



9  
201

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

# FALLA DE ORIGEN

ESTRUCTURAS HIDRAULICAS EN  
ZONAS DE RIEGO POR GRAVEDAD,

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

ASESOR: ING. RAMON CARDENAS ARREDONDO

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX

1995



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 7 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RAMON CARDENAS ARREDONDO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ESTRUCTURAS HIDRAULICAS EN ZONAS DE RIEGO POR GRAVEDAD", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, Mex., 8 de marzo de 1995

EL DIRECTOR

M en CLAUDIO L. MERRIFIELD CASTRO

c c p Unidad Académica.  
c c p Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC' AIR' 11a

*[Handwritten signatures]*

## DEDICATORIAS

### *A mis Padres:*

Sra. Felipa Hernández de Arroyo  
Sr. Patrocinio Arroyo López

Quienes por su gran corazón, su alto sentido de responsabilidad, buenos ejemplos y espíritu de lucha, han hecho de mi un hombre productivo y de bien.

### *A mis Hermanos*

José Natividad  
Verónica  
Dulce María Guadalupe

Por esas grandes peleas, que el tiempo maduro en un gran cariño y respeto.

### *A mi esposa:*

Sara Hilda Bastida Villalobos

Por su gran amor, respeto, ayuda y comprensión que me ha brindado en todo momento.

### *A mi hija:*

Hilda Alejandra Arroyo Bastida

Por llenar de dicha y felicidad mi vida.

### *A mi tío*

Orbelin Arroyo López †

Por sus consejos y esperanza puesta en mi.

### *A mi padrino*

Rafael Beltrán Flores †

Por ayudarme a crecer.

*A mi asesor de tesis:*

Ing. Ramón Cárdenas Arredondo

Por su amistad, asesoramiento y apoyo brindado.

*A mis amigos*

Ing. José Aldo Rodríguez Valdez  
Ing. Rafael Gómez Hernández  
Ing. Miguel Ángel Morales Arroyo  
Arq. Pedro A. Montes de Oca Pérez

Por su apoyo y su calidad humana.

*A mis sinodos*

M. en Ing. Daniel Velázquez Vázquez  
Ing. Gilberto García Santamaría González  
Ing. José Paulo Mejorada Mota  
Ing. Juan Carlos Ortiz León

Por su valiosa amistad, ayuda moral, y préstamo de su equipo.

# I N D I C E

	<b>Pág</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Zonas de riego</b>	
1.1 Generalidades.....	3
1.2 Métodos de riego.....	7
1.3 Drenaje.....	30
1.4 Riego por gravedad.....	35
1.5 Planeación general.....	36
1.6 Red de Distribución.....	37
<b>II. Estructuras de operación</b>	
2.1 Generalidades.....	41
2.2 Represas.....	41
2.3 Tomas para canales.....	44
2.4 Tomas granja.....	44
2.5 Estructuras aforadoras.....	45
<b>III. Estructuras de cruce</b>	
3.1 Generalidades.....	55
3.2 Criterio de elección del tipo de estructura.....	56
3.3 Alcantarillas.....	59
3.4 Puentes.....	60
3.5 Sifones.....	61
3.6 Puente canal.....	66
3.7 Diques.....	67

#### **IV. Estructuras de protección**

4.1	Generalidades.....	68
4.2	Rápidas y caídas.....	69
4.3	Desagües parciales, totales y finales.....	72
4.4	Entradas de agua y pasos superiores e inferiores.....	75
4.5	Cunetas y contracunetas.....	76

#### **V. Aplicaciones**

5.1	Ejemplo numérico de el diseño de un sistema de riego por gravedad.....	77
5.2	Ejemplo numérico de una represa.....	83
5.3	Ejemplo numérico de un medidor Parshall.....	88
5.4	Ejemplo numérico de un sifón invertido de sección rectangular.....	93
5.5	Ejemplo numérico de el diseño de un sistema de drenaje.....	104

<b>Conclusiones</b> .....	106
---------------------------	-----

<b>ANEXOS</b> .....	108
---------------------	-----

<b>Bibliografía</b> .....	112
---------------------------	-----

## I N T R O D U C C I O N

La falta de coincidencia entre la época en que las necesidades del cultivo requieren el empleo del agua y la época o épocas en que tiene lugar la precipitación pluvial, así como la irregularidad de la misma, tanto por lo que concierne a la variación anual como la relativa a un período largo de años, hace necesario en una gran parte de la superficie terrestre, el recurrir a artificios para el aprovechamiento del agua con fines agrícolas. Las estructuras y operaciones que tienen este objeto constituyen en su conjunto la irrigación o riego.

En general la irrigación es indispensable en regiones donde la precipitación media anual es menor de 35 cm; es necesaria donde la precipitación media anual está comprendida entre los 35 y 75 cm. y no es comunmente requerida donde la precipitación media anual excede de los 75 cm.

En la actualidad adquiere importancia capital la producción de alimentos, lo que significa mayor inversión y aprovechamiento de los recursos hidráulicos disponibles destinados a la agricultura.

La seguridad que da el riego a la agricultura y la forma en como esta aumenta sus rendimientos, debe de fortalecer y permitir el crecimiento de la infraestructura hidroagrícola de México para alcanzar metas de producción, sociales, económicas y culturales en el desarrollo del medio rural frente a problemas tales como el aumento de la población, desempleo y otros propios de crisis económica nacional y mundial.

La práctica de la irrigación, incluye todas las actividades técnicas necesarias, que tienen como finalidad llegar a un aprovechamiento óptimo de los recursos hidráulicos disponibles, desde la planeación, diseño, construcción, operación y conservación de una serie de estructuras y dispositivos cuyo conjunto constituye lo que llamamos un "Distrito de riego", y mediante los cuales, se efectúa la captación, almacenamiento, conducción, distribución, aplicación del agua de riego y drenaje.

La conducción del agua de la fuente de abastecimiento o derivación y la distribución de la misma a todos los puntos de la zona regable, son obras que requieren forzosamente ser complementadas con una serie de estructuras hidráulicas de operación, de cruce y protección que les permitan funcionar eficientemente y sortear las diversas dificultades que se presentan.

Todas estas estructuras tienen su técnica de proyecto, tanto desde el punto de vista de su funcionamiento hidráulico, como desde el estructural puesto que tienen indicaciones y limitaciones de uso, así como una serie de especificaciones que es necesario observar al diseñarlas para poder lograr en cada caso una obra útil en su totalidad.

De acuerdo con lo anterior, el objeto de esta tesis es el de proporcionar los elementos indispensables a considerar en el diseño hidráulico de las diferentes estructuras que componen una zona de riego por gravedad.

En el Capítulo I, se expone y detalla los estudios principales que deben efectuarse en la planeación de una zona o distrito de riego. Se analizan los diversos métodos de riego, las necesidades de un drenaje y los métodos de riego por gravedad, así como, los propósitos y criterios para la planeación general y la red de distribución. Elementos todos necesarios para la correcta elección entre las necesidades de riego y drenaje y la apropiada planeación y operación de la zona de riego.

Los lineamientos hidráulicos de las estructuras de operación, que permiten controlar, derivar y medir correctamente el agua de riego utilizados en la distribución, se presentan en el Capítulo II. Se analizan las represas, tomas para canales, tomas granja y las diversas estructuras aforadoras.

Las estructuras hidráulicas de cruce que permiten salvar, en general, alguna depresión natural o artificial del terreno y garantizar de esta forma el paso del agua, son las alcantarillas, puentes, sifones, puentes canal y los diques, estas se analizan en el Capítulo III.

Rápidas y caídas, desagües parciales, totales y finales, las entradas de agua y pasos superiores e inferiores, así como, las cunetas y contracunetas se conocen como estructuras hidráulicas de protección cuya finalidad es la de proporcionar seguridad a los canales en su funcionamiento hidráulico y evitar así el deterioro rápido de los mismos. Estas estructuras se analizan en el Capítulo IV.

En el Capítulo V, se presentan cinco ejemplos numéricos de aplicación representativos de las estructuras hidráulicas arriba mencionadas.

Finalmente se presentan las conclusiones, anexos y bibliografía.

*Patrocinio Arroyo Hernández.*

# C A P I T U L O I

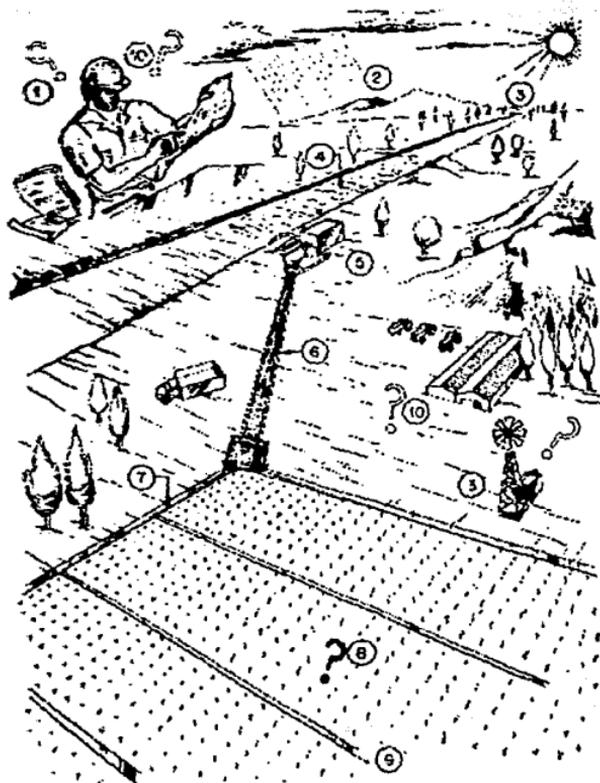
## Zonas de riego.

### 1.1 Generalidades.

Los diferentes cultivos necesitan agua en cantidades adecuadas para poder sobrevivir y producir. Dichos cultivos solo pueden aprovechar el agua del suelo cuando tienen a su disposición suficiente cantidad de aire. En otras palabras, la cantidad de agua y aire en el suelo debe estar en un cierto equilibrio para obtener un alto rendimiento de los cultivos. Por esta razón, se debe controlar el suministro y el flujo de agua en la tierra.

Las necesidades de suministrar agua por medio de **sistemas de riego**, depende del desequilibrio que existe entre la escasez del agua disponible y el agua que la planta consume. En caso contrario, si la planta consume menos agua de la que esta disponible en el suelo, este exceso de agua se controla por medio del establecimiento de **sistemas de drenaje**. En ambos casos, se debe lograr satisfacer las condiciones de humedad de la planta, mediante el balance entre el agua disponible y la demanda.

Para planear y ejecutar el control de agua, se deben tener en cuenta factores tales como el tipo de clima, de cultivo y de suelo. **El tipo de clima** esta relacionado con la situación geográfica de la zona de riego y sus consideraciones deben basarse en los aspectos meteorológicos. En **el tipo de cultivo** debemos conocer cuanta agua requiere el cultivo y como la absorbe, además es importante saber los períodos críticos en la demanda de agua por parte de el cultivo, es decir, la respuesta de las plantas para una producción provechosa. **El tipo de suelo y su profundidad** afecta la capacidad para retener agua, por lo que determina, en principio, la disponibilidad de agua para la planta. Pero la cantidad de agua en el suelo cambia continuamente, debido a que el agua disponible en la zona de las raíces puede aumentar o disminuir por factores tales como la precipitación, la infiltración del agua de lluvia hacia el subsuelo, el escurrimiento, la evaporación, el movimiento capilar y, naturalmente, por la transpiración de la planta. Lo que implica conocer también, los principios del movimiento del agua en el suelo. Figura 1.1.



