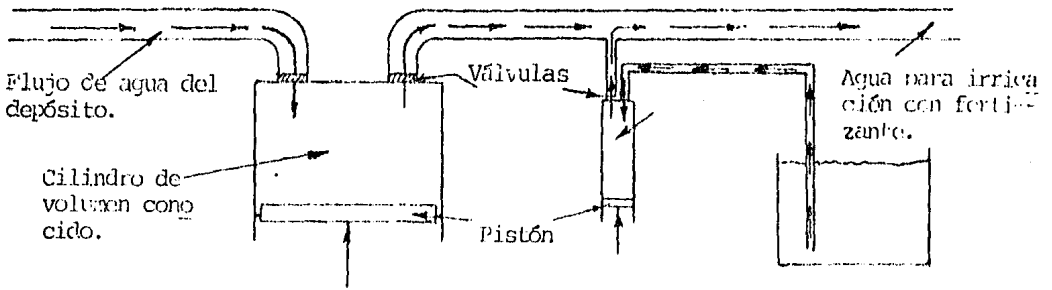
#### Bombas de fertilización

Con estos equipos la solución es introducida dentro del sistema de irrigación por medio de una bomba exterior que crea una diferencial de presión; existen dos tipos de bombas, unas operan con energía externa e introducen la solución de fertilizante bajo presión al sistema de irrigación; otras son operadas con agua a presión de la bomba de irrigación.

Bombas operadas con energía externa.

En este tipo de bombas (fig. 3.6) de solución de fertilizante, se inyecta la solución a una presión mayor que la inter---

### BOMBA OPERADA CON ENERGIA EXTERNA



La solución se encuentra en el tanque superior derecho. La dilución depende del volumen del cilindro y de la velocidad.

Fig. 3.6 Mecanismo de la bomba de desplazamiento positivo

rior. El flujo de descarga puede ser regulado por medio del control para conseguir la dilución deseada. El recipiente que contiene la solución de fertilizante no tiene que estar necesariamente cerrado, por medio del control del flujo de descarga se logra una amplia escala de valores de la dilución. Este equipo tiene la desventaja de que solamente puede ser usado en lugares donde existe fuente de abastecimiento de energía eléctrica, también hay el inconveniente de su alto costo y contaminación del agua dulce si el flujo para irrigación cesa.

Bombas operadas por presión de irrigación del sistema.

El funcionamiento de este equipo depende de la presión de irrigación del sistema y opera sobre bases proporcionales; todo cambio en la presión de irrigación repercute en la bomba de fertilización, si cesa el flujo de agua de irrigación igualmente cesa el flujo de fertilización al mismo tiempo que queda contaminada la red de irrigación. La limitante de estos equipos es que operan solo para relaciones constantes y no pueden ser cambiadas por el usuario además de ser su costo elevado y no son portátiles.

Medidores tipo Venturi

Los medidores tipo Venturi pueden ser de dos tipos:

- a) De succión de tanque abierto
- b) De succión de tanque cerrado

La selección de cada medidor para la fertilización depende

de los siguientes criterios:

- I) Volumen del tanque de fertilización
- II) Relación de dilución de la solución del nutriente por el--  
agua.
- III) Exactitud de la dilución
- IV) Facilidad en su transporte
- V) Costo de la unidad y su capacidad

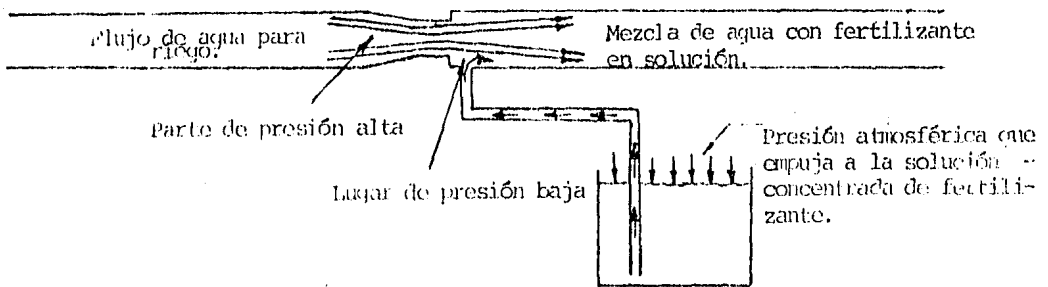
De las normas mencionadas los medidores tipo Venturi (fig. 3.7) poseen la ventaja de proveer mejor control y exactitud en las relaciones de dilución, lo mismo que en la proporción de -  
descarga de la solución.

En cuanto a los medidores cerrados el tanque camerom es -  
el más usado.

#### Tanque Camerom

El tanque tipo Camerom es un recipiente con un montaje inte-  
rior construido dentro de la cubeta. El montaje a través del -  
cual pasa el agua de irrigación contiene una válvula venturi -  
que produce una diferencial de presión. La presión ayuda a que  
el fertilizante disuelto fluya a través del pequeño tubo de --  
diámetro interno que controla el recipiente con montaje dentro  
de la cubierta.

El agua de irrigación entra al tanque y se mezcla con la -  
solución de fertilizante asentada en el fondo. Una válvula pue  
de colocarse para regular el flujo de agua a la entrada y la -



La mezcla de la solución concentrada con el agua para irrigación la ocasiona la diferencia de presión entre la atmosférica y la parte de medidor de presión baja.

Fig. 3.7. Medidor Venturi de tanque abierto.

mezcla sea lenta. También esta unidad es más precisa que el tanque regulador pero más complicada y la trayectoria de flujo muy estrecha, a menudo se bloquea. Es de fabricación inglesa y muy caro.

#### Tanque abierto

Esta unidad es capaz de succionar una solución de un recipiente abierto y tiene la ventaja de ser pequeña y no cara. Una amplia gama de diluciones puede efectuarse con un control completo, sin embargo presenta la desventaja de ser apropiada solamente para irrigación de baja presión debido a que causa caídas de presión grandes.

#### Sofocadores friccionales

Los sofocadores friccionales tienen la función de causar bajas de presión en algunas partes del sistema de irrigación. Se requerirán en aquellos casos en los cuales las tuberías están debajo de una pendiente tan empinada que las ganancias debidas a la gravedad sean mucho mayores que las friccionales de la tubería; pueden también ser necesarias cuando es aconsejable usar diámetros mayores que los óptimos ya sea por uniformidad en todo el sistema o las necesidades a futuro obliguen a usar anticipadamente diámetros de mayor tamaño que los requeridos.

La función de los sofocadores es disminuir presiones mientras que la válvula regula el gasto del agua aunque haya fluctuaciones de la presión, por tanto una válvula de control de flujo no puede ser usada para regular la presión.

Para diseñar es importante establecer los límites permisibles de la presión de trabajo; para flujos laminar y turbulento es de un 20 % la variación con respecto a la presión final en la lateral mientras que para flujo turbulento es de un 44%. Es impráctico acabar un diseño con diámetros de tuberías totalmente diferentes en toda la red lateral; en estos casos existen otras maneras de regular las presiones elevadas causadas por pendientes muy empinadas del terreno como son los instrumentos anteriormente mencionados. Puede haber factores extraños que causen variaciones en la presión impredecibles además de las pendientes empinadas, como pueden ser mayores diámetros de tubería y la rugosidad casi nula; en estos casos también será necesario el uso de sofocadores (1)

La contracción repentina de la tubería reducirá la presión en ese punto. La manera de llevar a cabo este mecanismo es mediante el cierre parcial o total de una válvula de entrada. La pérdida de presión es expresada por la siguiente ecuación:

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

V = Velocidad del agua (m/seg)

g = aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

H = Pérdida de presión m, cm

El coeficiente de pérdida K es independiente del número de Reynolds. Existe otra válvula para regular pérdidas de presión y es la de diafragma ambos instrumentos sirven para regular la presión en la tubería como se especifica en la siguiente tabla:

(1) Ref. Bibliográfica # 16, Páginas 182 - 222.

Tipo de Válvula	Grado de abertura	K
Válvula de entrada tipo bola	Totalmente	0.19
	3/4	0.15
	1/2	5.6
	1/4	24.0
Válvula de diafragma	Totalmente	2.3
	3/4	2.6
	1/2	4.3
	1/4	21.0

Los datos anteriores de diferentes grados de abertura y -- sus constantes son proporcionados por los fabricantes.

#### Control de flujo

Existen numerosas formas de control de flujo prescindiendo - de la presión de operación del sistema; todas las formas están basadas en una membrana de goma activada por la presión de entrada, según la intensidad de la presión cierra en mayor o menor grado la membrana reduciendo el flujo. Un instrumento usado frecuentemente consiste en un dispositivo de goma altamente preciso que tiene pequeñas respuestas al tiempo y temperatura, acomodado en la forma de un anillo. Los bordes de las orillas\_ del anillo se cierran cuando la presión aumenta y si ésta disminuye, el anillo se contrae permitiendo el paso del agua. El\_ uso de este mecanismo permite la prevención de suciedad y mate\_ ria extraña en la red y una mejor uniformidad en la distribu-- ción del agua.



## Control de la presión

Hay innumerables y económicos mecanismos de control de la presión, de varias figuras y diseños para propósitos diferentes. Varios de ellos se desarrollaron para irrigación por aspersión pero operan de una manera muy satisfactoria en irrigación por goteo. Su diseño se basa en un mecanismo de salto de pistón el cual ahoga la presión por prensado. Existen muy pocos instrumentos con un mecanismo diferente al anterior. Los instrumentos de control de presión se diferencian de las válvulas sofocadoras en que poseen mucho más baja pérdida de cabeza (1-3 m) y ofrece mucho menos obstrucción a azolves. El mecanismo de control de esta variable puede servir a una innumerable cantidad de emisores y ayudan a un buen control en presiones excesivas de sistemas de riego gota a gota.

## CAPITULO IV

### Diseño Hidráulico.

En este capítulo se hablará sobre diseño y optimización de sistemas de bombeo para almacenamiento e irrigación por goteo.

Los materiales usados en la manufactura de tuberías y accesorios para riego por goteo son principalmente: El P.V.C. y el polietileno; el P.V.C. tiene la desventaja de degradarse paulatinamente mediante la acción prolongada de la luz solar; por esta razón se recomienda que las tuberías y accesorios de este material se entierren; el polietileno es más resistente al intemperismo lo mismo que a ácidos y bases fuertes. Cada fabricante podrá darle la densidad deseada. Los costos de tubería y accesorios de estos materiales varían según su diámetro.

### Fórmulas Hidráulicas

Existen diversas ecuaciones para calcular caídas de presión en la red de las cuales la de Darcy-Weisbach es la más usada:

$$H_f = \frac{fLv^2}{2gD}$$

$H_f$  = Caída de presión, en pies, metros o psig

$f$  = Factor de fricción

$L$  = Longitud de tubería o distancia entre emisores

$V$  = Veloc. media: ft/seg, cm/seg, o m/seg.

$D$  = Diámetro de tubería, m, cm, o pies

$g$  = Constante de gravedad, cm/seg<sup>2</sup>, m/seg<sup>2</sup>, pies/seg<sup>2</sup>.

El factor de fricción estará en función de la rugosidad de la tubería y el número de Reynolds. Existen diversas ecuaciones para su cálculo según el tipo de flujo que se lleva a cabo en -

la red.

En el sistema de riego gota a gota se trabaja con tuberías\_ de plástico que pueden ser de P.V.C. o polietileno. Estas tube- rías tienen una rugosidad mínima y el factor de fricción es fun- ción únicamente del número de Reynolds

$$f = \phi ( Re )$$

Para las zonas laminar, de transición y turbulenta existen\_ ecuaciones específicas para el cálculo de f que dependen básica- mente del número de Reynolds. Las ecuaciones usadas son las si- guientes:

Zona laminar :	$f = 64/Re$
Zona de transición:	$f = 0.25/Re^{1/4}$
Zona turbulenta:	$f = 0.0056 + 0.5/Re^{0.32}$

El flujo en una manguera de riego por goteo llamada lateral es variable dependiendo de la cantidad de emisores, antes del - primer gotero el flujo será turbulento y de un valor alto, e irá disminuyendo conforme el número de emisores se incremente. La - descarga en toda la lateral deberá ser lo más uniforme posible\_ para ello la caída de presión total no deberá exceder de un 20% la presión final en la lateral para flujo laminar y turbulento; en el caso de tenerse únicamente flujo turbulento la descarga - uniforme podrá alcanzarse con una caída de presión no mayor a - un 44% la presión final. En capítulos anteriores ya se discutie- ron las ventajas y desventajas de los flujos anteriores en las\_ laterales.

El consumo de agua de irrigación estará en función del ti-

po de cultivo, características del terreno, temperatura media - anual etc. Para fijar el consumo diario de agua en un predio -- agrícola se requerirá de la consulta de técnicos agrícolas. La \_ distancia de separación de los goteros variará de acuerdo al ti po de cultivo; el diseño descrito en este capítulo es aplicable para frutales de áreas pequeñas y medianas; las plantas de - - áreas pequeñas llegan a ocupar hasta  $9\text{m}^2$  de superficie por plan ta y son ejemplos el plátano y la vid. Los árboles de áreas me- dianas ocupan superficies de  $25\text{-}36\text{ m}^2$  y son ejemplos el manzano, peral duraznero cítricos y aguacate chico.

El número de emisores (1) a usar variará de acuerdo a la - densidad del cultivo; en algunas ocasiones resultará antieconó- mico el uso de goteros por el número tan elevado de mangueras \_ a usar. En frutales de área chica se recomienda un emisor por - cada metro lineal o tres goteros por planta. Tratándose de plan tas de superficie mediana adultas se instalarán de cinco a seis goteros por árbol distribuidos en una circunferencia de un diá- metro de 1.8 a 2 m (2); (fig. 3.2a) En plantas jóvenes de superfi cie mediana existirá muy poca diferencia.