- (1) ¿Cuánta agua necesitan los cultivos en producción, y en qué período del año?
- (2) ¿Qué cantidad de agua llega por precipitación? ¿En cuáles meses es mayor?
- (3) ¿De dónde puede sacar el agua complementaria? ¿Puede extraerla de ríos, de lagos, de pozos o de molinos? ¿Puede extraerla por gravedad o por medio de motobombas?
- (4) ¿Cómo debe conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la granja?
- (5) ¿Cómo puede conducir el agua de los canales principales hacia los campos de cultivo?
- (6) ¿Qué tipo de construcciones necesita para conducir el agua hasta los campos?
- (7) ¿Qué tipo de canales y construcciones necesita para eliminar el exceso de agua y sales?
- (8) ¿De qué manera va a distribuir el agua en el campo?
- (9) ¿Qué tipo de drenaje necesita para eliminar el exceso de agua y sales?
- (10) ¿Cómo manejar los sistemas de riego y drenaje para obtener los mejores resultados?

Fig. 1.1

Para hacer una buena elección entre las necesidades de riego y drenaje, y garantizar de esta manera el adecuado suministro artificial de agua, así como el debido drenaje, es necesario contar con la información básica que proporcionen los siguientes estudios.

#### **A. Sociales.**

A través del cual se analiza la realidad social existente en las comunidades que se tiene proyectado beneficiar con las obras de riego, por lo que debe tomar en cuenta:

1. **Tenencia de la tierra.-** La seguridad que la comunidad tenga de la posesión de su tierra, la obliga a mejorar el sistema de riego que se proponga emplear.
2. **Aspiraciones de la comunidad.-** El grado de desarrollo que haya alcanzado la hará más capaz de captar las nuevas técnicas de riego y también de desear determinados bienes, trabajando la tierra con mayor interés.

#### **B. Económicos.**

Tiene una importancia fundamental, para determinar cual es el tipo de obra que debe ejecutarse. Así mismo, proporciona el conocimiento de las causas que frenan o propician los beneficios propuestos, a través de la comparación entre la realidad económica existente, descrita y detallada por el estudio antes de la construcción de la obra, con la realidad existente posterior a su construcción. Toma en cuenta:

1. **Precio del agua.-** A medida que el agua alcanza un precio mayor, es objeto de más cuidado en su manejo.
2. **Crédito disponible.-** Es de primera importancia, para que la comunidad efectúe las mejoras en sus tierras.
3. **Maquinaria disponible.-** Con implementos agrícolas adecuados, se puede obtener mejor aprovechamiento del agua.

#### **C. Topográficos.**

Se utilizan para definir los sitios convenientes de almacenamiento, captación y conducción de las aguas de riego, así como para definir la forma y magnitud del área que es posible dominar con los canales de riego. Considera:

1. **Area de riego** Es una limitante aunada a el capital disponible.
2. **Pendientes** El conocimiento de las mismas permite evitar encharcamientos o un riego muy deficiente.

#### **D. Agrológicos.**

Nos indican la calidad de las tierras por cultivar y sus características generales, físicas, químicas, biológicas e hidrodinámicas de los suelos, además del manejo que requieran con la aplicación del riego, así como los cultivos recomendables por implantar. Estos estudios contemplan:

- 1.- Clasificación de suelos en series, tipos y fases.
- 2.- Clasificación de suelos para su uso agrícola bajo riego.
- 3.- Programa de cultivos en base a la relación suelo-agua-planta-clima.
- 4.- Necesidad de nivelación de tierras.
- 5.- Contaminación y calidad del agua de riego.
- 6.- Valoración de tierras, para definir el sistema de riego según el tipo de suelo.
- 7.- Láminas de riego para cada tipo de suelo y velocidades de infiltración.
- 8.- Necesidades globales de agua para cada cultivo.
- 9.- Bases para el trazo de la red de distribución de agua que permitan orientar el diseño y localización correcta de los canales
- 10.- Medidas para evitar la salinización de los suelos.
- 11.- Necesidades de drenaje agrícola.
- 12.- Fertilidad. Capacidad de uso de los suelos.
- 13.- Medidas para controlar la erosión.
- 14.- Biología de suelos y manejo que debe dárseles.
- 15.- Climatología agrícola.
- 16.- Mineralogía de suelos.

#### **E. Plano actual del uso de suelo.**

Estos planos nos muestran los tipos de cultivos que se siembran actualmente, delimitándonos las zonas urbanas, silvícolas, lacustres, vías de comunicación, etc. En conjunto con el estudio agrológico, nos definirán el plan de cultivos que se deberá contemplar en la formulación de la ley de demandas.

En el caso de cultivos perennes contenidos en este plano, se puede elegir el sistema de riego adecuado en base a la información adquirida, como el tipo de cultivo, número de plantas por hectárea, edad de los árboles, separación de hileras, etc.

Estos planos deben contener la tenencia de la tierra y el catastro correspondiente.

## **F. Hidrológicos.**

Los estudios hidrológicos se aplican para determinar las características hidrológicas del aprovechamiento que se vaya a utilizar, para obtener el agua de riego y poder establecer la máxima superficie de terreno susceptible de dominar con riego seguro. Contienen:

- 1. Régimen de la corriente por regularizar.-** El conocimiento del régimen de la corriente de un río, se determina por los gastos hidráulicos escurridos por él durante el mayor tiempo posible. Y esto sólo es posible directamente, por medio de aforos e indirectamente, en forma aproximada, deduciendo los gastos en función de los tres factores analíticos que los producen: las lluvias, el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento.
- 2. Cálculo de la evaporación neta.-** Nos sirven para efectuar el estudio analítico del vaso y se obtiene recabando los datos de evaporación de las estaciones más cercanas a la cuenca, teniendo en cuenta el período para el cual se va a realizar el estudio hidrológico.

## **G. Agronómicos.**

- 1. Cultivo.-** Tomando como base las clases de cultivos que se hayan recomendado en el estudio agrológico, se escogerá el método de riego.
- 2. Gasto disponible.-** Dependiendo de la cantidad de agua disponible, se podrá hacer la evaluación del método de riego.

### **1.2 Métodos de riego.**

Existen diferentes métodos para distribuir el agua en el terreno, y la elección del más indicado debe tomar en cuenta los aspectos anteriormente señalados.

De acuerdo con el tipo de distribución del agua y su infiltración en el suelo, se distinguen los siguientes métodos de riego.

M  
E  
T  
O  
D  
O  
S

R  
I  
E  
G  
O

S  
u  
p  
e  
r  
f  
i  
c  
i  
a  
l  
e  
s

Inundación

Infiltración

A  
é  
r  
e  
o  
s

Aspersión

S  
u  
b  
t.

Subirrigación

O  
t  
r  
o  
s

Inundación libre  
Entarquinamiento  
Regaderas en contorno  
Meigas  
Meigas tipo Lema  
Curvas a nivel  
Cuadros

Surcos

Rectos  
Contorno  
Zig-zag  
Circuito  
Terrazas  
Freseros

Corrugaciones  
Cama melonera

Permanentes:

Aspersores gigantes  
Aspersores fijos

Semipermanentes:

Aspersores gigantes  
Aspersores fijos

Móviles:

Ejes rotatorios de arrastre o de tipo de autopropulsión;  
Tubos oscilantes  
Tubos giratorios

Ascenso capilar:

Control de drenes  
Tuberías porosas  
Tuberías perforadas

Por goteo:

Fijos  
Móviles

Tuberías a presión:

Tuberías de compuertas  
Tuberías de válvulas

Nebulización

## **A. Métodos de riego superficiales.**

### **A.1 Riego por inundación.**

Este método se aplica en terrenos planos y en aquellos que permitan su nivelación, para poder distribuir el agua por gravedad sobre toda la superficie. Requiere un suministro relativamente grande de agua, y un subsuelo menos permeable. Se usa principalmente para el cultivo de arroz, y en menor grado, para ciertas hortalizas y pastos.

Se divide el terreno en compartimientos encerrados por pequeños diques, en los cuales el agua penetra en forma vertical en la tierra y en los diques penetra también lateralmente.

La forma puede ser casi cuadrada, llamados cuadros o rectangular conocidos como melgas. La superficie de los charcos es normalmente de hasta una hectárea, mientras que las melgas son de mayor tamaño. El tamaño depende de la pendiente y del tipo de suelo.

Este método en la actualidad no es recomendable, debido a la gran cantidad que se pierde de agua. Además de que se ocupan gastos muy grandes y se requieren bordos también más grandes, elevando los costos del sistema.

Dentro de éste tipo de riego, los sistemas más usuales son:

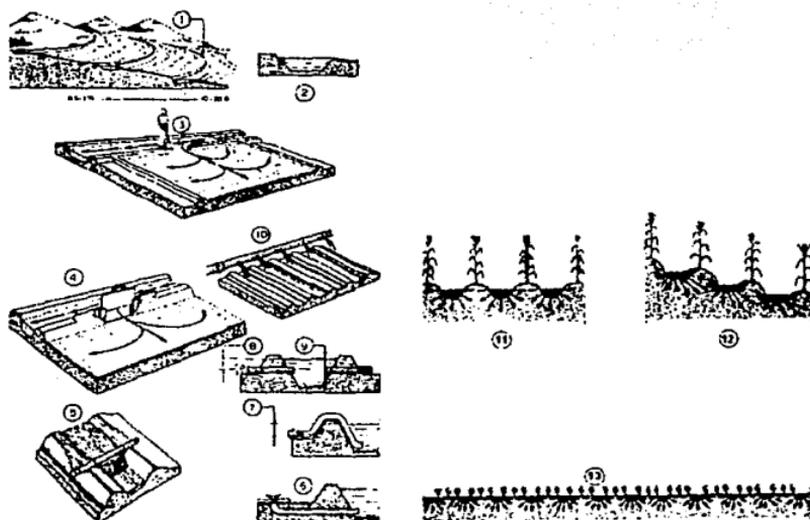
#### **a).- Riego por inundación libre.**

Este método es usado para riego de cultivos poco remunerativos, en terrenos de pendiente fuerte en donde la uniformidad en la distribución del agua no es muy importante, también se utiliza en suelos de textura pesada y en regiones donde no existe el problema de la escasez de agua.

#### **b).- Riego por entarquinamiento.**

Este método es usado para cultivos como el arroz, el algodón, maíz, alfalfa, pastos y frutales. Los cultivos sensibles a exceso de humedad no deben regarse por este método.

Para aplicar este método, se divide el terreno en pequeñas superficies de manera que cada una de ellas sea aproximadamente plana y se construyen bordos alrededor de estas áreas, para contar con estanques donde el agua puede ser controlada.