Existe una ecuación por medio de la cual puede calcularse - el consumo diario de agua por árbol y que fue desarrollada (3) \_ por técnicos en agricultura:

$$DR = 0.623 \times CU \times A \times K$$

CU = proporción de agua aplicada al terreno.

(1), (2) Ref. bibliográfica # 5 págs. 90-93

(3) Ref. bibliográfica # 16 págs. 188-189

A = Área del terreno ocupada por árbol.

K = Fracción del área del árbol cubierta por la cosecha del fruto.

DR = Consumo diario de agua por árbol

Los valores de CU y K pueden consultarse en manuales de riego e irrigación (3) y dependen del tipo de planta y de suelo a cultivar. Teniendo el valor de DR se calcula el flujo de cada gotero con ecuación:

$$Q = \frac{DR}{Tx \cdot N}$$

En donde T representa el tiempo diario de operación de la red de irrigación y N el número de emisores por árbol. El tiempo de operación diario es fijado por un gasto mínimo para cada gotero, cada clasificación de ellos tendrá una ecuación de flujo que es útil para el diseño del diámetro de la tubería lateral. El técnico de campo determinará los espaciamientos en los cultivos.

Con los datos necesarios para el diseño fijados por un técnico agrícola se procederá a diseñar: diámetros de las latera-

(3) Riego a Presión Aspersión y Goteo.

Pedro Gómez Pompa

Ed. Aedos, Barcelona 1975

Páginas 90-123.

les, capacidad de los filtros, potencia de la bomba, tipo de equipo para fertilización y algunos otros detalles de menor importancia. Para el diseño de los diámetros de laterales se procederá a calcular caídas de presión en cada una de ellas, el cálculo se hará dividiendo la lateral en un número de tramos igual al número de goteros. La caída de presión en cada tramo se hará por separado empezando por el último tramo hasta llegar al primero. Si la caída total de presión es de un 20% con respecto a la presión final de la lateral en flujos laminar y turbulento, la tubería se acepta. Si el flujo es únicamente turbulento el cálculo se determina de la misma forma con la diferencia de que la caída de presión total puede ser hasta de un 44% con respecto a la presión inicial. El procedimiento anterior puede resumirse de la manera siguiente:

Paso I : Determinación por el asesor agrícola de: Distancia entre filas de árboles (ST); separación entre los árboles por cada hilera (SR), proporción de agua al terreno (CU), Factor de alcance (K), longitud lateral (L, L<sub>3</sub>), tiempo de operación diario (T) y área de cada árbol.

Paso II: Determinación del agua aplicada a cada árbol (DR)

$$DR = 0.623 \times CU \times A \times K$$

Paso III: Cálculo del flujo del primer emisor.

$$Q = \frac{DR}{T \times N}$$

Paso IV: Fijación del tiempo de operación del sistema a base de un gasto mínimo.

Paso V: Se escoge un diámetro inicial

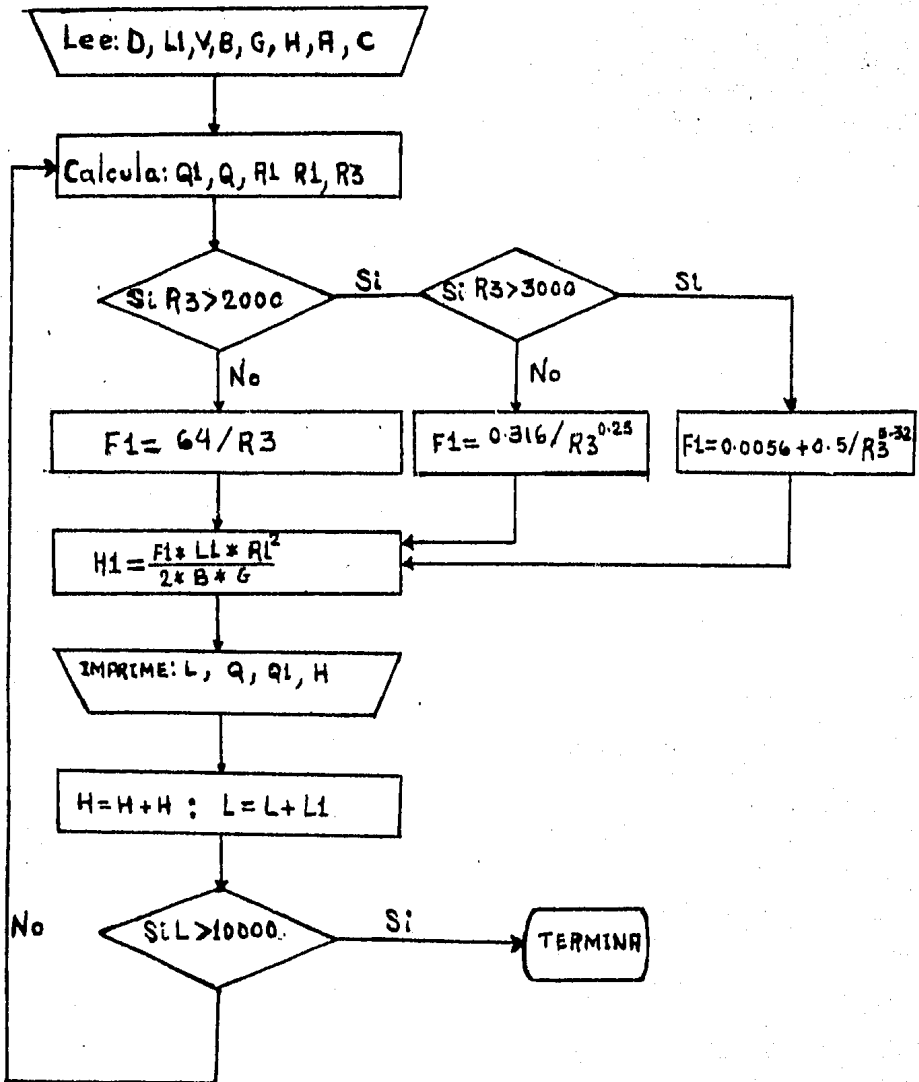
Paso VI: Cálculo de la caída de presión total en la lateral

Paso VII: Si la caída de presión total en la lateral es menor a un 20% (y el flujo es laminar y turbulento) se acepta el diámetro; en el caso de flujo turbulento la máxima caída de presión será de 44% con respecto a la presión inicial. En caso de no satisfacer ninguna de las condiciones anteriores se escoge otro diámetro y se reinicia el cálculo en el paso V. El procedimiento para determinar el diámetro adecuado es algo laborioso por lo que se recurre a un programa de computadora para determinar las caídas de presión en cada tramo de las laterales. En el momento de alimentar los datos del programa debe de considerarse las longitudes equivalentes de los accesorios de las laterales y en algunos casos las de los goteros. En los diagramas siguientes puede verse la secuencia de cálculo para las caídas de presión juntamente con su codificación en lenguaje BASIC; el primero de ellos podrá aplicarse para dimensionar diámetros de mangueras en plantaciones de frutales de áreas pequeñas; mientras que el segundo es útil para el diseño de laterales de riego en frutales de áreas medianas.

El diseño se lleva a cabo considerando una pendiente cero en el terreno; en la realidad pocas veces se encuentran terrenos totalmente horizontales.

Para controlar las subidas repentinas de presiones por pendientes empinadas pueden usarse sofocadores friccionales como

Diagrama de flujo para caídas de presión en  
frutales de áreas pequeñas.

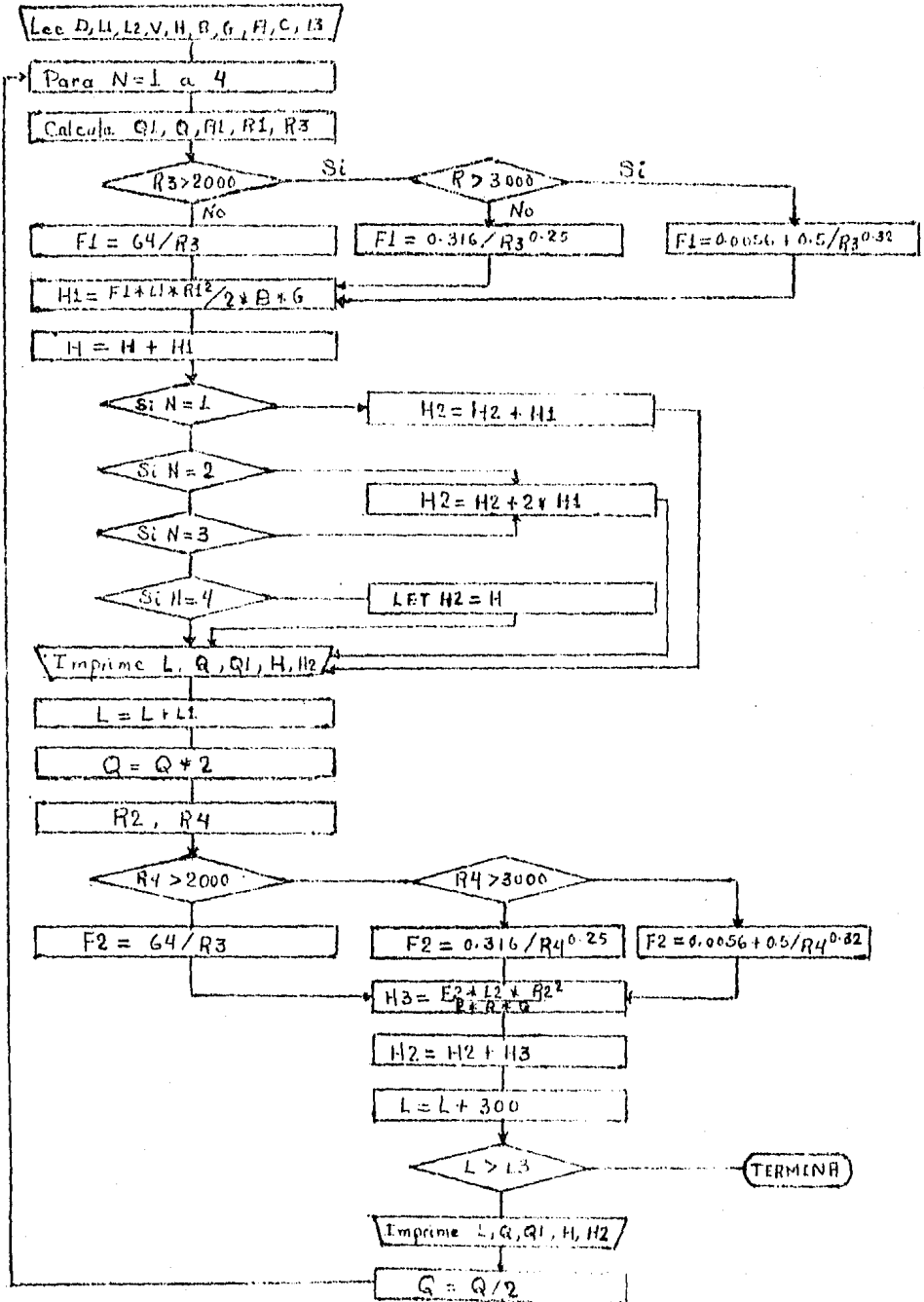




PROGRAMA PARA CALCULAR CAIDAS DE PRESION  
EN MANGUERAS DE POLIETILENO.

```
1 HOME
2 PRINT " PROGRAMA PARA CALCULAR DIAMETROS DE TUBERIAS EN FRUTALES DE AREAS PEQUEÑAS"
3 VTAB 20: INVERSE: PRINT "PARA CONTINUAR PRESSIONE CUALQUIER TECLA": GET A$: NORMAL
4 INPR: PRINT "INTRODUZCA LOS SIGUIENTES DATOS ": PRINT: PRINT ""
5 PRINT "LONG. (CM) G. TUB. Y G. GO T. (C.C./S) CABEZA(CM)"
10 INPUT "D.N. DEL FLUIDO EN G./CM. CUBICOS?":D: INPUT "DISTANCIA DE SEP. DE GOTEROS EN CM.=?":L1: IN
PUT "VISCOSIDAD EN POISES=?":V: INPUT "DIAMETRO DE TUBERIA EN CM=?":B: INPUT "ACELERACION DE LA GRAV
EDAD EN CM POR SEG AL CUADRADO?":G
20 INPUT "CABEZA DEL FLUIDO EN CM=?":H: INPUT "AREA DEL ORIFICIO DEL GOTERO EN CM=?":A: INPUT "CONS
TANTE DEL POLIMERO S/UNIDADES?":C
25 PRINT "LONG. (CM) G. TUB G. GOT(C.C./S) H(CM)"
30 Q1 = A * C * (2 * G * H) * .5
40 Q = Q + Q1
50 A1 = 3.1416 * (B / 2) ^ 2
60 R1 = Q / A1
70 R3 = (B * R1 * D) / V
80 IF R3 > 2000 THEN 140
90 F1 = 64 / R3
100 H1 = (F1 * L1 * R1 ^ 2) / (2 * B * G)
109 HTAB (4): PRINT INT (L * 1000) / 1000;: HTAB (13): PRINT INT (Q * 1000) / 1000;: HTAB (22): P
RINT INT (Q1 * 1000) / 1000;: HTAB (30): PRINT INT (H * 1000) / 1000
120 L = L + L1: IF L > 10000 THEN 170
130 H = H + H1: GOTO 30
140 IF R3 > 3000 THEN 160
150 F1 = .316 / R3 ^ .25: GOTO 100
160 F1 = .0056 * .5 / R3 ^ .32: GOTO 100
170 END
```

Diagrama de flujo para cuestas de presión en tuberías de frutales de áreas medias.



PROGRAMA PARA CALCULAR LA CAIDA DE PRESION  
EN FRUTALES DE AREAS MEDIAS.

10000

```
10  REM PROGRAMITA PARA TUBERIAS DE FRUTALES DE AREAS MEDIAS
20  INPUT "DENSIDAD DEL AGUA EN GRAMOS POR CENTIM. CUBICO=?";D
30  INPUT "DISTANCIA DE SEPARACION DE LOS EMISORES EN LA CIRCUNFERENCIA EN CENTIMETROS=?";L1
40  INPUT "LONG. DE SEPARACION DE LAS CIRCUNFERENCIAS CON LONG. EQUIVALENTES DE ACCESORIOS EN CENTIMETROS=?";L2
50  INPUT "VISCOSIDAD EN POISES=?";V
60  INPUT "CUAL ES LA CABEZA EN CM=?";H
70  INPUT "CUANTO VALE EL DIAMETRO DE LA TUBERIA EN CM=?";B
80  INPUT "ACELERACION DE LA GRAVEDAD EN CM. POR SEG. AL CUADRADO=?";G
90  INPUT "AREA DEL ORIFICIO DEL EMISOR EN CM. CUADRADOS=?";A
100 INPUT "VALOR DE LA CONSTANTE DEL POLIMERO SIN UNIDADES=?";C
110 INPUT "VALOR DE LA LONG. DE MEDIA CIRCUNFERENCIA=?";L3
115 PRINT "LONG. G.TUB. G.GOT. CABEZA G.TOTAL"
116 PRINT "CM      G.C./S.  G.C./S.  CM      CM"
120 FOR N = 1 TO 4
130 Q1 = A * C * (2 * G * H) ^ .5; Q = Q + Q1
140 A1 = 3.1416 * (B / 2) ^ 2; R1 = Q / A1
150 R3 = (B * R1 * B) / V
160 IF R3 / 2000 THEN 190
170 F1 = 64 / R3
175 H1 = (F1 * L1 * R1 ^ 2) / (2 * B * G)
180 GOTO 240
190 IF R3 / 3000 THEN 180
200 F1 = .316 / R3 ^ .25
210 GOTO 175
220 F1 = .0056 + .5 / R3 ^ .32
230 GOTO 175
240 H = H + H1
250 IF N = 1 THEN 290
260 IF N = 2 THEN 310
270 IF N = 3 THEN 310
280 IF N = 4 THEN 317
290 LET H2 = H
300 GOTO 320
310 H2 = H2 + 2 * H1
315 GOTO 320
317 H2 = H2 + H1
320 HTAB (1); PRINT INT (L * 10) / 10; HTAB (9); PRINT INT (Q * 1000) / 1000; HTAB (16); PRINT
  INT (Q1 * 1000) / 1000; HTAB (25); PRINT INT (H * 10) / 10; HTAB (33); PRINT INT (H2 * 100) / 1
00
330 L = L + L1
340 NEXT N
```

```
350 Q = P * Q
360 H2 = Q / A1; R4 = (B * H2 * D) / V
370 IF R4 > 2000 THEN 450
380 F2 = 64 / R4
390 H3 = (F1 * L2 * K2 * 2) / (2 * B * G)
400 H2 = H2 + H3
410 L = L + 300
420 IF L > L3 THEN 500
430 LET H = H2
435 HTAB (1); PRINT INT (L * 10) / 10; HTAB (9); PRINT INT (Q * 1000) / 1000; HTAB (18); PRINT
  INT (Q1 * 1000) / 1000; HTAB (25); PRINT INT (H * 10) / 10; HTAB (33); PRINT INT (H2 * 100) / 1
  00
450 Q = Q / 2
460 GOTO 120
450 IF R4 > 3000 THEN 460
460 F2 = .316 / R4 * .25
470 GOTO 390
420 F2 = .0050 + .5 / R4 * .32
490 GOTO 390
500 END
```

ya se describió en el capítulo anterior.

En términos muy generales ya se mencionó el número de goteros por hilera en frutales de áreas pequeñas y medianas. El tipo de goteros al que es aplicable el diseño son de orificio, -- por la serie de ventajas que presentan sobre los demás modelos de emisores. Existen ecuaciones de flujo (1) sobre las cuales se basan todos los diseños existentes en el mercado y los nuevos modelos que desarrollen día con día. Es indispensable aplicar la ecuación de flujo del gotero en el diseño de los diámetros de las laterales; para ello se describirán las ecuaciones más conocidas sobre las cuales se han desarrollado varios tipos de goteros.

En los goteros de orificio la ecuación que controla el flujo del emisor está dada por:

$$Q = A C \sqrt{2 G H}$$

A = Area del orificio y cuyo diámetro es menor de 1 mm

C = Constante referente al polímero y su valor está entre 0.5 y 0.7

G = Aceleración de la gravedad y sus valores pueden ser :  
m/seg<sup>2</sup> , cm/seg<sup>2</sup> o ft/seg<sup>2</sup>

H = Cabeza de la manguera en m, cm, o pies

Los goteros de orificio son económicos, tienen la ventaja de ajustarse por un obturador movable y los hay de varios mode-

(1) Ref. Bibliográfica # 16 páginas 209 y 210

los.

Los microtubos y goteros de trayectoria larga se basan en las ecuaciones de flujo especificadas a continuación:

Flujo Turbulento

$$Q = \frac{LGD^5 \mu^2}{8 H_f P}$$

Para flujo Laminar

$$Q = \frac{LGD^4}{128 H_f \nu}$$

Las variables quedan definidas de la manera siguiente :

L = Longitud del microtubo

G = Aceleración

D = Diámetro del microtubo

f = Factor de fricción

H<sub>f</sub> = Cabeza del fluido

Q = Gasto del gotero

ν = Velocidad del agua dentro del microtubo

Antes de continuar con el procedimiento de diseño del filtro de arena conviene definir las variables de los programas y sus unidades como se especifica en la siguiente columna:

D = Densidad del agua en g/cm<sup>3</sup>

L<sub>1</sub> = Distancia entre los emisores con su longitud equivalente (si la hay) en cm

V = Viscosidad del agua en poises (0.01)

A = Area del orificio en cm cuadrados

H<sub>f</sub> = Cabeza del fluido en cm

C = Constante del polímero (0.5, 0.6, 0.7)

Q = Gasto de la tubería en  $\text{cm}^3/\text{seg}$

Q1 = Gasto del emisor en  $\text{cm}^3/\text{seg}$

A1 = Área transversal en la lateral;

R1 = Velocidad en la tubería

R3 = # de Reynolds

f1 = Factor de fricción en tuberías lisas

DH = Longitud equivalente del gotero si se considera, sus unidades son centímetros;

L2 = Distancia entre las circunferencias incluidas las long. -- equivalentes

En el segundo programa el diseño de emisores se distribuye como ya se especificó anteriormente. La distancia entre cada circunferencia es de 3 para plantaciones de  $5 \times 5$  ( $25\text{m}^2$ ) metros; en el diseño debe incluirse las longitudes equivalentes de los emisores.

Diseño de los filtros de arena para agua pluvial usada en irrigación por goteo.

El agua para riego por goteo debe de estar libre de sólidos en suspensión para ser distribuida en todo el sistema; en caso de tener pequeñas partículas suspendidas su presencia obstruye los orificios de los emisores e impide el funcionamiento del sistema. El agua pluvial al escurrir en una cuenca arrastra arenas y polvos finos que al llegar a un vaso de almacenamiento se sedimentan causando azolves. Existen polvos muy finos que después de un largo tiempo aún permanecen en suspensión; razón por la cual se recomienda que al usar agua pluvial en irrigación --

por goteo eliminarlos por filtración. Los filtros adecuados para este tratamiento son de arena; para su diseño se procede como se describirá en las páginas posteriores.

#### VARIABLES DE DISEÑO

El flujo a través de un lecho de partículas se realiza por los espacios libres existentes. Las dimensiones en los espacios dependen de las variables tales como: Porosidad de la capa, diámetro de partículas, esfericidad, orientación del empaquetado y rugosidad. Todas ellas juegan un papel muy importante en el diseño de un filtro; a excepción de la rugosidad que su efecto en flujo laminar es despreciable, solamente se tendrá en cuenta en flujos turbulentos. Algunas variables de los materiales se especifican en las figs. 4.2 y 4.3; otras se determinan en forma experimental. La porosidad se define como la fracción de espacios vacíos en partículas de un lecho; para el caso de un material cristalino (arena cuarzo) se tendrá en cuenta la porosidad entre partículas y no la interior de cada una de ellas; su valor va de 0 a 1.0.

La esfericidad de cada partícula del lecho queda definida como la relación de áreas entre una esfera de igual volumen de la partícula y el área de la propia partícula sus valores van de 1 a 0.0.

El tipo de flujo que se lleva a cabo en los espacios vacíos del lecho es laminar existiendo flujo turbulento parcialmente solo a velocidades muy elevadas, por lo tanto en el diseño úni-



camente se tendrá en cuenta el primero. Para el flujo de un líquido en un medio poroso existen números de Reynolds y factores de fricción distintos a los existentes en tuberías sin obstáculos que dependen de factores tales como diámetro de partícula, porosidad, espesor del lecho; estos factores se designan por  $Fr_e$  y  $F_f$  y  $Fr_e$  y  $F_f$  están determinados en tablas especificadas o experimentalmente. Para el caso de lechos de arena existen tablas experimentales que nos aportan los datos de  $Fr$  y  $F_f$ . Las restantes variables se determinan en forma experimental, directa; para el cálculo de la esfericidad existen también tablas experimentales. La determinación del diámetro promedio se realiza por medio de un tamizado y la porosidad es específica en cada material o determinada experimentalmente. De todas las variables descritas pueden incluirse como de mayor importancia, el tamaño de partícula porosidad y esfericidad. La orientación tiene importancia en partículas de forma definida, para el caso del empaquetado en desorden como lo es el lecho de arena y grava; no tiene importancia. La rugosidad en flujos laminares su efecto es casi nulo, solamente tendrá importancia en flujos de lechos altamente turbulentos.

Ecuación de flujo laminar a través de lechos porosos.

La ecuación aplicada en el diseño es la de Darcy que es una modificación de la ecuación de Poiseuille en la que se consideran las variables ya descritas.

La ecuación queda de la siguiente manera:

$$v = \left( \frac{g_c D_p^2 Fr_e}{32 F_f} \right) \left( \frac{-\Delta P_f}{L \mu} \right) = K \left( \frac{-\Delta P_f}{L \mu} \right)$$

En donde las variables se definen como:

$g_c$  = Constante gravitacional

$D_p$  = Diámetro promedio de partícula

$F_{Re}$  = Factor correctivo del número de Reynolds

$L$  = Espesor del lecho de arena y grava

$\mu$  = viscosidad del agua en poises

$P_f$  = Caída de presión en el lecho, m, cm, psig

$v$  = Velocidad en el filtro  $m^3/m^2min$

En el diseño de cualquier lecho de arena y su área es necesario se conozcan las variables anteriores. Para conocer los factores  $F_{Re}$  y  $F_f$  se tienen las tablas experimentales ya mencionadas en las cuales los factores están en función de las variables porosidad y esfericidad. La porosidad y esfericidad se calculan en forma experimental directa.

La caída de presión será función del espesor del lecho y los sólidos en suspensión retenidos. Si se trata de un filtro que opere con la fuerza de gravedad la caída de presión puede reducirse a  $\Delta z$  que iguala al espesor del lecho. Si se trata de un filtro de arena que trabaja continuamente el aumento de los sólidos en suspensión, retenidos provoca un aumento a la resistencia al flujo razón por la cual es necesario un lavado a contracorriente periódico ya que en ocasiones la velocidad llega a ser 0.5 su valor inicial; para el lavado anterior algunos filtros ya están provistos de válvulas que permiten invertir el flujo a para su limpieza. El depósito que contiene el lecho de arena se recomienda sea de acero inoxidable y para que opere con la presión de la unidad de control debe de estar cerrado.