- (1) Desbordamiento. Se eleva el nivel del agua en los surcos o corrugaciones de contorno hasta que el agua descienda por la pendiente.
- (2) Detalle de un surco y del desbordamiento. Los surcos se construyen según las curvas de nivel.
- (3) Corte del borde entre el canal y el compartimento a inundar. El corte del borde a lomo debilita la consistencia del mismo.
- (4) Compuerta en el centro del borde del canal terciario. Con la compuerta se puede regular mejor la entrada del agua.
- (5) Lona. Se utiliza para subir el nivel del agua en una parte del canal. Así se puede aumentar la entrada de agua por los cortes, compuertas u otros dispositivos.
- (6) Tubo con válvula alfalfa. El caudal se controla mediante la válvula.
- (7) Sifón. El caudal depende del diámetro del tubo, y de la diferencia entre la salida y el nivel del agua en el canal. Por debajo de la salida, se coloca una cubierta para prevenir la erosión del surco.
- (8) Tubos a través del ribazo. El caudal depende del diámetro del tubo y la diferencia entre niveles.
- (9) Tapa de metal o madera para cerrar los tubos.
- (10) Tubería con orificios. Con este tipo de tubos se pueden regar tanto los surcos como los compartimentos. Los orificios están provistos de puertas corredizas para controlar el flujo.
- (11) Riego por surcos. El agua se distribuye a lo largo de los surcos. Penetra en forma vertical y lateral.
- (12) Riego por surcos según curvas de nivel en una pendiente. El agua penetra en forma vertical y lateral. El movimiento del agua es principalmente hacia abajo, según la pendiente.
- (13) Riego por corrugaciones. El agua penetra en forma vertical y lateral.

**Fig. 1.2.A Detalle de Riego superficial**

**c).- Riego por melgas.**

Consiste en dividir el terreno por regar, en franjas de largo y ancho convenientes. Se recomiendan de 8 a 16 metros de ancho (considerando un múltiplo del equipo agrícola utilizado) y de 100 a 150 metros de largo, dependiendo del tipo de suelo. En suelos arcillosos el agua penetra más lentamente que en suelos arenosos, por esto, la longitud de la melga en el caso de estos últimos, será menor, debido a que el agua penetra más.

Las franjas de longitudes cortas producen una distribución uniforme del agua y originan menos desperdicio de la misma, en cambio, si la longitud fuera demasiado grande, se obtendría una distribución desigual del agua, lo que origina el sobre riego en su extremo superior y escasez de agua en su extremo inferior.

Las franjas se separan por medio de pequeños bordos de tierra de una altura aproximada de 30 cm.

La melga debe tener una pendiente en la dirección de su eje longitudinal para que se propicie un flujo adecuado durante la inundación. En general, se aplica una pendiente de hasta 0.5% en el caso de suelos arcillosos. La pendiente en suelos arenosos es de hasta 1%, para obtener una mayor velocidad del flujo de agua y así evitar una infiltración excesiva en la parte superior de la melga. Con objeto de dirigir mejor el agua en toda la melga, es conveniente, hacer pequeños surcos o corrugaciones longitudinales.

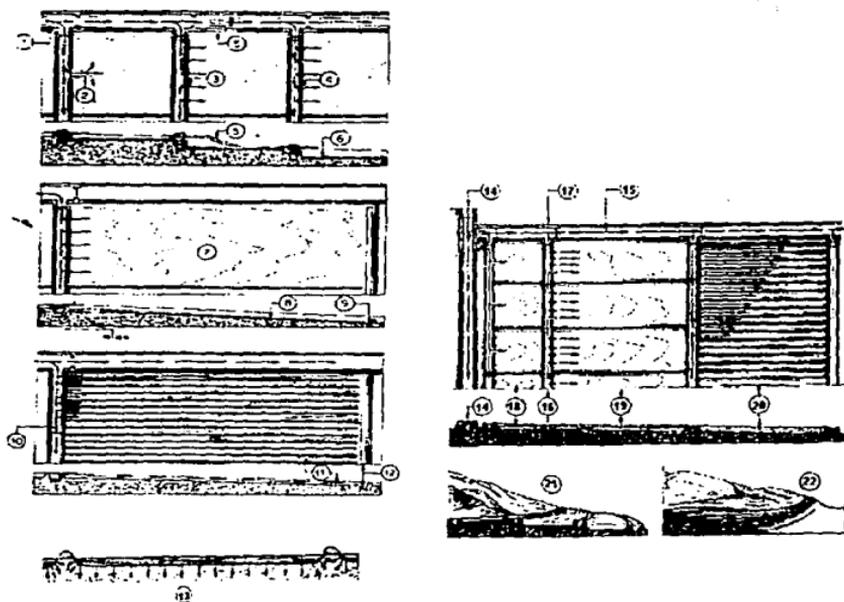
La derivación del agua del canal regadera a la melga, se puede hacer por medio de sifones, o bien, por aberturas en los bordos del canal regadera. Esto último no es recomendable, ya que se tiene un mal control en el agua derivada.

Este método de riego se utiliza en terrenos con pendientes uniformes y para cultivos como el trigo y alfalfa, además de poder proporcionar riegos ligeros, es decir, de poca penetración.

**d).- Riego por melgas siguiendo las curvas de nivel.**

La forma de las melgas es similar a las descritas en el método anterior, con la diferencia de que en éste método las melgas siguen el contorno de las curvas de nivel, por lo que el movimiento del agua es principalmente hacia abajo, según la pendiente, penetrando esta en forma vertical y lateral.

Este método es usado para cultivos en que se pueden utilizar riegos por inundación, como el arroz y preferentemente se emplea, para lavados de suelos en terrenos quebrados o con irregularidades topográficas.



- (1) Canal principal con desviadores para guiar el agua a los canales secundarios.
- (2) Compuerta para inundar el compartimiento.
- (3) Inundación por tubos a través del ribazo del canal.
- (4) Inundación por sifones.
- (5) Saltillo o salto en el canal principal.
- (6) Nivel del charco o compartimiento.
- (7) Melga o tablar.
- (8) Pendiente del tablar. Se observa que la melga tiene una parte plana al lado de la entrada, para obtener una mejor distribución lateral de la lámina de agua.
- (9) Canal de drenaje para captar el exceso de agua.
- (10) Lona para subir el nivel del agua en el canal secundario.
- (11) Surcos con una ligera pendiente.
- (12) Canal de drenaje para captar el exceso de agua.
- (13) Riego por inundación en charcos o melgas. El agua penetra en forma vertical. En los diques penetra también lateralmente.
- (14) Canal principal de suministro de agua.
- (15) Canal secundario
- (16) Canal terciario
- (17) Cajas divisorias de agua
- (18) Riego por inundación en charcos
- (19) Riego por inundación en melgas
- (20) Riego por surcos o corrugaciones
- (21) Melgas según curvas de nivel
- (22) Surcos según curvas de nivel

Fig. 1.2.A.1 Riego por inundación

### **e).- Riego por cuadros.**

Este método se deriva de la costumbre antigua de anegar grandes cuadros con las avenidas del río. Cada cuadro se forma con bordos de igual longitud (40 ó 60 metros) y se riega un cuadro después de otro, tomando el agua directamente del canal, actualmente se ha logrado disminuir las dimensiones de estos cuadros, con el consiguiente ahorro del agua.

## **A.2 Riego por infiltración.**

De los métodos superficiales de riego, el de infiltración es el que mejor se adapta a la mayoría de los cultivos, topografía del terreno y además se puede obtener un aprovechamiento aceptable del agua en comparación con el riego por inundación.

En el riego por infiltración los sistemas recomendables son:

### **a).- Riego por medio de surcos.**

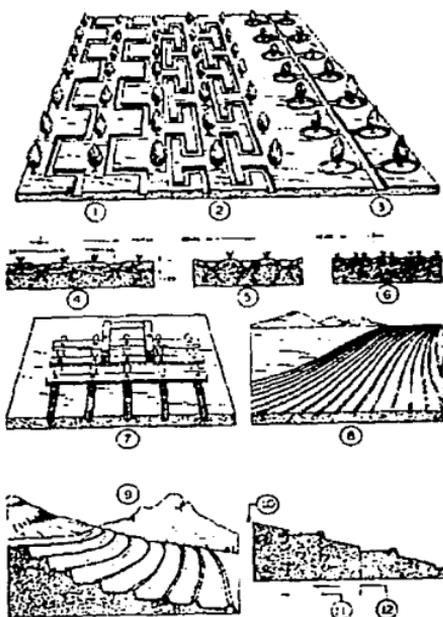
Este método de riego consiste en la distribución del agua por medio de los canales que se forman entre los surcos, dichos canales deben tener una pendiente longitudinal, con la cual pueda escurrir el agua sin problemas.

El paso del agua de los canales regadera a los surcos, se hace mediante sifones metálicos o de plástico, que trabajan con la diferencia de carga, provocada a través de pequeñas represas intercambiables. Estas represas se forman mediante la colocación de lonas ahuladas a lo largo de la sección transversal de los canales, o bien, rompiendo el bordo de la regadera y guiando el agua hacia el surco.

Existen variantes de esta forma de hacer el riego que a continuación se mencionan:

**Surcos profundos.-** En este caso la separación de los surcos queda regida por la separación de las hileras de los cultivos y se puede variar de 90 a 120 cm. La pendiente del surco no debe ser mayor del 3%, ni menor del 1%. La profundidad del surco puede ser de 20 a 30 cm., para facilitar la penetración del agua dentro del suelo. La longitud máxima está regida en cada caso por el carácter del suelo, la demanda del agua por el cultivo y la pendiente del surco.

**Surcos en contorno.-** Se utiliza en terrenos donde la topografía es accidentada. Los surcos en contorno siguen las curvas de nivel de la topografía. El trazo de éstos no debe tener curvas con radio menores de 10 m. a fin de evitar problemas con la operación de la maquinaria agrícola.



- (1) Surcos en forma de zig-zag en pendientes moderadas
- (2) Surcos en otra forma de zig-zag, usadas para riego en pendientes casi llanas.
- (3) Sistema de riego en compartimientos circulares alrededor de cada árbol.
- (4) En suelos arcillosos el agua se mueve más lateralmente. Por esto, la distancia entre surcos puede ser mayor.
- (5) En suelos arenosos, el agua penetra más rápidamente hacia abajo. Por esto, la distancia entre surcos debe ser menor.
- (6) Corrugaciones o surcos pequeños. Se utilizan en casos de cereales, alfalfa y pastos.
- (7) Equipo para trazar corrugaciones
- (8) Terreno con corrugaciones. Las corrugaciones se utilizan para distribuir el agua a lo largo de terrenos con pendientes suaves.
- (9) Bancales o terrazas según curvas de nivel. En terrenos con pendientes, se construyen surcos según las curvas de nivel, y bancales transversales a la pendiente.
- (10) Línea de declive original.
- (11) Bancal en contorno a nivel.
- (12) Derrame o zonas suplementaria según el declive original. Estas zonas entre bancales se usan en lugares semiáridos, para obtener más humedad en el bancal.

FIG 1.2.A.2 Riego por infiltración

El agua se introduce en los surcos por medio de estructuras con compuertas o líneas de tubería, se deben hacer instalaciones para el drenaje de agua en exceso o de lluvia, los suelos arenosos y los que se agrietan al secarse, no deben ser regados con este método.

**Surcos en Zig-Zag.-** Cuando se tienen terrenos con baja permeabilidad y se quiere disminuir la velocidad del agua en grandes pendientes, se construyen surcos en zig-zag, los cuales aumentan la longitud del recorrido de agua. Debido a la disminución de la velocidad, hay aumento en la infiltración.

La longitud de los surcos está limitada por el tamaño y la forma del terreno, tipo del suelo y la pendiente del terreno.

**Surcos en terrazas.-** Cuando la topografía es muy fuerte para riego por surcos en contorno, puede hacerse una nivelación en pequeñas fajas llamadas "terrazas" en donde los surcos pueden ser trazados, el suelo deberá ser suficientemente profundo para permitir una nivelación, pudiendo hacerse ésta en terrenos con pendientes de hasta del 25%, la anchura de las terrazas cuando se siembran frutales, hortalizas y legumbres, debe ser suficiente para alojar una o más líneas de árboles o plantas. El gasto utilizado en los surcos es pequeño, por lo tanto la longitud de los mismos debe limitarse.