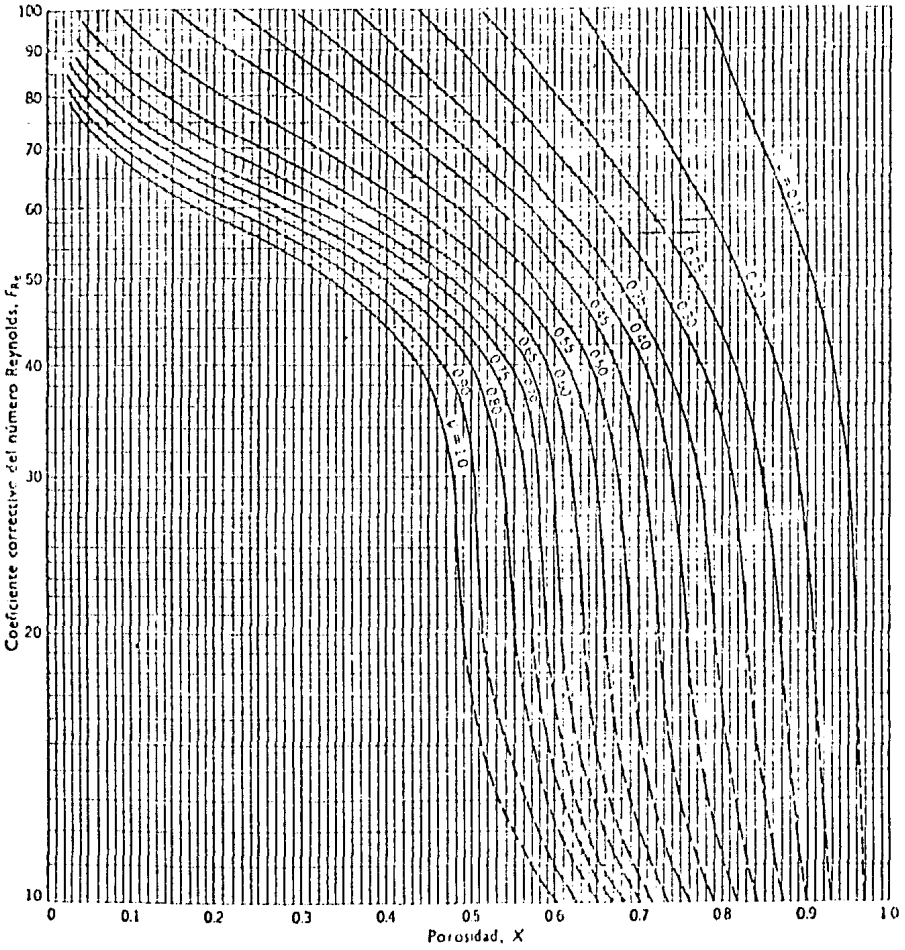


Fig. 4.2

### CIRCULACIÓN DE FLÚIDOS A TRAVÉS DE MEDIOS POROSOS, I

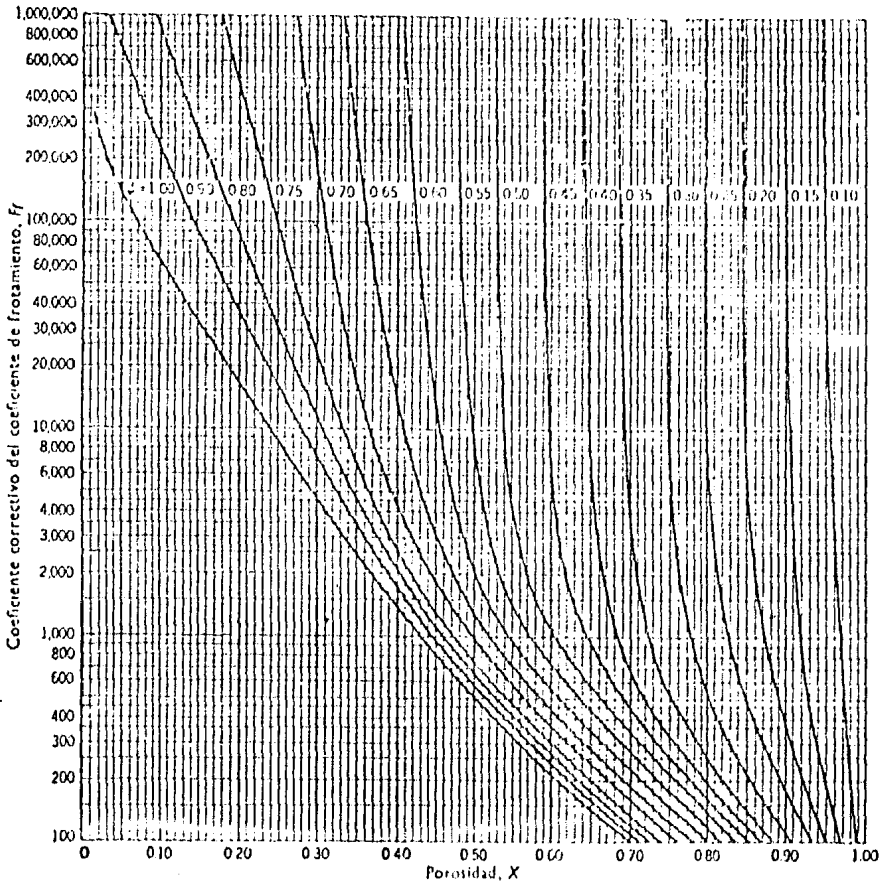


Fig. 4.3

Existen algunos filtros abiertos que operan con la fuerza de gravedad y la presión atmosférica; pueden construirse los depósitos de arena; de madera cemento o algún otro material adecuado. Estos filtros son muy económicos pero tienen la desventaja de ser incómodo el lavado de los lechos.

En la aplicación de filtros para irrigación por goteo es conveniente se tengan dos conectados a la bomba o depósito principal; si se desea que el sistema trabaje continuamente; pues es necesario un lavado a contracorriente periódicamente conforme se acumulen los sólidos en suspensión y obstruyan el flujo en cada uno de ellos. Contándose con dos filtros mientras se realiza el lavado de uno, opera el otro y viceversa. Los valores de velocidad en que trabajan son de  $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min}$  a  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min}$  para filtración de agua; para lavado a contracorriente la velocidad máxima de operación es de  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min}$ ; no se recomienda velocidades superiores porque se pueden tener pérdidas de arena del filtro arrastradas por el agua.

#### Diseño de las bombas del sistema

En el diseño de la bomba del sistema de almacenamiento y riego por goteo deben considerarse varios factores a saber:

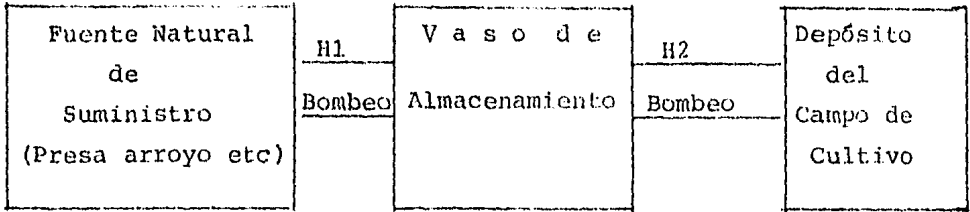
- a) Distancia entre la fuente de abastecimiento (río, arrollo, presa etc.) y el depósito de almacenamiento.
- b) Distancia entre el campo de cultivo y el vaso de almacenamiento.

c) Diferencias de altura (si las hay) entre la fuente de abastecimiento y el lago de almacenamiento.

d) Eficiencia del motor y economía

Para que las bombas presten un servicio eficiente se busca que su diseño satisfaga el volumen total del vaso de almacenamiento en épocas lluviosas y la alimentación de agua al depósito del sistema de riego por goteo en período de sequía. Los motores que operen las bombas se prefiere sean de combustión interna, aunque no se excluye la posibilidad de usarse bombas de motores eléctricos si es que existe fuente de corriente cercana. Las bombas operadas deberán poseer impulsor que tolere la presencia de sólidos en suspensión; los tipos de impulsores recomendados para aguas de esta naturaleza son abiertos y semiabiertos pues toleran diámetros de partículas suspendidas desde 0.9 hasta 3.81 cm. En caso de existir sólidos en suspensión de mayor tamaño es apropiado colocar una malla en los tubos de succión que impedirá su paso a los impulsores. Otra recomendación para las motobombas es que sean portátiles para mayor facilidad en su manejo y transporte. Si se usan bombas eléctricas su instrumentación y control son más fáciles que las de motor de combustión interna.

En el esquema siguiente puede representarse el proceso que sufre el agua pluvial antes de ser suministrada al campo de cultivo:



### Determinación de la cabeza de bombeo

La variable  $H_1$  representa la cabeza total existente entre la fuente de suministro y el vaso de almacenamiento; su valor numérico aumenta si el diámetro de las tuberías es pequeño; para su cálculo se llevará a cabo un balance de energía entre la fuente de abastecimiento y el lago de almacenamiento. Para ello son necesarios los datos de diferencia de altura ( $DZ$ ), la longitud total, el diámetro de tubería, tipo de material usado, propiedades del fluido etc.

La ecuación usada para el balance de energía es la de Bernoulli y se expresa como:

$$H_1 = \frac{(DZ)g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{V^2}{2g_c} + \Sigma F.$$

Los términos  $\Delta P/\rho$  y  $v^2/2g_c$  pueden considerarse despreciables por ser muy pequeños. Los términos de la ecuación de mayor importancia son  $\Sigma F$  y  $\frac{DZg}{g_c}$ ; el primero representa las pérdidas por fricción y el segundo la diferencia de altura; ambos se miden en metros de fluido.

Para determinar las pérdidas por fricción se cuentan con -

las tablas 4.11 y 4.12 en las cuales se especifican los diámetros disponibles para un determinado gasto en G.P.M. y sus caídas de presión por cada 100 pies para tuberías de P.V.C. de cédula 40 y 80 respectivamente.

El valor de DZ se suma a las caídas de presión en metros y se obtiene la cabeza total H1. La densidad y viscosidad son  $1 \text{ g/cm}^3$  y  $1 \text{ cps}$ . El agua pluvial arrastra arenas y polvos finos que se sedimentan parcialmente en la fuente de abastecimiento. Los polvos finos restantes no varían mucho las propiedades antes mencionadas.

Para calcular la potencia necesaria para el bombeo se multiplica el gasto másico promedio del agua pluvial por la cabeza total en metros y se divide entre la eficiencia y valor equivalente de un H.P. que es de  $76.04 \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}}$ . Para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$P(\text{HP}) = \frac{H1 * W * 100}{\eta * 76.04}$$

H1 = Cabeza total en metros

W = Gasto másico Kg/seg

$\eta$  = Eficiencia en %

P = Potencia en H.P.

En el diseño del depósito de alimentación a la red de goteo se consideran el consumo diario del predio agrícola; si el depósito se construye a la altura conveniente no será necesario producir un gradiente de presión para operar la red de irrigación.



Si se prefiere producir un gradiente de presión por bombeo se considerará el tiempo máximo de operación del motor de combustión interna y su reemplazamiento ya sea de la motobomba o el motor únicamente. La capacidad del depósito variará según la superficie total irrigada permeabilidad del terreno y otros factores determinados por el técnico de campo; su capacidad variará desde  $20\text{m}^3$  a cientos o arriba de 1000 y su costo será proporcional a su capacidad. Por datos reportados por ingenieros civiles de la S.A.R.H. (1) el costo promedio de un depósito de ladrillo reforzado con varilla de fierro es alrededor de  $\$12500 \text{ \$/m}^3$  hasta el año de 1984; si se desea una actualización basta hacer uso de los índices inflacionarios de los años 1984 y parte de 1985 registrados en la tabla 4.8.

#### Influencia de los costos en el proyecto

En el momento de llevar a cabo un proyecto ya con anterioridad debe conocerse el beneficio de la inversión en  $\text{\$/año}$ , costos fijos y costos de operación del sistema de bombeo e irrigación y costo de construcción del vaso de almacenamiento. La producción fructífera en México es aún escasa de 4 788 000 hectáreas de riego solamente se destinan al cultivo de frutales 871,885. Por las razones anteriores existen buenas perspectivas en la realización de un proyecto encaminado al cultivo de frutales por irrigación gota a gota. Las principales ventajas de este tipo de riego ya quedaron mencionadas anteriormente; unas de ellas son una mayor producción (60 u 80% más que otros

(1) Ver última referencia al final.

métodos) y mejor calidad de frutos. El beneficio anual puede conocerse en forma aproximada consultando datos estadísticos promedio sobre producción frutícola en toneladas por hectárea; así como sus precios promedio en el medio rural.

Los datos aportados en la tabla 4.7 fueron proporcionados por el CONAFRUT y sus precios promedios son del año de 1983 para actualizarse basta conocer el índice inflacionario del año 1984 tabulado en la tabla 4.8

La manera de optimizar los costos totales es comparando varias posibles alternativas y seleccionar la mejor en economía y diseño. Los factores que influyen en los costos de un sistema de riego por goteo son: la distancia de la fuente de abastecimiento del agua, tipo de cultivo, material de la tubería, topografía del terreno y cantidad de superficie irrigada.

En el caso de un abastecimiento de agua muy alejada del predio agrícola puede ser antieconómico el riego por goteo, lo mismo puede suceder si la densidad del cultivo es alta. En frutales los costos iniciales de riego gota a gota son los más económicos y los beneficios a mediano plazo muy remunerativos. Existen límites en los diámetros de las laterales a usar por el costo que se eleva a medida que los diámetros son mayores y se considerarán en optimizar costos totales.

Optimización de costos en el bombeo para almacenamiento e irrigación gota a gota.

En todo sistema de bombeo son necesarias las curvas de opera

ción del sistema y las curvas de operación de la bomba, con -- ellas puede seleccionarse el punto óptimo de operación en eficiencia gasto y cabeza. Las curvas de operación de la bomba -- (H vs Q,  $\eta$  vs Q y RPM vs H) son proporcionadas por los fabricantes. La de operación del sistema puede calcularse para dife-- rentes diámetros y gastos. Antes de usar cualquier curva de -- operación de un diámetro determinado es útil conocer los cos-- tos de operación de cada una de ellas a fin de seleccionar el \_\_ diámetro óptimo.

Si se desea una buena optimización se comparan varias posibles alternativas teniendo en consideración los costos fijos -- en el sistema de bombeo e irrigación por goteo que comprenden-- compra de equipo, instalación, instrumentación y control (si-- los hay) así como supervisión y mantenimiento.

Su aumento o disminución dependen de una mayor o menor ca-- pacidad de los equipos, aumento o disminución del diámetro de \_ tuberías, calidad del material de fabricación etc. Los costos \_\_ de operación en un sistema de bombeo abarcan costo de combustible y lubricantes y serán mayores si aumenta la potencia de la bomba.

El procedimiento para optimizar el diseño de la tubería de P.V.C. y potencia de las bombas consiste en comparar varias alternativas y seleccionar la mejor en economía y diseño como se especifica en el ejemplo numérico final. Existen intervalos de flujo para los diámetros recomendados para ello las tablas 4.11 y 4.12 nos reportan las velocidades de flujo máximo. También se

especifican las caídas de presión por cada 100 pies a diferentes velocidades. En una tubería cualquiera las longitudes equivalentes de los coples de unión son despreciables, en cambio - las longitudes equivalentes de codos y demás accesorios sí se consideran, y se especifican en la tabla 4.6 que son el resultado de corridas experimentales para tuberías lisas (3)

Para la construcción de la tabla para optimizar el equipo se considera una vida útil de 10 años para tubería, bomba y accesorios. El lago de almacenamiento puede tener una vida útil de 20 ó más años, para fines de cálculo se considera una vida mínima de 20 años. El motor de combustión interna de la bomba tiene una vida útil menor y su diseño está calculado para un intervalo de 2500 - 3500 horas. Para uso de almacenamiento y riego por goteo su vida será de 5 años aproximadamente.

Algunas bombas de alto gasto pueden ser operadas con motor de tractor, una bomba operada en esta forma puede emplearse para bombear agua en períodos lluviosos y secos. Un agricultor - propietario de un tractor puede tener alcance a construir vasos de almacenamiento mediante el procedimiento que se menciona en este capítulo. En la figura 4.10 se presentan curvas de operación para bombas operadas con tractores de 30 40 y 50 H.P.

Existen valores de gasto cabeza total y capacidad del vaso de almacenamiento para los cuales se recomienda una potencia - determinada de la bomba a instalar y se aportan en la siguiente página. El material de la tubería se recomienda sea de P.V.  
(3) Ver página siguiente

C; entre las ventajas que presenta son: más bajo costo, es irrompible a temperaturas muy bajas (si hay congelación) alta resistencia a ácidos y bases fuertes y mayor facilidad en la instalación etc.

El ingeniero civil encargado del diseño y construcción del dique o diques del vaso medirá y aportará su capacidad que será útil juntamente con la cabeza total de la tubería y diferencia de altura  $DZ$  (entre vasos de sedimentación y almacenamiento) para fijar el gasto diario (en meses lluviosos) y potencia de la bomba. La tubería se considera lisa debido a la bajísima rugosidad que presenta y es despreciable. Los datos que son necesarios para calcular la cabeza total son: Caídas de presión de la tubería, relaciones  $L/D$  de accesorios y válvulas de regulación de flujo. Las páginas 134, 143 y 142 presentan las tablas 4.11 y 4.12 para caídas de presión y las relaciones  $L/D$  de algunos accesorios (1). Posteriormente se presentan las curvas de operación de las motobombas recomendadas para almacenamiento (páginas 138-141). Para la selección de la potencia de la bomba a usar ya se han considerado todos los factores descritos en este capítulo y en los anteriores y pueden resumirse en los intervalos especificados en la tabulación posterior. De la primera a la segunda clasificación las cabezas de las bombas son pequeñas, de la quinta a la sexta son cabezas altas y de la séptima a la novena son medianas. Sus curvas de operación se presentan de las figuras 4.10-4.10f.

(1), (3) Ref. bibliográfica # 17 págs. 61-67

Volumen del Vaso	Cabeza Total	Flujo	Potencia
1a. 9000 - 36 000 M <sup>3</sup>	32 - 14 m	100 - 400 l/min, 4.h.P.	
2a. 9000 - 72 000 M <sup>3</sup>	38 - 14 m	100 - 800 l/min, 8 H.P.	
3a. 35000 - 125 000 M <sup>3</sup>	40 - 14 m	400 - 1400 l/min, 12 H.P.	
4a. 35000 - 200 000 M <sup>3</sup>	17 - 7 m	400 - 2500 l/min, 18 H.P.	
5a. 27000 - 580 000 M <sup>3</sup>	118 - 48 m	300 - 650 l/min, 20 H.P.	
6a. 35000 - 62 000 M <sup>3</sup>	1.12 - 58 m	400 - 700 l/min, 25 H.P.	
7a. 66000 - 350 000 M <sup>3</sup>	45 - 17 m	700 - 3750 l/min, 30 H.P.	
8a. 66000 - 350 000 M <sup>3</sup>	50 - 29 m	750 - 3750 l/min, 40 H.P.	
9a. 66000 - 400 000 M <sup>3</sup>	60 - 30 m	750 - 4500 l/min, 50 H.P.	

La cabeza total de la bomba puede ser calculada conociendo las caídas de presión, las relaciones longitud / diámetro y la diferencia de altura entre la fuente de abastecimiento y el vaso de almacenamiento. En la tubería de P.V.C. existen límites de presiones y flujos permisibles que son proporcionados por los fabricantes (1) y se reportan en las tablas 4.11 y 4.12 - Las relaciones L/D se reportan en la tabla 4.6 y son datos experimentales. Los diámetros en que se fabrican tuberías de P.-V.C. van desde 1/2 hasta 10 in. y cada volumen de vaso tendrá un diámetro óptimo para el bombeo.

El beneficio de un proyecto puede evaluarse conociendo la producción anual media de frutales por hectárea y sus precios promedio en el mercado rural. La inflación en los últimos años ha sido muy alta y los precios se han elevado en forma considerable. En la tabla 4.7 se reportan los precios de las frutas en el mercado rural hasta el año 1983; con los índices infla-

(1) Ref. bibliográfica # 15 pág. 7

cionarios de la tabla 4.8 pueden actualizarse precios hasta el año 1985.

El procedimiento para seleccionar el diámetro más apropiado en las mangueras de riego por goteo es calcular las caídas de presión comenzando con las de menor diámetro hasta encontrar caídas de presión inferiores al 20%. El diseño de los equipos restantes queda optimizado no excediendo su capacidad requerida.

Las instalaciones para el riego por goteo son muy fáciles y en consecuencia son bajos, aproximadamente en una hectárea son del 15-20% de los costos del equipo.

#### Evaluación de costos

Los costos del equipo son proporcionales a su capacidad lo mismo sucede con los costos de operación. En las tablas 4.5a y 4.5 b se reportan los costos de tubería, diferentes accesorios y mangueras de polietileno; en las primeras se incluye el precio de los coples. Los costos de las motobombas con motores de combustión interna de 3600 rpm hasta el año 1985 están tabulados en la tabla 4.9. En la tabla 4.9a quedan especificados los costos de accesorios y de un modelo de goteros de orificio de polietileno de diferentes densidades.

Los costos de instalación del sistema de bombeo son de 40 a 50% con respecto al precio del equipo. En el sistema de rie-

go por goteo son mucho más bajos por la mayor facilidad de la instalación (15-20% del costo total); pueden ser muy útiles -- los índices inflacionarios de la tabla 4.8 para una actualización.

El costo del Vaso de almacenamiento es directamente proporcional a su capacidad y al tipo de dique que se construya. Los costos pueden evaluarse conociendo el precio por metro cúbico de cortina y son muy variables, y varían desde  $84000\$/m^3$  hasta  $400\ 000.\$/m^3$  o más. Para el caso de almacenamientos inferiores a una capacidad de  $1000\ 000\ M^3$  los precios unitarios pueden ser los más bajos como pueden ser  $84000$  o  $131\ 000\ \$/m^3$ ; para estos casos las cortinas del lago de almacenamiento están en el intervalo de costos ya mencionado(1)

Para evaluar los costos de operación se necesita conocer el consumo promedio de combustible en litros por hora de la motobomba que dependerá de su potencia y las rpm para ello se reportan los costos de gasolina y lubricantes y en la figura 4.4; también se especifica el consumo l/h de combustible para motores de diferente potencia y a una velocidad de 3600 rpm.

Otra manera de hacer la evaluación de costos fijos y de operación es evaluando los costos de operación en función del costo de la motobomba considerando las vidas útiles del motor y de la bomba recomendadas por los fabricantes. Los costos de operación pueden ser también evaluados en función del costo del motor como se especifica en la tabla 4.9 en la cual se están considerando una velocidad de 1800 rpm y una vida útil de

(1) Ver referencia # 20



3000 horas. El costo de la bomba únicamente es de 20 - 30 % de costo de la motobomba.

Consumo promedio de Gasolina en l/h en motores de combustión interna a 3600 rpm (1)

Potencia Motor	Costo\$/l 52.5	Consumo l/h	C.Aceite \$316/l
4		1.24	
6		1.30	
8		1.55	
10		2.87	
12		3.86	
14		3.86	
16		6.40	
18		7.20	
20		8.0	
25		10.2	
30		12.6	
40		16.5	
50		21.0	

Tabla 4.4

(1) La información sobre los consumos de gasolina en los motores anteriores fueron proporcionados por las compañías SELMEC y VOLKSWAGEN de México.

Costo de tubería de P.V.C. en \$/m

Diámetro	Espesor	Costo
13 mm.....	1.6 mm	120.16 \$/m
13 "".....	4.3 ""	244.7 "
19 "".....	2.0 ""	189.5 "
19 "".....	1.5 ""	170.0 "
19mm.....	4.4 mm	341.0 \$/m
25"".....	2.5 ""	278.0 "
25"".....	1.5 ""	212.0 "
32"".....	1.6 ""	247.0
38"".....	1.9 ""	328.0 "
50"".....	2.3 ""	417.0
60"".....	2.8 ""	621.0 "
75"".....	3.4 ""	883.0 "
100"".....	4.4 ""	1376.0 "
100"".....	2.8 ""	910.0 "
150"".....	6.5 ""	2087.0 "
150"".....	4.1 ""	1913.0 "
200"".....	8.4 ""	5301.0 "
200"".....	5.3 ""	3393.0 "
254"".....	10.0 ""	9064.0 "
127"".....	5.45""	2236.0 "

Tabla 4.5

(1) La información anterior fue proporcionada por la gerencia de ventas de la compañía Plásticos Rex, S.A.

Accesorios

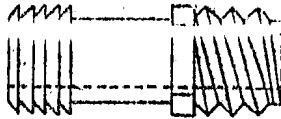
Costo

Dimensiones

Adaptador de inserción

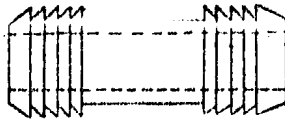
Hierro a plástico

\$ 30.00	13 mm
\$ 45.00	19 mm
\$ 60.00	25 mm
\$ 90.00	32 mm
\$ 115.00	38 mm
\$ 175.00	50 mm



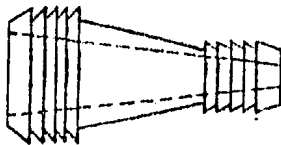
Cople de inserción  
plástico o plástico

\$ 30.00	13 mm
\$ 45.00	19 mm
\$ 60.00	25 mm
\$ 90.00	32 mm
\$ 115.00	38 mm
\$ 175.00	50 mm



Cople reducción  
plástico a plástico

\$ 30.00	13 X 6 mm
\$ 45.00	19 X 13 mm
\$ 60.00	25 X 19 mm
\$ 90.00	32 X 25 mm
\$ 115.00	38 X 32 mm
\$ 160.00	50 X 25 mm
\$ 175.00	50 X 38 mm
\$ 115.00	38 X 25 mm



Tapón de inserción  
plástico

\$ 30.00	13 mm
\$ 45.00	19 mm
\$ 60.00	25 mm
\$ 90.00	32 mm
\$ 115.00	38 mm
\$ 175.00	50 mm

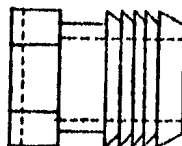
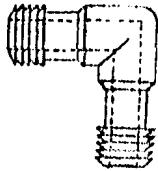


Fig. 4.5a

Accesorios

Codo 90°  
plástico a plástico

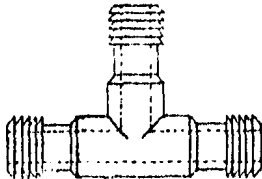


Costos

Dimensiones

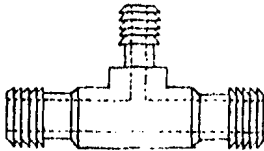
\$ 45.00	13 mm
\$ 60.00	19 mm
\$ 80.00	25 mm
\$ 125.00	32 mm
\$ 145.00	38 mm
\$ 240.00	50 mm

Tee inserción  
plástico a plástico



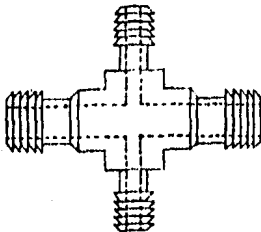
\$ 60.00	13 mm
\$ 70.00	19 mm
\$ 100.00	25 mm
\$ 160.00	32 mm
\$ 205.00	38 mm
\$ 305.00	50 mm

Tee reducción  
plástico a plástico 2  
plástico



\$ 100.00	25X25X13 mm
\$ 265.00	32X32X13 mm
\$ 305.00	38X38X13 mm
\$ 340.00	38X38X19 mm
\$ 350.00	38X30X25 mm
\$ 360.00	50X50X13 mm
\$ 410.00	50X50X19 mm
\$ 420.00	50X50X25 mm

Cruz reducción



\$ 390.00	50X50X13X13 mm
\$ 460.00	50X50X19X19 mm
\$ 470.00	50X50X25X25 mm

Fig. 4.5b

Relaciones L/D de los accesorios más importantes en tuberías de P.V.C.

A L/seg	L/D	Accesorio
0.95	56.4	Codo de 90°
0.80	38.09	"
0.66	28.19	Codo de 90°
0.45	11.42	"
0.95	34.28	T de 45°
0.81	22.85	"
0.58	11.42	"
0.51	8.38	"
0.97	44.19	T de 90°
0.95	38.0	"
0.91	34.3	"
0.87	30.5	"
0.97	100.5	Codo de 45°
0.95	96.75	"
0.94	91.4	"
0.88	80.0	"
0.25	241.52	Reducción brusca
0.226	208.0	"
0.192	152.4	"
0.1678	115.0	"
0.245	22.8	Ensanchamiento brusco
0.206	18.28	"
0.171	14.47	"
0.119	7.61	"

Tabla 4.6

ACCESORIOS

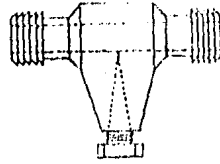
Costo

DIMENSIONES

NOMBRE

No. Diámetro

Embudo (gotero)



\$ 44.00

6mm

\$ 50.00

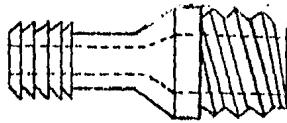
13mm

Adaptador de inserción c/reducción

Hierro a Plástico

\$ 45.00 19 X 13mm

\$ 60.00 25 X 19 mm.