#### **b).- Riego por corrugaciones.**

Este método de riego es frecuentemente usado debido a la gran cantidad de cultivos que se siembran en hileras, se emplea especialmente para cultivos como trigo, avena, cebada y en general gramíneas y pastos.

El agua de riego se distribuye en el campo mediante pequeñas corrientes que fluyen a través de una serie de corrugaciones, que en realidad son pequeños surcos angostos y superficiales que permiten una buena infiltración lateral. Tienen 70 cm. de ancho y una profundidad aproximada de 15 a 18 cm. Se emplean pendientes de 0.01 a 0.06% con la finalidad de lograr una mayor velocidad del agua de riego, sin que perjudique la preparación del terreno y la semilla sembrada.

La separación entre corrugaciones depende también del tipo de cultivo. En la práctica se da de 70 cm.

Con el fin de evitar rompimientos de las corrugaciones, debidos al traspaso lateral, se levantan bordos protectores a una distancia de 120 metros entre sí con una altura de 30 a 40 cm.

Las labores de conservación en este método son nulas, reduciéndose solamente al acondicionamiento de las regaderas.

### **c).- Riego por cama melonera.**

Con este método, el riego en lugar de hacerse al lado de cada hilera de plantas, se aplica con dos hileras para disminuir el volumen de evaporación y aprovechar en mejor forma el agua y la superficie de riego. La pendiente utilizada es del orden de 0.01 a 0.05% con el objeto de lograr una uniformidad en el riego y aprovechar las escasas precipitaciones que lleguen a presentarse. La altura de la cama varía de 30 a 40 cm. y la separación entre ellas es de 1.80 m.

El riego se efectúa mediante sifones, tratando de mantener un nivel más o menos constante en la regadera y colocando los sifones a la misma altura con respecto al nivel del agua, de manera que estén sacando el mismo gasto.

Este método de siembra permite una buena preparación del suelo, dejando una cama bien mullida para la semilla, lo cual permite un nacimiento uniforme y una buena acercación entre las plantas.

La separación entre camas, permite la entrada de implementos, lográndose una cosecha más eficiente, debido a que las plantas entre los surcos están más separados que sobre las camas.

El nivel del agua debe llegar a un punto que no rebase la corona de la cama, la cual se debe humedecer únicamente por capilaridad o transporo, evitando así las compactaciones y una saturación que produzca asfixia o falta de oxígeno para el buen desarrollo de las raíces, de esta manera la planta no se pudre y disminuye la incidencia de enfermedades, debido a que el agua no toca los tallos y las hojas inferiores, obteniéndose un control natural de las malas hierbas.

## **B. Método de riego aéreo.**

### **B.1 Riego por aspersión.**

A diferencia de los métodos de riego por inundación y por infiltración, el riego por aspersión no requiere de la nivelación del terreno, ya que la distribución del agua no depende de la gravedad, pues su aplicación se realiza en forma de lluvia por presión hidráulica.

Este método consiste en aplicar el agua al terreno lanzándola previamente por medio de manguera o tuberías al aire, de donde cae al suelo en gotas cuyo tamaño depende de la intensidad con que se impulse y de su altura de caída. El desarrollo de la tubería ligera con uniones de tipo rápido produjo un gran aumento en la aplicación del método.

La aspersión puede hacerse con tubería perforada, con cabezales rotatorios o fijos. Es imposible obtener una distribución uniforme del agua alrededor del cabezal de aspersión y debe planearse el espaciamiento de cada cabezal a fin de traslapar o sobreponer la masa pulverizada para que la distribución sea esencialmente uniforme, pero tiene algunos inconvenientes tales como: el costo inicial que es muy elevado, energía extra para producir la presión, el viento evita la uniformidad del riego, se tapan las boquillas por basuras o no giran los aspersores por las mismas y algunos otros casos por el estilo.

El riego por aspersión puede tener ventajas definidas en economía, porque con él se pueden aprovechar tierras nuevas que nunca se habían utilizado para el riego, especialmente cuando la tierra es escabrosa o el suelo es poroso, plano o muy erosionado y proporciona un medio para regar áreas que son tan irregulares, así se evita el empleo de cualquier otro método de riego superficial, es ventajoso cuando se dispone de pequeños volúmenes de agua, como en el caso de los pozos de riego de poca capacidad cuando las matas están muy pequeñas.

Las ventajas básicas de este sistema de riego se enlistan a continuación:

1. Permite fertilizar los cultivos en las cantidades y a las profundidades deseadas.
  2. Puede coordinarse con cualquier otro procedimiento de aplicación del agua necesaria para el mejor manejo de los cultivos.
  3. Eliminación de pérdidas de elementos nutrientes por lixiviación.
  4. Obtención de rendimientos óptimos y costos muy reducidos, usando mucho menos agua que por gravedad, situación que es altamente valiosa en zonas donde es escasa el agua.
  5. En el renglón especial de fruticultura da mayores rendimientos.
  6. Los equipos de riego por aspersión debidamente diseñados pueden auxiliar muy efectivamente en el control de las heladas.
- El sistema consta de las siguientes partes básicas:

1. **Sistema de inyección.** Está constituido por una bomba y el motor necesario para operarla. El motor puede ser eléctrico o de combustión interna, siendo más práctico este último tipo que permite variar la velocidad y se puede usar con mayor elasticidad.

La bomba sirve para succionar el agua del canal de conducción u otra fuente y transportar el líquido bajo una cierta presión por un sistema de tuberías hacia los aspersores, con el fin de hacerlos funcionar. Debe manejar un caudal relativamente grande, la presión no es excesivamente alta y la línea de succión debe ser lo más corta posible para una operación efectiva.

La bomba puede ser centrífuga en el caso más general o de pozo profundo, dependiendo de la fuente de abastecimiento de agua. En ocasiones, si se dispone de un depósito lo bastante alto para que proporcione la presión necesaria, puede prescindirse del sistema de inyección, pero éste es un caso poco común.

2. **Tubería principal o de conducción.** Es una línea de tubería de aluminio en los equipos portátiles que liga al sistema de inyección con las líneas de riego y siempre es de diámetro mayor que éstas. Cuando se trata de equipos estacionarios o semiportátiles, esta tubería puede ser de lámina de acero.
  
  3. **Líneas de riego.** Son tuberías de aluminio en el caso de equipos portátiles o semiportátiles y pueden ser de acero en los estacionarios. Son de varios tipos, en el caso más frecuente tienen a distancias de 6, 9 ó 12 metros salidas para los elevadores a los que se conectan los aspersores giratorios. Hay también tubería de aluminio perforada que se utiliza para riego de plantas forrajeras y en general de plantas de poca altura. En algunos equipos estacionarios se usa tubería de acero o aluminio con toberas por las cuales sale el agua, éstas líneas además giran a un ángulo de 90° con la vertical para cada lado. Otros equipos estacionarios usan también elevadores con aspersores giratorios.
- Debe aclararse que en el caso de los equipos portátiles, las líneas de riego y de la conducción se integran con tramos de aluminio de 3, 6 y 9 metros de longitud, siendo el más usual el de 6 m., los tubos se unen con coples de conexión rápida de cierre hermético que se asegura por la presión del agua en los tubos.
4. **Accesorios para conectar el sistema de inyección a la tubería principal.** Tees para ligar las líneas de riego a la tubería principal, válvulas para la operación correcta del equipo, tapones finales para las líneas, etc.

5. Los aspersores son dispositivos que separan el líquido en gotas y las distribuyen en el campo en un círculo entero, o sólo en una parte del círculo. Para operar, el líquido tiene que estar bajo cierta presión hidráulica.

Además, la fuerza del chorro de agua es recibida por un brazo actuado por un resorte y de esta forma se hace girar el aspersor y cambia la dirección del chorro. Existe una gran variedad de aspersores, las diferencias entre éstos se encuentran principalmente en los siguientes aspectos:

- Presión de operación, que varía entre 0.5 y 10.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- Descarga, que para aspersores que funcionan con presiones bajas e intermedias es de 0.6 hasta 10.0 lts./seg. Y para sistemas de alta presión, es de 10 hasta 50 lts/seg.
- El diámetro del círculo que cubren varía entre 20 y 80 m. para sistemas de presiones bajas e intermedias, y entre 80 y 140 m. para instalaciones de alta presión.
- El tamaño del orificio, varía entre 3 y 20 mm<sup>2</sup> para presiones bajas e intermedias, y entre 20 y 40 mm<sup>2</sup> para presiones altas.

Al aumentar la presión, el tamaño de las gotas será menor. También la sección del orificio influye sobre el tamaño de las gotas. Cuanto más chico sea el orificio, menor será el tamaño de las gotas.

En suelos arcillosos, se requiere que las gotas sean más finas que en suelos livianos. En regiones con mucho viento, las gotas deben ser más grandes.

La descarga de la boquilla será mayor, si el orificio es más grande y la presión más alta. En el caso que se necesite una descarga grande, con un tamaño de gotas no tan finas, combinado con un gran alcance, se emplean boquillas con un orificio extra grande para compensar el efecto de la pulverización por la alta presión. La presión es necesaria para obtener un mayor alcance del chorro de agua.

Generalmente los fabricantes de los equipos de aspersión suministran a los clientes tablas que indican las descargas, que se obtienen con las diferentes presiones y diámetros de las boquillas. La descarga se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Qd = 659.74 C D^2 \sqrt{P}$$

en la que:

$Q_d$  = Descarga en metros cúbicos/minuto.

$D$  = Diámetro de la boquilla en metros.

$P$  = Presión en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

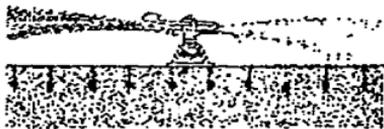
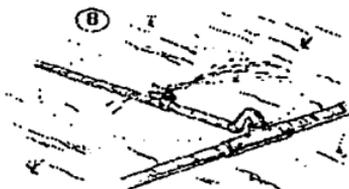
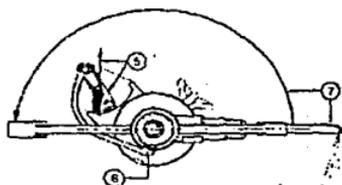
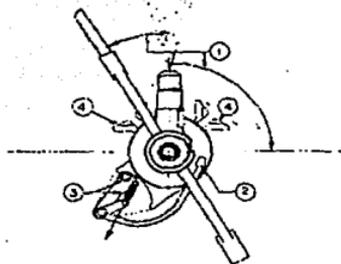
$C$  = Coeficiente con un valor general de 0.97, pero se usa comúnmente 1.0.

Cabe señalar, que el aspersor no proporciona una superficie uniformemente mojada. En general, la parte más alejada del aspersor alcanza menos humedad. Además el área cubierta tiene una forma circular, que no permite un arreglo sin la superposición de la superficie que riegan los aspersores adyacentes. Por esto, existen tres tipos de arreglos básicos de los aspersores: arreglo en cuadrado, en rectángulo y en triángulo.

Se pueden aplicar fertilizantes junto con el agua de riego por aspersión. Los fertilizantes se mezclan con el agua y se introducen en la línea principal.

Este tipo de riego se adapta a la mayoría de los cultivos, con excepción del arroz, que normalmente se cultiva en compartimientos bajo inundación. Además, el sistema es adecuado para ser usado en un amplio rango de condiciones topográficas, la máxima pendiente tolerable para aplicar este tipo de riego será hasta de 20%.

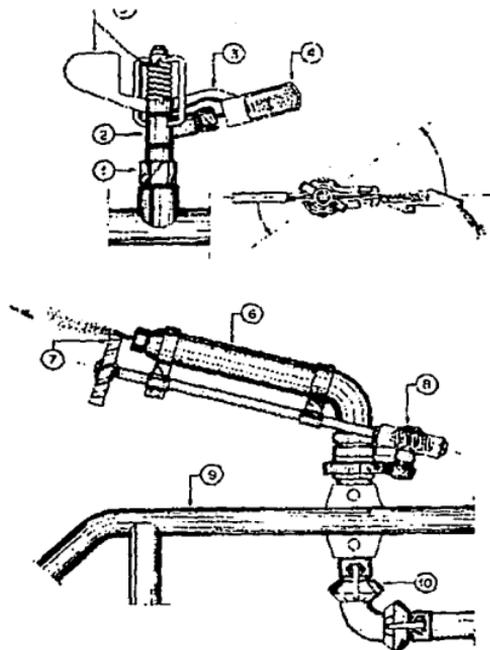
Se estima que la eficiencia del riego por aspersión, es de 70% en promedio, debido a que los vientos fuertes y temperaturas altas la disminuyen.



9

- (1) El movimiento oscilante del brazo hace girar la boquilla hacia la derecha.
- (2) Brazo de retención. Por la presión del resorte, el brazo se encuentra fuera del radio de acción del brazo oscilante.
- (3) Brazo con tope que, al mover hacia la derecha, empujará el resorte a través de su punto muerto.
- (4) Topes limitantes del giro del aspersor. Pueden ser fijados en las posiciones deseadas para regular el giro.
- (5) Al chocar contra el tope limitante, el brazo se mueve e impulsa el resorte a través de su punto muerto. El resorte empuja ahora en la otra dirección-
- (6) El brazo de retención bloquea el movimiento del brazo oscilante.
- (7) El chorro de agua empuja el brazo oscilante, pero éste está ahora conectado con la parte giratoria del aspersor. Entonces, todo gira hacia la izquierda, hasta que el brazo del resorte choque con el otro tope limitante.
- (8) Riego por aspersión.
- (9) Distribución del agua por aspersión. La velocidad de la infiltración es mayor que el suministro. La filtración es por gravedad, y casi vertical.

Fig. 1.2.B.1.0



- (1) Conexión del aspersor a la lateral.
- (2) Parte giratoria del aspersor con la boquilla.
- (3) Brazo oscilante del aspersor.
- (4) Canchilón del brazo oscilante. Cuando el chorro de agua golpea sobre el canchilón, la fuerza del mismo impulsa el brazo hacia la izquierda, contra la fuerza del resorte.
- (5) Contrapeso y resorte. Cuando el brazo oscilante mueve a la izquierda, el resorte absorbe la energía del movimiento y hace volver el brazo. El brazo, al regresar, golpea contra el puente y hace rotar la parte giratoria con boquilla.
- (6) Aspersor de gran alcance, de alta presión.
- (7) Turbina. El chorro de agua hace girar la rueda de la turbina.
- (8) Sistemas de engranes, mediante el cual la turbina hace rotar el aspersor.
- (9) Soporte del aspersor.
- (10) Conexión de la tubería.

Fig. 1.2.B.1.1

## **C. Método de riego subterráneo.**

### **C.1 Riego por capilaridad.**

Este término se usa para describir el suministro automático de agua a las plantas que se cultivan en contenedores sobre arena húmeda con el movimiento capilar a través del abono mediante un constante nivel de agua en la arena. Se controla tal nivel por debajo de la base del contenedor de tal forma que el compost no está nunca inundado. Este sistema puede emplearse en bancos elevados o en camas a nivel del suelo. Elimina la mayor parte de mano de obra para los trabajos de riego a mano y suministra a cada contenedor de acuerdo con sus individuales necesidades de riego, así plantas de diferentes especies y en distintos estados de crecimiento son adecuadamente regadas. La mayor parte de las plantas prosperan según el riego capilar pero el beneficio máximo se obtiene con las plantas de crecimiento rápido que requieran una gran necesidad de agua. Este sistema no es apropiado para todas las plantas, particularmente para aquellas que requieren un régimen seco y antes de iniciar una operación de gran escala debe realizarse un ensayo con estas especies particulares.

El principio del sistema es que el agua se mueve hacia arriba hasta un nivel libre a través de los pequeños poros del suelo por la atracción capilar y la elevación es más grande a través de los tamaños de poros más pequeños. En el compost hay una composición de distintos tamaños de poros y la capilaridad por lo tanto varía, para seleccionar un adecuado compost y un nivel de agua libre en relación con el recipiente los poros más pequeños deben estar rellenos de agua mientras que los más grandes deben permanecer con aire. De aquí que el promedio de la relación agua/aire y el contenido de humedad de un compost varíe en diferentes niveles en una maceta.

La distancia vertical entre el nivel de agua libre y la maceta es crítico para poder regar satisfactoriamente mediante este método. Una vez que la capilaridad se ha establecido, las pérdidas de agua por transpiración y evaporación de la maceta se reemplazan por movimientos verticales y horizontales del agua a través de una capa de arena sobre la que las macetas descansan.

## **D. Otros métodos de riego.**

### **D.1 Riego por goteo.**

El sistema de riego por goteo consiste en la distribución de gotas de agua a través de pequeños orificios que humedecen sólo el área cercana a la planta o árbol, es decir, en el área de mayor concentración de las raíces. Esto se puede

lograr mediante el tendido de una tubería de plástico perforada a lo largo del terreno en la base de una hilera de plantas, las perforaciones se diseñan para entregar un gasto pequeño (5 lts. o menos por seg/ha.) y se le dan espaciamientos para poder producir una faja humedecida a lo largo de la hilera del cultivo o bien un bulbo mojado en cada planta, la evaporación desde la superficie del suelo es mínima y se evita casi enteramente la infiltración profunda, los nutrientes pueden ser casi aplicados directamente a las raíces de las plantas, agregando el fertilizante líquido al agua, los problemas de salinidad son mínimos porque las sales se mueven hacia la orilla exterior de la zona humedecida esto es, lejos de las raíces de las plantas, la ventaja principal es el excelente control ya que el agua puede aplicarse a una velocidad cercana a la de consumo, los costos de inversión son grandes pero los costos de obra son bajos una vez que se instala el sistema. La base del método consiste en el esparcimiento lateral del agua sobre la superficie de riego por medio del transporte de la misma bajo presión, a un emparillado de boquillas relativamente poco espaciada, con descarga a través de dichas boquillas a una presión virtualmente nula.

Las ventajas de este método con respecto a otros son las siguientes:

- a). Notoria mejoría en los rendimientos de los cultivos, a menudo producen el doble o más de lo que se obtiene con los métodos por aspersión o por surcos.
- b). Permiten el crecimiento de los cultivos que no podrían obtenerse bajo condiciones normales de riego debido al problema de ensaltramiento.
- c). Permiten el acortamiento del período de desarrollo y la producción de cultivos precoces.

El sistema básico consta de filtros, reguladores de presión, tubos conductores, tubos laterales, reguladores para bajar la presión y goteros.

La descripción técnica general de los componentes del sistema es la siguiente:

1. El cabezal es conectado a la tubería principal de abastecimiento de agua a la parcela, que incluye filtros, válvulas, coples, medidor de agua, manómetro y conexiones para un aparato de distribución de fertilizante.
2. Tubería de conducción de diámetro adecuado con la distancia y el caudal de descarga.
3. Tubería de distribución o ramales de pequeño diámetro, generalmente 1.27 a 1.69 (de 1/2 a 2/3"), conectados en paralelo a la línea de conducción.
4. Boquillas que pueden construirse en varias formas, en principio tienen una pequeña perforación y un dispositivo para reducir la presión del agua de

manera que ésta deje el sistema en forma de gotas. La proporción de descarga de una boquilla varía generalmente entre 1.514 y 8.327 lts/seg/ha (0.4 a 2.2 gal/seg/ha).

5. Un aparato de distribución de fertilizantes, conectado al cabezal a través del cual circula de  $1/3$  a  $1/4$  del gasto total del agua, dicha agua transporta el fertilizante disuelto.

Los diversos componentes del sistema que no sean el cabezal y el aparato de fertilizantes, se constituyen generalmente de plástico.

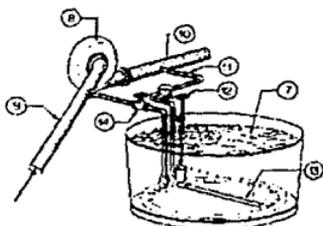
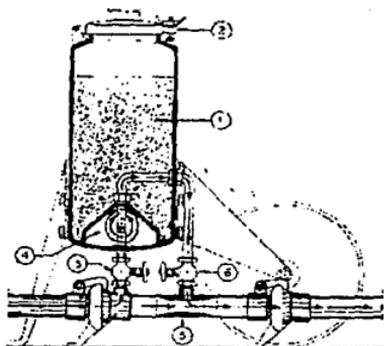
Los ramales y las boquillas se colocan sobre la superficie del terreno o se entierran a una profundidad no mayor de 5.08 a 10.16 cm (2 a 4").

El sistema descrito es especialmente adecuado para cultivos en hileras, en los que cada tubo de distribución con sus boquillas riega una hilera simple o un número mayor de hileras poco espaciadas.

El agua que se utiliza en este sistema de riego debe estar libre de impurezas tales como sales químicas y bicarbonatos, porque éstos pueden bloquear el flujo, es por esto, que la limpieza del agua por medio de filtros es una parte importante del funcionamiento del sistema. Para gotear bien, cada gotero está provisto de un regulador para bajar la presión del suministro del agua.

Este sistema de riego se puede aplicar en terrenos con pendientes, ya que en esta forma el agua gotea directamente al pie de la planta. Es adecuado para suelos con textura media, ligeramente estratificados. En suelos con textura gruesa y con grava, el agua puede penetrar hasta un metro de profundidad. Si el suelo es de arcilla pesada con bajo índice de absorción, el agua puede formar charcos y dañar las raíces. Este sistema no se aconseja para suelos ligeros.

Como el riego por goteo no es afectado por el viento, y debido a que el agua cae en la zona de mayor concentración de raíces, la eficiencia de este sistema es mayor que la del riego por aspersión. La eficiencia del riego por goteo es de 90 a 95%.