Diámetro mm	Pulg.	Espesor	Presión de Op. a 23°C.	Longitud	Costo
13	1/2	1.5	7 Kg/cm <sup>2</sup>	100 m	7320.00
13	1/2	1.8	8.8 Kg/cm <sup>2</sup>	100 m	8662.00
19	3/4	2.3		100 m	14274.00
19	3/4	1.5	56 Kg/cm <sup>2</sup>	100 m	9516.00
25	1	1.8		100 m	14030.00
32	1 1/4	2.3		100 m	23058.00
38	1 1/2	2.7		100 m	31110.00
50	2	3.5		100 m	50874.00

Fig. 4.5c

TABLA 4.7

Espece	Superficie Cultivada (Has) ,	Rendimiento (Kg/Ha),	Precio Med (\$/TON)
Aguacate	60 000 Has	8000 Kg/ ha	22278
Aceituna	2 600 Has	4000 Kg/ ha	16256
Ciruela	3 950 Has	5500 Kg/ ha	25305
Chabacano	1 600 Has	5800 Kg/ ha	21840
Dátil	490 Has	2500 Kg/ ha	86048
Durazno	28 000 Has	6200 "	31555
Fresa	4 389 Has	12600 Kg/Ha	94268
Guayaba	16 500 Has	15500 "	11400
Limón	69 500 Has	10500 "	9500
Manzana	54 000 Has	7000 "	23112
Membrillo	2 350 Has	17000 "	14457
Pera	5 200 Has	8600 "	24730
Naranja	16 500 Has	12500 "	8700
Lima	3 000 Has	10500 "	11250
Uva	69 234 Has	10925 "	20373
Plátano	77 000 Has	21000 "	8588
<b>T O T A L</b>	<b>871 885 Has</b>		

TABLA 4.8

Indices inflacionarios registrados por el Banco de México  
en los últimos 12 años.

A ñ o	I n d i c e
1973	21.3 %
1974	20.5 %
1975	11.4 %
1976	27.2 %
1977	20.7 %
1978	16.2 %
1979	20.1 %
1980	29.8 %
1981	28.7 %
1982	98.8 %
1983	80.8 %
1984	59.2 %
1985	Ene.- 7.4 %
	Feb.- 4.2 %



Costo aproximado de algunas motobombas con motor de combustión interna

Potencia (H.P.)	Costo en el año - de 1985	Costo del consumo de aceite en su vida útil en forma aproximada	Costo del consumo de gasolina en su vida útil.
4	110 000	17% del Costo total del motor	32% del C.Total del motor
8	210 000	"	"
12	300 000	"	"
18	308 000	"	"
25	550 000	"	"
30	620 000	"	"
45	960 000	"	"
50	1 260 000	"	"
42.5	850 000	"	"

Tabal 4.9

En la tabla anterior los costos sobre el consumo de combustible están considerados para una velocidad del motor de 1800 rpm. La vida útil del motor es de 2 500 a 3 500 horas.

Costos de los filtros de arena

Gasto medio de Filtración	Costo
22 l/seg	\$ 260 000
5 l/seg	\$ 140 000

DESCARGA 5" SUCCION 4" VELOCIDAD 1750 R.P.M.

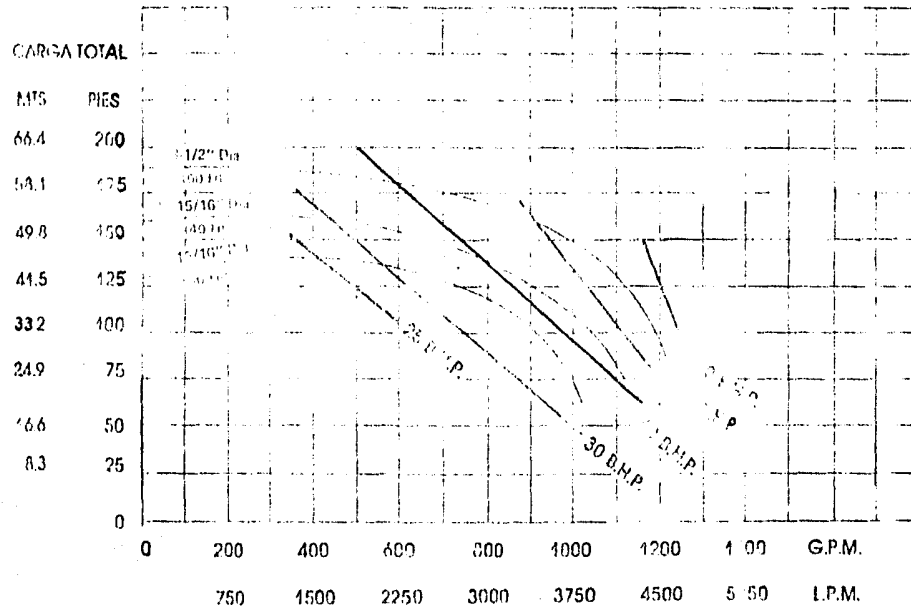


Figura 4.10. Bombas centrifugas operadas con motor de tractor.

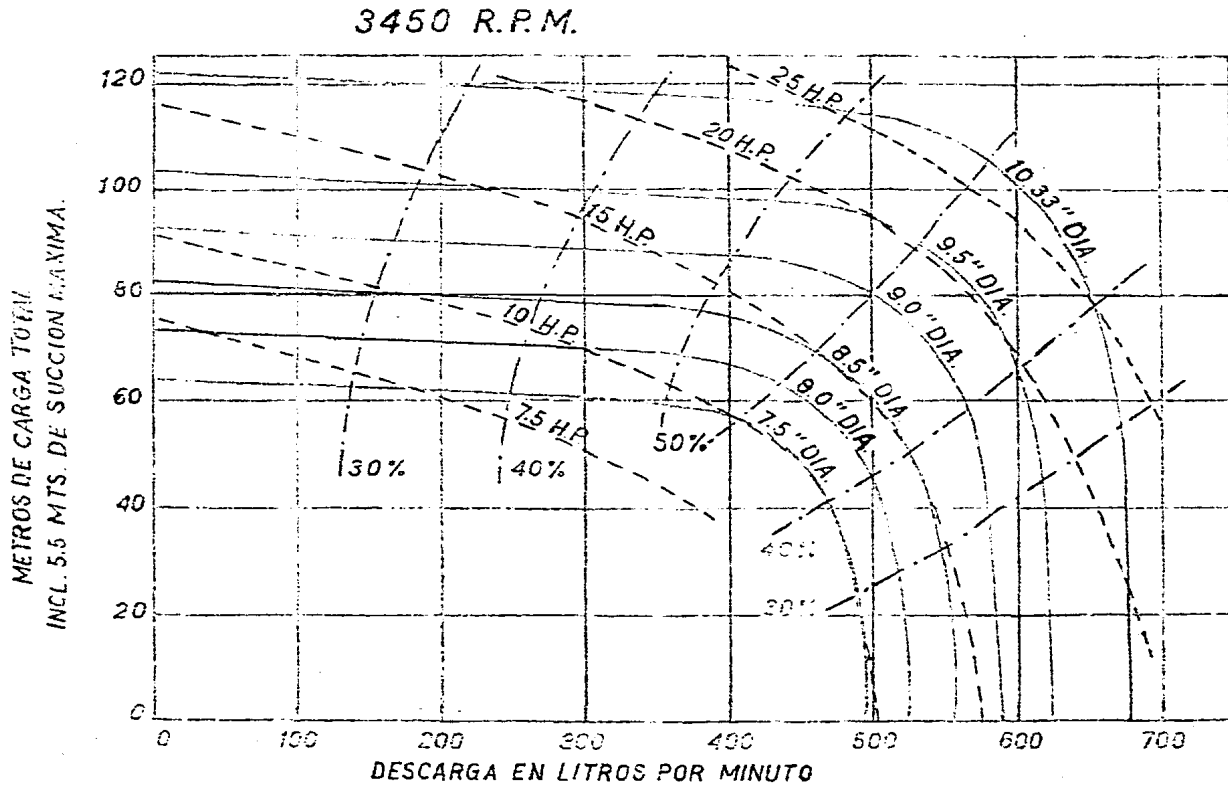


Fig. 4.10a. Curvas de funcionamiento de bombas desde 7.4 H.P. a 25 H.P.

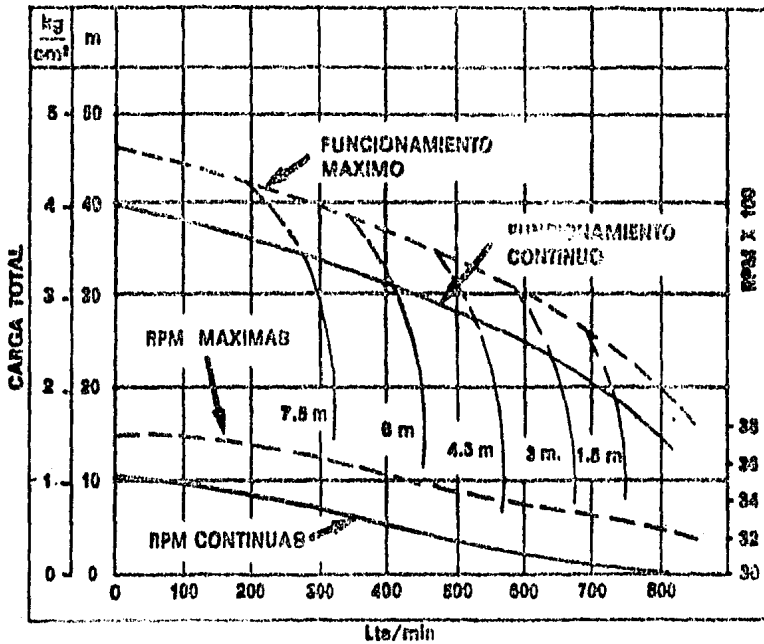


Fig. 4.10 b. Curva de funcionamiento para bombas de 4 H.P.

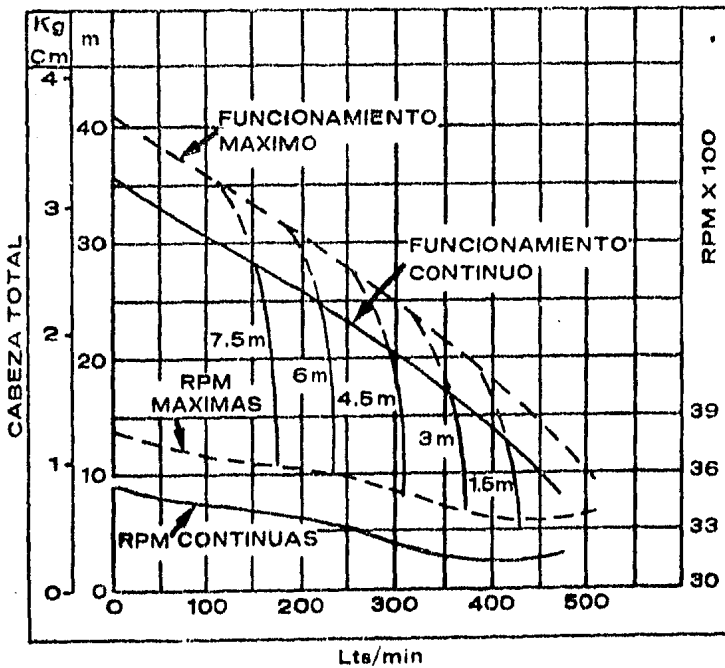


Fig. 4.10 c. Curva para bombas de 8 H.P.

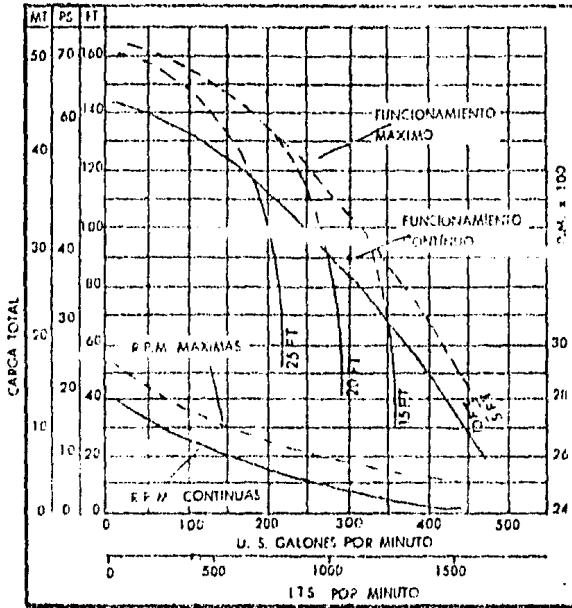


Fig. 4.10 c. Curva de funcionamiento para bombas de 12 H.P.

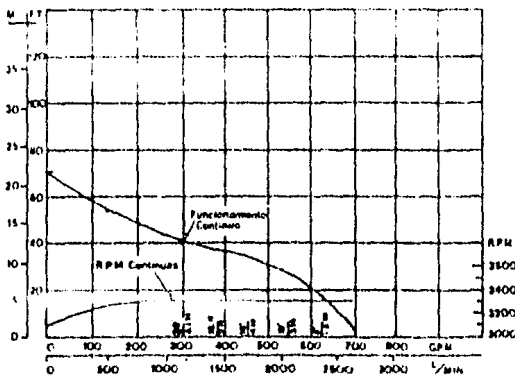


Fig. 4.10 d. Curva de funcionamiento para bombas de 18 H.P. con impulsor abierto.

Velocidad (ft/min)	Velocidad (m/s)	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdida de carga (ft/100 ft)	Pérdida de carga (m/100 m)	Velocidad (ft/min)	Velocidad (m/s)	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdida de carga (ft/100 ft)	Pérdida de carga (m/100 m)
2															
4															
6															
8															
10															
12															
15															
18															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
110															
120															
130															
140															
150															
160															
170															
180															
190															
200															
210															
220															
240															
260															
280															
300															
320															
340															
360															
380															
400															
450															
500															
550															
600															
650															
700															
750															
800															
850															
900															
950															
1000															
1100															
1200															
1300															
1400															
1500															
1600															
1700															
1800															
1900															
2000															
2100															
2200															
2400															
2600															
2800															
3000															
3200															
3400															
3600															
3800															
4000															
4500															
5000															
5500															
6000															

Tabla 4.12. Pérdidas de fricción en pies para tubería de PVC cédula 40 por cada cien unidades.