- (1) Recipiente cerrado de fertilizante.
  - (2) Tapa del recipiente, herméticamente cerrada.
  - (3) Válvula para controlar la entrada del agua.
  - (4) Cámara. La pared superior está perforada para la entrada de fertilizantes. En la cámara se mezclan el agua y los fertilizantes.
  - (5) Venturi. Es una parte más angosta en la línea. Crea una presión más baja, y por esto se succiona la mezcla de la cámara y la línea.
  - (6) Válvula para ajustar la dosificación.
  - (7) Otro recipiente. es un barril abierto en donde se mezclan el agua y los fertilizantes.
  - (8) Boma de riego.
  - (9) Tubo de succión de la bomba. La presión en este tubo es baja.
  - (10) Tubo de descarga de la bomba. En este tubo la presión es más alta.
  - (11) Línea que conduce el agua hacia el barril.
  - (12) Válvula para controlar la entrada de agua al barril
  - (13) Tubo perforado. El agua entra en el barril, mezclándose con los fertilizantes.
  - (14) Línea de succión con válvulas para ajustar la dosificación. A través de esta línea pasa la mezcla del barril hacia la entrada de la bomba.
  - (15) Riego por goteo.
- (16) Riego por goteo. La distribución se efectúa localmente en la zona de mayor absorción de la planta o árbol. La penetración del agua es casi vertical

Fig. 1.2.D.1

## **D.2. Riego por tuberías a presión.**

La distribución del agua en el terreno se puede también realizar por tubería, que representa en realidad canales cerrados. La toma de agua de este sistema de tubería puede ser localizada en un canal principal de conducción. En el caso que se lleve el agua desde la fuente por tubería, el sistema se conectará a la tubería principal.

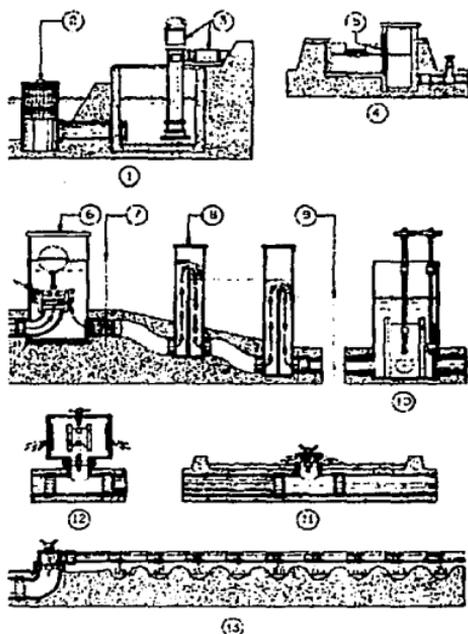
Las conducciones pueden estar hechas de aluminio, de acero galvanizado o tubos de plástico y constan de secciones que usualmente tienen acoplamientos rápidos que facilitan su separación para desplazamientos. Están montadas en soportes de unos 60 cm. de altos que se elevan sobre las cosechas; para cosechas de mayor altura se colocan soportes más altos en la tierra y se dejan en posición durante la estación completa.

En la práctica es usual limitar la presión de operación y la pérdida de presión a lo largo de la línea.

Las tuberías se describen usualmente con referencia a sus diámetros interno o externo según el material del que ellas estén hechas. Las tuberías de riego siendo de paredes muy delgadas generalmente se conocen por su tamaño "nominal" y las diferencias entre diámetros interno y externo se ignoran ya que vienen a coincidir, dado el poco espesor del tubo. Para trabajos de gran precisión la medida del diámetro interno es importante.

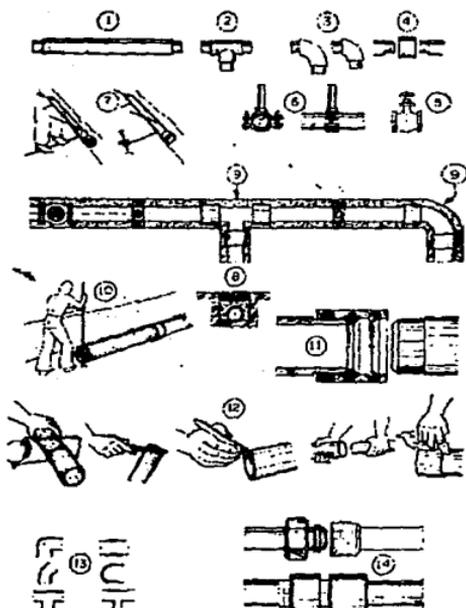
Es un error común instalar una conducción demasiado pequeña para el suministro propuesto o una que no permita la futura expansión del sistema o que produzca incrustaciones minerales en las paredes de la tubería. Con conducciones principales de riego portables hay a veces alguna ventaja práctica en reducir el tamaño de las conducciones ya que las ramas de la tubería principal y el caudal potencial de agua disminuyen. Todo ello con el inconveniente que supone el de utilizar tuberías de distintos tamaños.

El riego con tuberías fuera de invernaderos se restringe largamente a cultivos para ensaladas y cosecha de flor y se utiliza en muy pequeña escala para hortalizas. Las cosechas de exterior en cualquier escala que se hagan se riegan generalmente mediante aspersores.



- (1) Instalación de bombeo. Se usa en casos donde el nivel del agua en el canal es más bajo que en el terreno que se va a regar.
- (2) Cámara de entrada o boca, equipada con filtro de malla.
- (3) La bomba se conecta al sistema de tubería de distribución, mediante una conexión flexible.
- (4) Entrada del agua en el sistema de tubería, en el caso de que el nivel del agua en el canal quede suficientemente por encima del terreno, para permitir una distribución por gravedad.
- (5) Filtro de malla
- (6) Válvula de flotación
- (7) Nivel del agua o presión, mantenida por la válvula de flotación. Si la presión sobrepasa este nivel, la válvula se cierra.
- (8) Reguladores de rebosamiento. Su funcionamiento es similar al de los retenes en canales abiertos. Evitan que la presión aumente en pendientes.
- (9) Los reguladores de rebosamiento mantienen la presión.
- (10) Desviador para alimentar las líneas laterales y equipo de distribución del agua en el campo.
- (11) Toma de agua con válvula alfalfa colocada en un compartimento, para inundarlo.
- (12) Toma de agua con puertas corredizas
- (13) Toma de agua conectada con tubo distribuidor de agua, provisto de orificios con puertas corredizas.

Fig. 1.2.D.2.0



- (1) Tubo principal, de acero, asbesto o plástico
- (2) Unión en T.
- (3) Diferentes codos
- (4) Unión recta
- (5) Válvula
- (6) Conexión de un elevador
- (7) Manera de bajar la tubería en la zanja
- (8) Instalación de la tubería en la zanja
- (9) Refuerzo de concreto en las esquinas de presión
- (10) Manera de conectar los tubos en la zanja
- (11) Sección de una unión. En su interior se encuentran un retén izquierdo, un retén derecho, y un anillo de caucho.
- (12) Conexión de tubos de plástico. Después de haber cortado los tubos, se eliminan las irregularidades de los bordes con una lima. Se aplica el pegamento. Luego de haber insertado los tubos, se giran un poco para distribuir el pegamento. Por fin, se elimina el exceso de pegamento.
- (13) Diferentes accesorios para sistemas de tubería plástica.
- (14) Conexiones entre tubos metálicos y tubos de plástico.

Fig. 1.2.D.2.1

### **D.3 Nebulización.**

Este sistema de riego por encima suministra humedad directamente a la superficie de los esquejes colocados en compost sobre un banco. Previene el marchitamiento de las hojas reduciendo la transpiración.

Un detector de humedad denominado comúnmente como "hoja electrónica" se utiliza a menudo para controlar el sistema de nebulización. Este consta de una placa pequeña de material aislante que lleva dos electrodos; uno se coloca en posición entre los esquejes de forma que éste se humedece, como las hojas de las plantas, por el agua emitida a través de las boquillas difusoras del nebulizador. Cuando los electrodos se unen mediante una película de agua, se completa así un circuito eléctrico y la unidad de control opera una válvula solenoide cortando el suministro de agua. Los golpes o salidas del suministro de agua deben ser únicamente de unos pocos segundos de duración y pueden realizarse similarmente a intervalos cortos. Una unidad de control para variar la frecuencia de las aplicaciones del nebulizador es actualmente obtenible y puede ayudar para que las plantas alcancen sus condiciones naturales de desarrollo.

Las boquillas de propagación de nebulización especial también están disponibles para operar de 170 a 344 newton por metro cuadrado, pero boquillas difusoras más simples también pueden utilizarse a presiones altas para que produzcan suficientemente las gotitas finas.

La conducción de suministro de agua se instala usualmente en el banco bajo el medio de enraizamiento con conducciones verticales adecuadamente espaciadas, cada una dotada de una sola boquilla. Es muy importante asegurar un recubrimiento por nebulización igual en los bancos. La nebulización por encima durante la propagación resulta más beneficiosa cuando se utiliza en conjunción con un calentamiento de los bancos.

### **1.3 Drenaje.**

El drenaje de los campos sirve para evacuar excesos de agua de la zona de absorción, con el fin de evitar la saturación del suelo. En consecuencia, toda zona donde se practique el riego, se le debe suministrar drenaje, con la finalidad de que el crecimiento de los cultivos no se afecte seriamente por la continua saturación en partes de la zona radicular, así como por el agua encharcada en la superficie, salvo casos especiales como en aquellas zonas en donde existe una combinación de drenaje natural, superficial y subsuperficial, que permitan el

tránsito con rapidez hacia afuera de la zona de riego, de las aportaciones de cuencas exteriores, de la lluvia y de los excesos de riego, y con esto impida el ascenso de la superficie freática hasta niveles críticos.

Las principales consecuencias adversas de un drenaje deficiente incluyen lo siguiente:

- Un aumento de evaporación que resta calor al suelo.
- Un suelo anegado necesita más tiempo para calentarse. Por consecuencia, se retarda la siembra y se acorta la temporada de crecimiento del cultivo.
- La saturación y el encharcamiento dificultan la circulación del aire en el suelo, impidiendo el crecimiento del cultivo y la actividad bacteriana.
- La saturación favorece el desarrollo de determinados parásitos y enfermedades de las plantas.
- El alto nivel freático limita la penetración de raíces, así como también la zona de absorción. Se afecta desfavorablemente la estructura del suelo.

El drenaje se necesita tanto en regiones húmedas como en regiones semiáridas y áridas donde se práctica el riego. El avenamiento de campos en regiones húmedas es esencial para evacuar el exceso de agua que resulta de la fuerte precipitación. En las regiones semiáridas y áridas donde se riega, la necesidad de drenaje está causada por el riego mismo. En el último caso, el drenaje sirve principalmente para regular la salinidad y alcalinidad del suelo y del agua del subsuelo.

El agua de riego trae sales, que se acumulan en el suelo cuando el agua desaparece sólo por evapotranspiración, y para evitar esta acumulación de sales, se debe aplicar de vez en cuando una cantidad de agua de riego adicional para que se efectúe el proceso de lixiviación. Así es que el drenaje, en la mayoría de los casos, forma una parte integrante del sistema de riego.

Los métodos de drenaje pueden ser de dos tipos:

- 1).- Drenaje abierto, mediante canales abiertos.
- 2).- Drenaje subterráneo, mediante canales cerrados bajo tierra. Estos pueden ser revestidos con tubos permeables.

El método de drenaje subterráneo se emplea principalmente en climas templados, en los cuales se presenta una precipitación uniforme y exige una inversión relativamente grande.

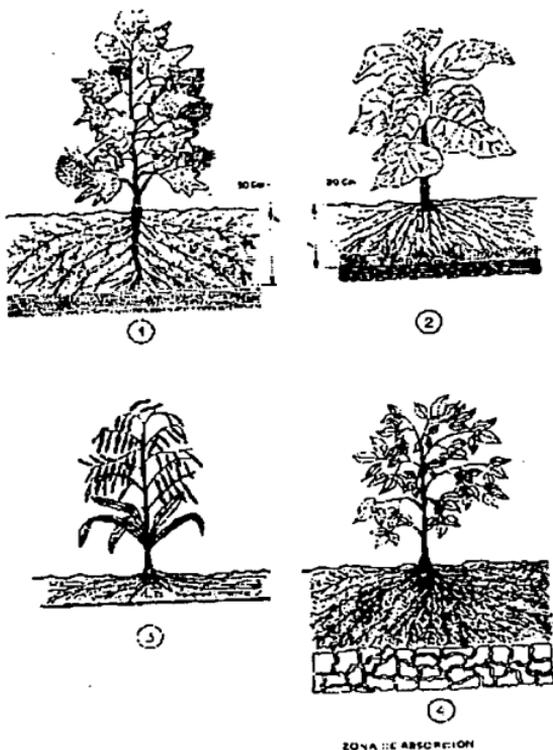
En la gran mayoría de los casos, se usa el drenaje mediante canales abiertos. En regiones tropicales y subtropicales, donde predominan precipitaciones fuertes de corta duración, el drenaje se usa para evitar el escurrimiento del agua de lluvia que no puede infiltrarse en el suelo.

La red de drenaje tiene como objetivo principal eliminar el agua sobrante, tanto superficial como del subsuelo, que afecta el buen desarrollo de las plantas y sus principales funciones son las siguientes:

- a).- Eliminar el agua superficial, principalmente el agua de lluvia, así como la de exceso de riego y desagüe de canales.
- b).- Evitar la elevación del manto freático a niveles que afectan el desarrollo de las plantas.
- c).- Drenar zonas bajas o empantanadas para aprovecharlas en la agricultura.
- d).- Desalojar el agua que escurre de la cuenca externa a la zona de riego y de los arroyos que atraviesan dicha zona.

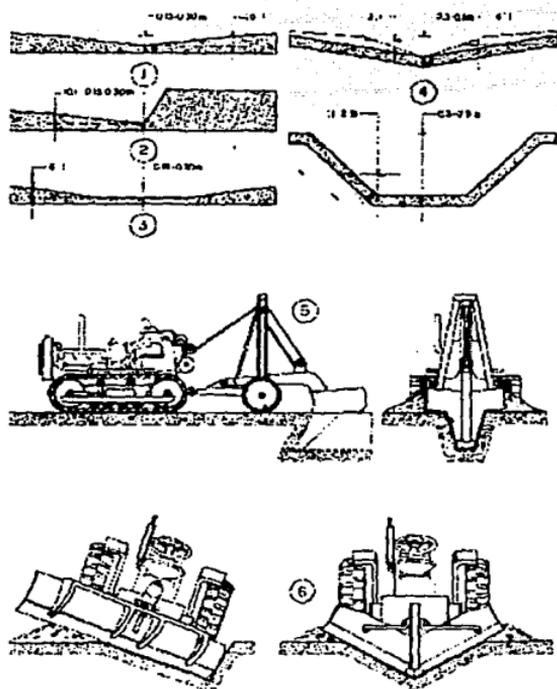
Para satisfacer las funciones antes mencionadas, el drenaje deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- 1).- Estar localizado hacia donde fluyen las aguas en forma natural.
- 2).- Tener la capacidad necesaria para eliminar las aguas que fluyen a él principalmente las aguas de lluvia o avenidas de los arroyos que cruzan la zona de riego en un tiempo que no afecte los cultivos.
- 3).- Disponer de un número suficiente de drenes cuya función consiste en la intercepción del agua del campo.



- (1) Suelo con una estratificación arenosa en el subsuelo a una profundidad de unos 50 cm. Este impide un desarrollo del sistema radicular a más de 50 cm. debido a la falta de agua en la zona arenosa.
- (2) Suelo con un nivel del agua freática a una profundidad de unos 30 cm. El agua ha desplazado el aire del subsuelo, y por lo tanto, las raíces no pueden desarrollar a mayor profundidad.
- (3) Suelo compacto. El desarrollo del sistema radicular es superficial.
- (4) Suelo con una capa rocosa en el subsuelo. Esta capa impide el desarrollo del sistema radicular.

**Fig. 1.3.0**



II DRENAGE 89

- (1) Drenes de campo en forma de V, y sus dimensiones más usadas.
- (2) Drenes de campo en forma de media V, y dimensiones más usadas.
- (3) Drenes de campo en forma trapezoidal y sus dimensiones más usadas.
- (4) Drenes laterales en forma de V y trapezoidal con sus dimensiones más usadas.
- (5) Maquinaria para la construcción de drenes en forma trapezoidal.
- (6) Maquinaria para la construcción de drenes en forma de V.

Fig. 1.3.1

## 1.4 Riego por gravedad.

La distribución del agua por medio de la fuerza de gravedad incluye dos operaciones básicas:

- 1).- Distribución del agua en el terreno por medio de canales abiertos o por tubería.
- 2).- Distribución del agua en el campo, sea por inundación total o por inundación parcial mediante surcos y corrugaciones.

Los canales para la distribución del agua en el terreno son, en realidad, una extensión de los canales de conducción del agua desde la fuente. Se diferencian de los canales de conducción, principalmente por su tamaño.

La distribución del agua en el terreno, se puede también realizar por tubería, que representan en realidad canales cerrados. La toma de agua de este sistema de tubería puede ser localizada en un canal principal de conducción. En el caso que se lleve el agua desde la fuente por tubería, el sistema se conectará a la tubería principal.

Además, muchas de las estructuras que se emplean en los canales principales y en la tubería principal, se usan también en los canales secundarios y terciarios, y en la tubería de distribución.

Según las condiciones, se encuentran diferentes combinaciones de las alternativas para la extracción, conducción, distribución en el terreno, y de la distribución del agua por gravedad en el campo. Por ejemplo, se puede tener un sistema de extracción por gravedad por una boca-toma en el río, una conducción del agua hacia el terreno por un canal principal, una distribución en el terreno por canales abiertos y una distribución del agua en el campo por inundación.

Los métodos de riego por gravedad fueron descritos en el apartado anterior.

El riego por compartimientos es el más simple y de hecho el más usado, este sistema se presta adecuadamente para cultivos tales como arroz, cereales, cacahuate, garbanzo, alfalfa, pastos, huertos, plantaciones, hortalizas y otros cultivos intensivos.

El riego por desbordamiento natural se usa para cultivos que protegen el suelo suficientemente contra la erosión. Es un sistema muy simple, que se emplea particularmente para cultivos forrajeros perennes.

El riego por escurrimiento en tablares o melgas es un sistema eficaz para cultivos relativamente densos tales como alfalfa, pastos y cereales. También se emplea en huertos y viñedos.

El riego por surcos es particularmente adecuado para cultivos que requieren la construcción de surcos y camellones para su debido desarrollo, así como para cultivos que no permitan que su tallo o cuello de raíz quede sumergido. El sistema se aplica en cultivos tales como hortalizas, algodón, remolacha, maíz, papas, cultivos de semillas, huertos y viñedos.

El riego por corrugaciones o surcos pequeños se usa en cultivos espaciados, como cereales, alfalfa, pastos y otros cultivos a voleo.

## **1.5 Planeación general.**

El primero de los propósitos en la planeación de una zona de riego es el de prever con la mayor precisión posible las cuantías de las disponibilidades de agua y las necesidades que hayan de satisfacer, para esto es necesario contar con bases firmes, las cuales se obtienen por medio de estudios básicos que ya fueron descritos en los apartados anteriores.

El segundo de los propósitos es que la distribución y aplicación del agua se realice con el máximo de eficiencia y equidad, con objeto de incrementar la productividad agrícola y ganadera. Para esto es necesaria la correcta localización y construcción de las obras, así como la debida operación y conservación de las mismas, contando para ello con el tipo de estructuras adecuadas de operación, de cruce, y de protección que garanticen tal fin.

Para la planeación general de la red de distribución, es necesario:

1. Localizar el drenaje natural, ya que es éste, en todos los casos el que divide los núcleos del terreno que domina cada canal.
2. Delimitar el área de riego, basándose en la selección del tipo de suelo de acuerdo con su calidad agrícola efectuada en el estudio agrológico.
3. Con la clasificación de los suelos, las condiciones topográficas y geológicas del lugar se selecciona el método de riego.
4. Obtener el área bruta de las superficies seleccionadas con planimetro y así determinar la capacidad de los canales.
5. Representar en planos toda la información anterior (áreas de riego, caminos de servicios existentes, áreas urbanas, arroyos, drenes naturales,

redes telefónicas, oleoductos, etc.) con el objeto de poderla interpretar fácilmente en el momento de efectuar la localización de la red de canales.

#### 6. Localización de el canal principal.

El canal principal de la red de distribución es aquel que domina dentro de su desarrollo toda el área regable y su función es la de abastecer todo el sistema de canales laterales. Frecuentemente debido a que la zona de riego queda distante de la obra de toma, es necesario un tramo de conducción o canal muerto.

Es necesario estudiar todas las posibles rutas del canal principal, debiendo tomar en cuenta las condiciones topográficas generales del terreno, pero en forma especial las condiciones geológicas, para que éste quede localizado por la ruta que reporte menor desarrollo, más seguridad en lo que respecta a estabilidad de taludes e infiltraciones excesivas y máxima economía al lograr el menor número de estructuras de cruce.

### 1.6 Red de distribución.

Una vez trazado el drenaje natural y el canal principal, se procede a la localización de la red de distribución, la cual constará de todos los elementos que se muestran en la figura 1.6.

Los **canales laterales** son abastecidos directamente por el canal principal y son los que dominan las divisiones principales del área regable. La localización de ellos, en la mayoría de los casos se sitúa por la parte más alta o parteaguas del área dominada, quedando el canal lateral por lo general entre dos drenes, ya sean naturales o de proyecto.

Los **canales sublaterales** parten de los laterales y son abastecidos por ellos. Es necesario su empleo en donde un canal lateral no alcanza a satisfacer el riego de una zona y se adaptan en mejor forma a las necesidades del proyecto en cuanto a los requerimientos de lotificación.

Los **ramales** son canales abastecidos por los sublaterales y su justificación y empleo es similar al de los canales sublaterales.

Los **subramales** parten de los canales ramales y son abastecidos por ellos.

Los canales **regaderas** son la última ramificación en la red de distribución y su función es la de proporcionar directamente el agua a los surcos o melgas.