Ejemplo: Como un caso real se plantea la construcción de un vaso de almacenamiento a una distancia de 300 metros de un río con una capacidad de 250 000 M<sup>3</sup> y una diferencia de nivel de 20 m. Se desea saber la potencia de las bombas para transportar el volumen anterior en un período lluvioso de 62 días (julio y agosto), sus costos de operación, costos fijos, costos totales y diámetro óptimo. Si el agua almacenada riega una superficie de 110 hectáreas de durazneros por el sistema de riego por goteo. ¿Cuál sería el costo total anual?, considere-se un consumo de agua equivalente a 4.5 m<sup>3</sup>/árbol en el período de sequía. ¿Cómo sería la rentabilidad respecto a los costos totales? El escurrimiento total del río en épocas lluviosas es dos millones de metros cúbicos. Un esquema sobre el caso se presenta en la página siguiente.

Diseño y optimización del sistema de bombeo y almacenamiento.

1.- El primer paso consiste en determinar el gasto diario en los meses de julio y agosto como sigue:

$$Q = \frac{V \text{ vaso}}{t \text{ flujo}} = \frac{250\,000 \text{ m}^3}{5\,356\,800 \text{ seg}} = 4.67 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 4.67 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{seg} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = \frac{46.7 \text{ l}}{\text{seg}}$$

$$t = 62 \text{ días} = 5\,356\,800 \text{ seg.}$$

2.- Como segundo paso se transforman las unidades anteriores al sistema inglés en Gal./min y se obtienen las unidades en el mismo sistema de acuerdo con las tablas 4.11 y 4.12

$$Q = 46.7 \frac{\text{l}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{\text{min}} \times \frac{1}{3.785} \frac{\text{Gal}}{\text{l}} = 740.3 \frac{\text{Gal}}{\text{min}}$$



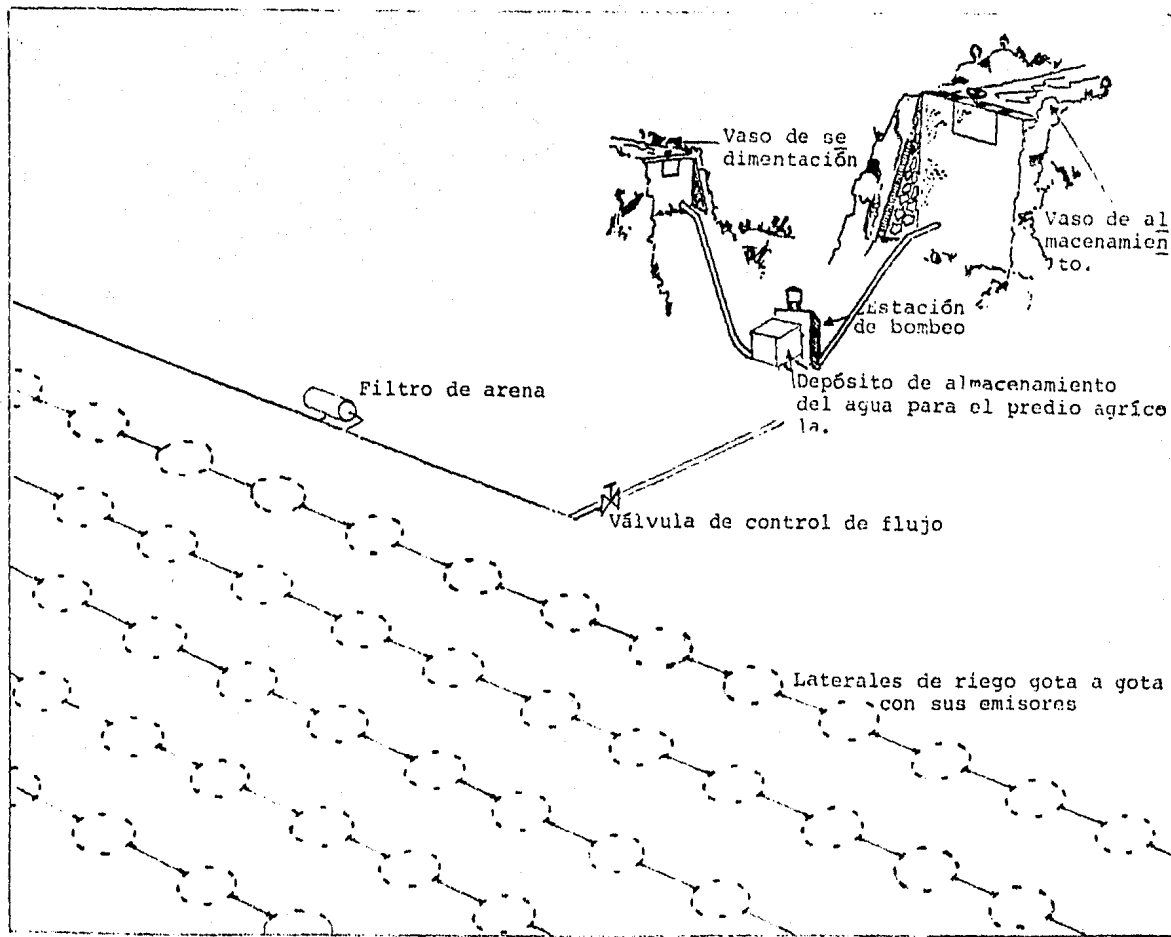


Fig. 4.15

- 3.- Una vez obtenido el flujo en galones por minuto se consultan tablas ya mencionadas y se tienen los diámetros comerciales disponibles para ese flujo y se anotan en la tabla 4.15, lo mismo que las caídas de presión.
- 4.- Se obtiene la relación L/D de la tabla 4.6 para un codo de 90° que llevará la tubería. Con la relación anterior se obtienen las longitudes equivalentes de diferentes diámetros se anotan en la tabla 4.15
- 5.- Se obtiene la cabeza total para los diferentes diámetros disponibles y se anotan en la misma tabla.
- 6.- Ya que se tiene la cabeza total se procede a calcular la potencia de las bombas necesarias

Para este problema los tres primeros pasos ya se han efectuado.

Paso # 4: Para un codo de 90°;  $L/D=56.4$ ,  $Leq=56.4 D$

Paso # 5:  $H_{total} = \sum F + DZ + Leq$

Para  $D= 3.5"$   $H_{Total} = 3 \times 54.3 + 20 + 5.0 = 188.0 m$

Paso # 6  $P = \frac{H_w}{76.04} = \frac{188.0 \times 47.16}{0.6 (76.04)} = 194.12 H.P.$

- 7.- Se calculan los costos fijos, costos de operación para todos los diámetros disponibles; lo mismo que los costos totales.
- 8.- Se selecciona el diámetro óptimo en el sistema de bombeo. Los pasos anteriores se resumen en la página siguiente. Para calcular los costos fijos y de operación así como los totales se usan las ecuaciones de la página 148.

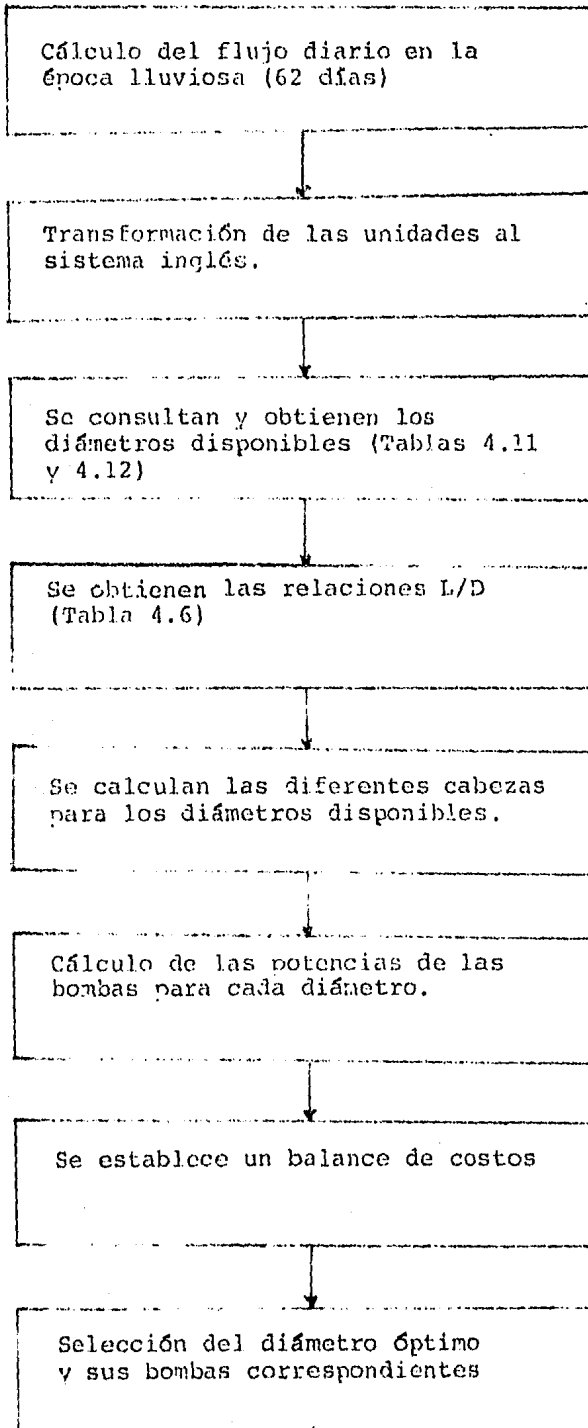


Fig. 4.14

$$\text{Costos Fijos Anuales} = \frac{C. Bombas + C. Tubería + C. Instalación}{\text{Vida Útil (años)}} +$$

$$\frac{C. Vaso Almac.}{\text{Vida Útil (años)}} + \frac{C. Motores}{\text{Vida Útil (años)}} + (C. Total Fijo) \cdot 1.1 \quad (1)$$

$$\text{Costos de Operación Anuales} = \frac{\text{Costo Comb.} + \text{Costo Lubricantes}}{\text{Vida del Motor}} \dots (2)$$

$$C. Comb. = C. Motor \left( \frac{320}{100} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$C. Lubricantes = C. Lubricantes = (C. Motor) \left( \frac{17}{100} \right) \dots \dots \dots (4)$$

$$C. Bombas = (C. Motor) \left( \frac{19}{100} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$C. Tubería = \text{Costo } (\$/m) (L \text{ Total}) \dots \dots \dots (6)$$

$$C. Instalación = 0.40 (C. Tubería) \dots \dots \dots (7)$$

$$C. Vaso Almacenamiento = \frac{84,000\$ (C. V.)}{M^3} (V_{total}) \dots \dots \dots (8)$$

En la ecuación # 1 se considera un 10% más del costo fijo total por gastos menores como son mantenimiento del motor, compra e instalación de alguna válvula reguladora de flujo, algunos otros cables en la unidad de control, etc.

Los diámetros permisibles para el flujo del problema se especifican en la tabla 4.15

C. Fijos: Para un diámetro como el anterior se necesitan 200 H.P. de potencia para almacenar un volumen de 250 000 M<sup>3</sup> para ello se ocupan 4 bombas en serie; como es recomendable como máximo 8 horas continuas de operación en un motor de combustión interna se necesitan 3 series de 4 bombas c/u.

$$C. Fijos = \frac{[(12 \times 1260 \ 000) (0.19) + 3(1129 \frac{\$}{m} \times 300) + 3(1376 \times 300) 0.4]}{10 \text{ años}}$$

$$+ \frac{84,000\$}{m^3} \times \frac{831^3 (\text{cortina})}{20 \text{ años}} + \frac{(1 \ 260 \ 000) (12) (0.81)}{5.14 \text{ año}} \quad ] \quad 1.1$$

$$= 3 \ 375 \ 499.2 + 745 \ 140 = 4 \ 120 \ 639.0$$

$$C.P. = \frac{(12\ 247\ 200.0)(0.17) + (12\ 247\ 200.0)3.2}{5.14}$$

$$C.Op. = 8\ 029\ 779.0 \quad C.T. = C.F. + C.Op.$$

$$C.T. = 3\ 375\ 499.2 + 8\ 029\ 779.0 + 1\ 075\ 380 = 12\ 480\ 658$$

$$C.T. = 11405278.00 \text{ \$/año} + 1075\ 380 = 12\ 480\ 658$$

La vida útil del motor se considera considerando el tiempo total de operación en los meses lluviosos de julio y agosto -- que es menor o igual 496 h y un % de tiempo de operación en el período de riego que puede ser de menor o igual a 180 hrs la mayoría de los motores de combustión interna se diseñan para un tiempo de uso de 2500 a 3500 horas.

Para  $D = 100$  mm, se colocan 9 bombas de 42.5 H.P. en 3 series

$$C.Fijos = \left[ \frac{(9 \times 850\ 000)(0.19) + 3 \frac{(1376 \times 300) + 3(1\ 376 \times 300)0.4}{10 \text{ años}}}{M^3} + \frac{84,000\$ \times 83M^3 (\text{cort})}{20 \text{ años}} + \frac{9 \times 8\ 50\ 000 \times 0.81}{491 \text{ años}} \right] 1.1 = 2297\ 410.0 \text{ \$/año}$$

$$C.Operación = \frac{(9 \times 850\ 000 \times 0.81) 0.17 + (9 \times 850\ 000 \times 0.81) 3.2}{4.91 \text{ años}}$$

$$C. Operación = 4\ 252\ 994 \text{ \$/año}$$

$$C.T. = 6550\ 104$$

Para  $D = 127$  mm

Se sugieren 6 bombas en 3 series de 42.5 H.P. c/u

$$C.Fijos = \left[ \frac{(6 \times 850\ 000)(0.19) + 3 \frac{(2236)(300) + 3 \times 2236 \times 300 \times 0.4}{10}}{M^3} + \frac{84,000\$ \times 83M^3 (\text{cort})}{20 \text{ años}} + \frac{6 \times 850\ 000 \times 0.81}{4.5} \right] 1.1 = 1\ 809\ 374.6$$

$$C. Operación = \frac{(6 \times 850\ 000 \times 0.81) 0.17 + (6 \times 850\ 000 \times 0.81) 3.2}{4.5}$$

$$= 3\ 093\ 660$$

$$C.T = C.F. + C.O. = 4\ 903\ 034.6$$

Para D = 150 mm

En el diámetro anterior 3 bombas de 50 H.P. conectadas a una tubería dan el flujo necesario las 24 horas del día.

$$C.F. = \left[ \frac{(3 \times 1260\ 000) \times 0.19 + 3087 \frac{\$}{m} \times 300 + 3087 \times 300 \times 0.4}{10} + \frac{84,000}{M^3} \times \frac{83M^3(\text{cortina})}{20 \text{ años}} + \frac{3 \times 1260\ 000 \times 0.81}{4.74} \right] 1.1 = 1315240$$

$$C. Op. = \frac{(3 \times 1260\ 000 \times 0.81)}{4.74} 3.37 = 2\ 176\ 849.4$$

$$C.T. = 3\ 492\ 089.4$$

Para D = 203 mm

$$C.F. = \left[ \frac{(3 \times 960\ 000 \times 0.19) + (5301 \times 300) + (5301 \times 300 \times 0.4)}{10} + \frac{84,000}{M^3} \times \frac{83M^3(\text{cort})}{20 \text{ años}} + \frac{3 \times 960\ 000 \times 0.81}{4.74} \right] 1.1 = 1\ 229\ 540.3$$

$$C.O. = \frac{(3 \times 960\ 000 \times 0.81) \times 3.37}{4.74} = 1\ 658\ 552$$

$$C.T. = 2\ 888\ 092.2$$

D = 254 mm

$$C.F. = \left[ \frac{(3 \times 1260\ 000) 0.19 + 9064 \times 300 + 9064 \times 300 \times 0.4}{10} + \frac{84,000\$ \times 83M^3(\text{cort})}{M^3 \times 20 \text{ años}} + \frac{3 \times 1260\ 000 \times 0.81}{4.74} \right] 1.1 = 1591\ 374.8$$

$$C.O. = \frac{(3 \times 1260\ 000 \times 0.81) 3.37}{4.74} = 2\ 176\ 849.4$$

$$C.T. = 3\ 768\ 224.2$$

Los diámetros disponibles para ese gasto se escriben en una tabla lo mismo que se  $\Delta P/100 \text{ m}$

Diámetro (mm)	89	100	127	150	203	254
$\frac{\Delta P}{100 \text{ m}}$	54.5	29.1	9.53	3.97	1.02	0.334
$\Delta P_{\text{total}}$	163.5	87.3	28.6	11.9	3.06	1.002
Leq(m)	8.61	9.85	12.3	14.8	19.7	24.6
$\Delta z(m)$	20.0	20.0	20	20	20.0	20.0
Htotal(m)	188.	113	56	40.4	34.5	35.3
Pot(H.P.)	194	117	58	48.3	35	36.5
\$/año C. Fijos	4 120 639	2 297 110	1 809 374	1 315 240	1 229 540.3	1 591 375
\$/año C. Operación	8 029 779	4 252 994	3 093 660	2 176 849.4	1 658 552.2	2 176 849
C.T. (\$/año)	12 480 658	6 550 104	4 903 034	3 492 089	2 888 092.5	3 768 224

Tabla 4.15

Estimación de costos en la red del sistema gota a gota

Para una estimación aproximada de costos para el riego por goteo el primer paso consiste en consultar los precios en el mercado de manguera, goteros y accesorios, los precios de accesorios y mangueras de diferentes diámetros se especifican en las tablas. Los goteros de orificio son para 13 y 6 mm de diámetro.

El costo de manguera de 13 mm tiene un precio de 73.2 \$/m y los goteros de orificio de regulación manual 50\$/pieza (figs. 4.5a-4.5c).

Para frutales se requiere 6.28 m/árbol en circunferencia (fig. 3.2a) con goteros por cada planta, 2 T por circunferencia y 3 m para la unión de cada circunferencia y un tapón por hilera.  $L/hilera = (2\pi r) (20 \text{ árboles}) + 22 \times 3 = 192 \text{ m de manguera/hilera}$

$$\# T = 20 \times 2 = 40/hilera$$

Costo para 1 hilera

$$C = 191.6 \text{ m} \times \frac{73.2 \text{ \$}}{\text{m}} + 40 T \times \frac{60 \text{ \$}}{T} + 120 \text{ Emisores} \times \frac{50\text{\$}}{\text{emisor}}$$

$$+ 1. \text{ Tapón} \times \frac{54\text{\$}}{\text{Tapón}} = 22474 \text{ \$/hilera}$$

Para 1 hectárea:

$$\# \text{ hileras} = 20$$

$$T \text{ de reducción de } 32 \times 32 \times 13 \text{ mm: } 20, \text{ Costo: } \frac{265 \text{ \$}}{\text{Pieza}}$$

$$\text{Manguera de } 32 \text{ mm: } 100 \text{ m, costo } \frac{230.6 \text{ \$}}{\text{m}}$$

$$\text{Costos de equipo} = 22374 \text{ \$/hilera} \times 20h + \frac{250 \text{ \$}}{T} \times 20T$$

$$+ 100 \text{ m} \times \frac{230.6 \text{ \$}}{\text{m}} = \frac{477940 \text{ \$}}{\text{hectárea}}$$



Para todo el predio agrícola :

Equipo		Costo
2 Filtros de arena (Q= 22 l/seg)	2 X	$260\,950 \frac{\$}{\text{unidad}}$
2 Filtros Mallas (Q= 22 l/seg)	2 X	$78\,200 \frac{\$}{\text{unidad}}$

1 Depósito de 1540 m<sup>3</sup> en la parte  
alta del predio

\$ 19 250 000.00

500 m de tubería de 254 mm

1.4(4 527 000.00)

Costo total de instalación

de mangueras y goteros: 20% de los 477 940 X 110 X 0.20

Costos del equipo

Gastos imprevistos 10% del total... 8 935 418. 0

Costos del Equipo en todo el

predio (mangueras y goteros) ..... 477 940 x 110

---

Total del Equipo e Inst. 98 289 598

sin considerar C. Bombeo y M. Obra

Si se consideran los gastos de bombeo y mano de obra anual se obtienen  
los costos totales de la instalación y manejo del sistema.

C. Total anual del equipo =  $\frac{98'289,598}{10 \text{ años}}$  = 9'828,959.8 \$/año

C. Bombeo Optimizado = 2'888,092 \$/año

C. Mano de obra : 6 hombres para todo el sistema

1 para cada 20 hectáreas es lo recomendable (1):

Costo 6 000 000 \$/año

C. Totales = C. Equipo + C. Bombeo + M. Obra

C. Totales = 9'828,959.8 + 2 888 092 + 6000 000

(1) Ver última referencia bibliográfica

C. Totales = 18 717 052.0 \$/año

$$\frac{\text{Costo Total / Ha}}{1 \text{ año}} = \frac{18'717,052.0}{110 \text{ hectáreas}} \quad 170,000 \text{ \$/año}$$

$$\text{Beneficio Anual Obtenido} = \frac{6 \text{ Ton}}{\text{Ha}} \times 1.65 \times \frac{31,55\$}{\text{Ton}} \times 1.592$$

Beneficio Anual Obtenido = 500,000 \$/Ha.

$$\text{Rentabilidad} = \frac{(\text{B Anual Obtenido}) (100)}{\text{C. Total/Ha}} = \frac{500,000 \times 100}{170,000}$$

Rentabilidad = 294.1%

Con este problema puede concluirse que todo sistema de bombeo tiene un diámetro económico óptimo. Si se analizan los resultados de la Tabla 4.15 para este caso particular el diámetro de 20.3 cm. aporta la optimización de costos en todo el sistema. Para otro sistema en particular el procedimiento para optimizar el equipo es exactamente el mismo y las ecuaciones a seguir también se mencionan antes de plantear el problema. La baja productividad agraria depende en gran parte por el aprovechamiento inadecuado del agua; siendo un compuesto indispensable para producir una gran cantidad de alimentos de consumo humano y animal es urgente se optimice su uso en los sistemas de irrigación y se construyan en forma particular más estanques para almacenamiento en granjas rurales; podría ser una muy buena alternativa para aumentar la producción agropecuaria.

Sobre el beneficio anual obtenido en este sistema de irrigación por goteo puede haber una magnífica rentabilidad como puede observarse en los resultados anteriores.

### Conclusiones

Con este trabajo se puede conocer que aún existen enormes volúmenes de agua que con los avances de la tecnología pueden ser aprovechados con buenos rendimientos para una producción mayor de alimentos y demás usos domésticos e industriales. En épocas recientes la demanda de agua en las grandes ciudades es cada vez mayor y la producción agraria es pequeña e insuficiente, una excelente alternativa para la solución de los problemas anteriores es un mayor aprovechamiento y rendimiento del vital líquido. Se han construido grandes oleoductos para el transporte del petróleo que una excelente materia prima a nivel industrial ¿no es acaso el agua una materia prima vital para producir alimentos en gran escala si se utiliza, con óptimos resultados como puede ser en el riego gota a gota.

El ejemplo del último capítulo da la respuesta a esta pregunta. En un futuro en que la población mundial sea más numerosa una alternativa similar a la anterior podría ser la solución. En la antigüedad durante el reinado de los faraones en Egipto sabemos por la historia que siendo José primer ministro hubo una gran escasez de alimentos en toda la Tierra siendo el pueblo egipcio el único que tenía alimentos suficientes y una de las causas fue que conocía y aplicaba en su agricultura la irrigación. En nuestro mundo actual una de las causas mayores del hambre y miseria en África y otros países pobres es la falta de obras de infraestructura hidráulica para riego,

en el caso de México esta técnica es practicada todavía en poca escala y por métodos que ocasionan grandes desperdicios de agua; por lo cual se espera este trabajo dé al menos una visión general sobre el problema y proporcione un criterio acerca de una posible solución. México posee buenas reservas de materias primas para producir fertilizantes y plásticos en grandes cantidades juntamente con volúmenes considerables de agua pluvial por aprovechar que son base para extender el riego por goteo en gran escala que puede ser una muy buena solución para la baja productividad agraria.

## Bibliografía

### 1.- Unit Operations

George Granger Brown, Alan Shivers Foust

George Martin Brown

Limusa Wiley Ed:

New York, 1964.

### 2.- Plant Design and Economics for Chemical Engineers

Max. S. Peters, Klaus D. Timmerhaus

Third Edition.

Mc. Graw Hill Book Company

Int. Students Edition 1980.

### 3.- Atlas del Agua de la República Mexicana

Secretaría de Recursos Hidráulicos

México, 1976.

### 4.- Enciclopedia Britanica

Vol. 9

William Benton Publisher 1943-1973

### 5.- El Riego por Goteo

Florencio Rodríguez Suppo

A. G. T. Editor, S. A.

### 6.- Ingeniería de los Recursos Hidráulicos

Linsey, Franzini

Ed. C.E.C.S.A.

México, 1982.

- 7.- El Riego por Goteo  
Rafael Pedrero Nieto  
Comisión Coordinadora del Sector Agropecuario  
Secretaría de Recursos Hidráulicos  
México, 1974.
  
- 8.- Técnica del Riego  
Fertilidad y Explotación de los Suelos.  
D. W. Thorne F. D.  
H. B. Peterson Ph. D.  
Cia. C. E. C. S. A.  
México, 1984.
  
- 9.- Riego a Presión, Aspersión y Goteo.  
Pedro Gómez Pompa  
Ed. AEDOS, Barcelona, 1975
  
- 10.- Agua su Calidad y Tratamiento  
American Water Book Asociation  
Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana  
México, 1968.
  
- 11.- Plant Water Relationships  
R. O. Slatyer  
Academic Press Inc.  
New York, 1967.

12.- Bombas

Teoría, Diseño y Aplicaciones

Ing. Manuel Viejo Zubicaray

Ed. Limusa

México, 1977.

13.- Bombas su Selección y Aplicación

Hicks, Tyler Gregory

Ed. C. E. C. S. A.

México, 1972.

14.- Hidrología para Ingenieros.

Ray K. Linsey Jr.

Max A. Kohler

Joseph L. H. Paulus

Ed. Mc. Graw Hill

México, 1983.

15.- A.S.T.M. Standard D-1784

Pág. 7

16.- Drip Irrigation

Principles Design and Agricultural Practices

Dan Golberg, Baruch Gornat, Daniel Rimon

Drip Irrigation Scientific Publication.

Kfar Shmaryahu, Israel, 1976

- 17.- Determinación de Pérdidas de presión debido a la fricción a través de tuberías, valvulas, accesorios y medidores de flujo.
- Daniel Burruel García  
México, D.F., 1984.
- 18.- Programación BASIC
- John G. Kemeny  
Thomas E. Kurtz  
Cia. C. E. C. S. A.  
México, 1982.
- 19.- Principios de Operaciones Unitarias
- A. S. Foust, C. W. Clump, Louis Maus, L. B. Andersen.  
Cia. C. E. C. S. A., México, 1975.
- 20.- Planeamiento de Sistemas de riego para Granja  
Servicio de Consulta de Suelos de Estados Unidos de América.  
Ed. Diana.
- 21.- De la Torre, A.E. 1978, Relación entre Suelo - Planta agua.  
México, Diana. 99 p. Ilus.
- 22.- Se incluyen también como referencias las informaciones proporcionadas por las Compañías: Plásticos Rex, S.A., GARLO INDUSTRIAL, S.A., SELMEC, VOLKSWAGEN DE MEXICO, EL CONAFRUT, LA DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA DE LA S. A. R. H., y la información sobre bombas de motores de combustión interna proporcionadas por 5 casas comerciales diferentes.