La localización de los canales de la zona de riego, está ligada principalmente a la topografía y al tipo de lotificación que exista en los terrenos regables. Los canales laterales, se localizarán en tal forma que dominen la mayor área de influencia posible, al igual que los canales sublaterales y demás ramificaciones. Se ubicarán siempre buscando el mejor funcionamiento hidráulico, con menor longitud, área máxima dominada y siempre siguiendo el criterio que más se adapte para su localización. Los criterios de localización que existen son:

- 1. Localización siguiendo la topografía.-** Este sistema es seguramente el más económico puesto que los canales se localizan por los parteaguas y van dominando hacia ambos lados, por lo cual la red de distribución resulta más corta que por cualquier otro método. Por otra parte, permite disminuir el número de estructuras de cruce. El inconveniente que genera es el de la posibilidad de resultar lotes de forma irregular del régimen de tenencia.
- 2. Localización según la cuadrícula.-** Este sistema consiste en seguir la cuadrícula con que se hizo el levantamiento topográfico de la zona de riego. Su uso es adaptable en terrenos vírgenes y de topografía relativamente plana, por consiguiente, facilita la obtención de lotes de forma regular de la extensión que se desee, lo cual agiliza las maniobras de su trazo en el campo. Sin embargo, tiene el inconveniente de que la red de distribución pudiese resultar más larga que cuando se utiliza la topografía y además, el riego sólo puede efectuarse hacia un sólo lado, originando un aumento de estructuras de regularización y la construcción alternada de un dren al lado de los canales para desalojar los sobrantes de riego.
- 3. Localización respetando los linderos.-** Esta localización se lleva a cabo en los casos en que ya existan linderos de propiedad bien definidos. Por consiguiente los canales se localizarán siguiendo dichos linderos hasta donde la topografía lo permita, pues se originan transtornos en el régimen de la propiedad en el caso de invadir propiedades existentes, lo cual aumentaría el costo por afectaciones. Por otro lado, es necesario señalar que la forma y extensión de las propiedades influyen en los costos, operación y mantenimiento del sistema resultante. Aunado a esto, existe también la posibilidad de presentar problemas en cuanto a intereses personales de los usuarios, ya que unos podrían verse mejor beneficiados que otros.
- 4. Localización según un sistema combinado.-** Este sistema permite la utilización de los tres métodos anteriormente mencionados según la circunstancia que lo justifique, esto quiere decir, que en algunas ocasiones es conveniente ejecutar un trazo de acuerdo a la topografía que favorezca un mayor dominio de área de riego, y en el caso de presentarse lotes de

propiedad a lo largo del alineamiento, habrá de realizar los quiebres necesarios para respetar dichos linderos sin despegarse demasiado de la trayectoria deseada. Sin duda, este es el método más utilizado debido a que nos brinda más alternativas y por tanto mejores resultados.

El **cadenamamiento** del canal principal se realiza siempre a partir de la salida de la obra de toma del almacenamiento, derivación, pozo, etc. En este punto se colocará el inicio del kilometraje 0+000 y se continuará marcando los kilometrajes en el sentido del escurrimiento, indicando exclusivamente sobre el canal principal los kilómetros cerrados. Al finalizar la longitud del mismo se marcará el kilometraje en ese punto.

En donde exista una toma para canal lateral se marcará el kilometraje de la toma y con este kilometraje se nombrará al canal lateral. Se empezará a cadenear estos canales a partir de esta toma, en igual forma que en el canal principal, marcando todos los kilometrajes cerrados y en el punto en donde termine el canal, se colocará el kilometraje respectivo.

En todas las ramificaciones subsecuentes, se llevarán a cabo las mismas indicaciones anotadas anteriormente. En la fig. 1.6 se muestra la forma del cadenamamiento de los canales.

Los canales requieren forzosamente, ser complementados, con una serie de **estructuras hidráulicas de operación, de cruce y de protección** que les permitan funcionar eficientemente y sortear las diversas dificultades que se presentan. Todas estas estructuras tienen su técnica de proyecto, tanto desde el punto de vista de su funcionamiento hidráulico, como desde el estructural puesto que tienen indicaciones y limitaciones, así como una serie de especificaciones que es necesario observar al diseñarlas para poder lograr en cada caso una obra útil en su totalidad.

Contando con la localización de la red de canales de la zona en estudio, se procede a localizar la red de caminos que dará servicio a la zona de riego, pues de estos depende la vida de la misma.

En una zona de riego se pueden considerar dos tipos de caminos principales y un sistema general de caminos de acceso.

Los dos tipos de caminos principales, se localizan dentro de la zona de riego y son los siguientes:

1. Caminos sobre los bordos de los canales de riego y drenes o caminos de operación que permiten atender con prontitud las deficiencias del sistema mediante los trabajos de conservación y mantenimiento de los canales con sus estructuras hidráulicas.

2. Caminos de acceso a obras especiales tales como las obras de captación y complementarias.

La finalidad principal del sistema general de caminos, es la de comunicar la zona de riego con el o los centros de consumo y embarque más cercanos.

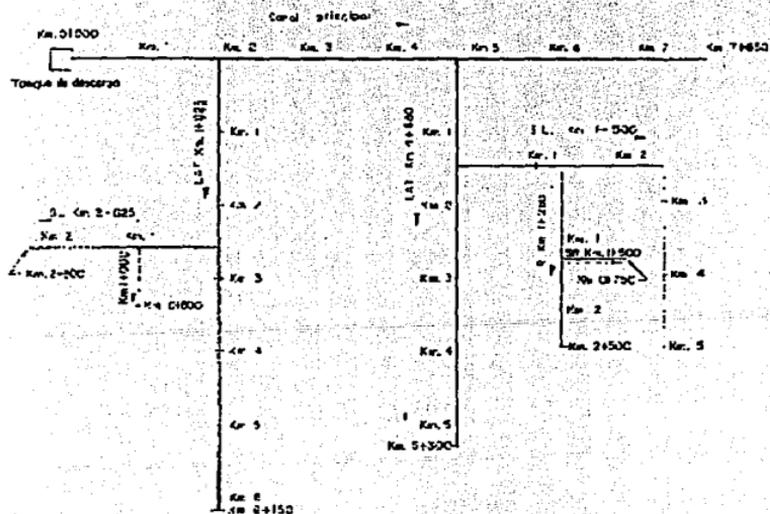


Fig. 1.6 Nomenclatura de Canales

- |                     |   |
|---------------------|---|
| A) Canal Principal. | Único nombre en la simbología que no se debe abreviar |
| B) Canal Lateral    | LAT.  |
| C) Canal Sublateral | SL.   |
| D) Ramal            | R.  |
| E) Subramal         | SR.   |
| F) Regadera         | Rg.   |

## C A P I T U L O II

### **Estructuras de Operación.**

#### **2.1 Generalidades.**

Se conocen como **estructuras hidráulicas de operación** aquellas que permiten controlar, derivar y medir correctamente el agua de riego utilizadas en la distribución. Dentro de este tipo de estructuras las más comunes son las siguientes:

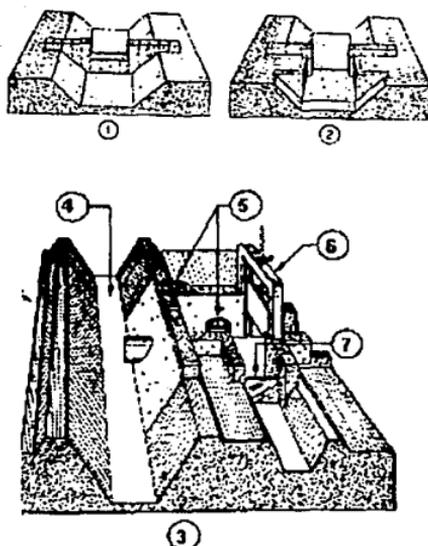
1. Represas.
2. Tomas para canales.
3. Tomas granja.
4. Estructuras aforadoras.

#### **2.2 Represas.**

Son estructuras hidráulicas que se localizan en los canales y tienen como finalidad producir un remanso para con ello aumentar el tirante en el canal y así alimentar a los canales y tomas granja que queden localizadas aguas arriba de la represa.

Otro uso a que se destinan las represas, es el de funcionar en conjunto con los desagües para desalojar parte del gasto o todo el gasto y dejar sin agua un tramo de canal donde sea necesario hacer una reparación; esto se logra operando completamente cerrada la represa inmediata de aguas arriba.

Estas estructuras se pueden clasificar de acuerdo a los materiales que las constituyen, de acuerdo con las características hidráulicas del canal donde funcionan y según su funcionamiento.



- (1) Estructuras de retención de agua o retén. Es una estructura de madera con una compuerta. La altura del umbral de la compuerta se ajusta mediante la inserción de planchas de madera. Así se controla el nivel del agua retenida y el caudal de rebosamiento.
- (2) Estructura de retención de agua de una construcción de hormigón.
- (3) Desviador principal
- (4) Canal principal de conducción de agua
- (5) Tubo desviador, equipado con una válvula para controlar el caudal. El tubo tiene una salida en forma de codo para amortiguar el flujo de agua.
- (6) Esclusa para controlar el caudal de agua hacia el canal de distribución.
- (7) Compuerta. El caudal de agua hacia el canal de distribución se controla mediante planchas de madera.

Fig. 2.1

Según sus materiales estos pueden ser de concreto reforzado, mampostería, madera y otros como costales de arena. Por las características hidráulicas del canal estas pueden ser pequeñas, medianas y grandes. Por su funcionamiento pueden dejar pasar el agua por la parte superior trabajando como vertedores, o bien, permitiendo el paso del agua por la parte inferior trabajando como orificios.

La localización correcta de las represas y por lo tanto la distancia que debe existir entre ellas, dependen de diversos factores, debiéndose en todos los casos satisfacer las condiciones básicas siguientes:

- a).- Tendrá un nivel de agua tal que pueda abastecer las demandas máximas de las tomas laterales que queden aguas arriba.
- b).- El espaciamiento debe ser tal, que cada una de ellas, dé el servicio requerido al mayor número de tomas.
- c).- Pueden construirse como estructuras separadas o bien combinarse con otras estructuras como tomas, sifones, caídas, rápidas, desagües totales o parciales, etc.
- d).- Permiten la reparación y mantenimiento del canal, al aislar los tramos en los que se va a trabajar.
- e).- El desnivel entre la elevación libre del agua en el canal principal estando la represa cerrada y la elevación libre del agua en el canal alimentado, debe ser como mínimo igual a la cuarta parte del tirante del canal lateral más las pérdidas de carga en la toma más alta.
- f).- El desnivel entre la elevación de la plantilla del canal principal y la elevación de la plantilla de la toma del canal lateral debe ser como máximo 4/10 del tirante del canal principal y como mínimo, igual a 50 cm.
- g).- Los puntos obligados donde se deben construir son en las tomas de laterales, sublaterales, ramales y subramales.

El espaciamiento máximo y el mínimo entre represas está dado por las fórmulas siguientes:

$$L \text{ máx.} = (d - (0.25d + h) - 0.50) / S$$

$$L \text{ mín.} = (d - (0.25d + h) - 0.4d) / S$$

donde:

- d = Tirante a la entrada de la represa, en metros.
- h = Pérdida de carga en la toma, en metros.
- S = Pendiente longitudinal del canal.

Con el diseño hidráulico de las represas se determinan el tamaño de la sección transversal necesaria, tipo y longitud de transiciones, tipo y número de compuertas. Debe tenerse en cuenta que su área hidráulica oscile entre el 90% y el 100% del área hidráulica del canal, con el fin de conservar la velocidad en el mismo.

En el diseño estructural se dimensionan todas las partes de la estructura para resistir las fuerzas impuestas por el agua represada aguas arriba y aguas abajo en sus niveles máximos.

### **2.3 Tomas para canales.**

Se conoce así a todas las estructuras que sirven para alimentar a los canales, con excepción de la estructura que abastece al canal principal y que se denomina obra de toma.

Las tomas del canal principal al canal lateral, del lateral al sublateral, del sublateral al ramal, etc., son conocidos como "Tomas para Canal".

Se encuentran localizadas aguas arriba de las represas en donde partan canales laterales, o donde se realicen tomas directas hacia las regaderas y para un buen funcionamiento hidráulico correcto, en la parte más alta del terreno que vaya a dominar el canal que alimenta.

Se construyen sobre una tangente del canal formando un ángulo de  $90^\circ$  con el eje del mismo y a una distancia mínima de 10 metros con respecto a los P.C. y P.T., de las curvas.

### **2.4 Tomas Granja.**

Aprovechan el funcionamiento hidráulico de la represa para que les de carga y sirven para abastecer directamente el agua a los predios agrícolas. Constan esencialmente de las mismas partes que las tomas laterales, solo que las dimensiones son menores, sus mecanismos de operación casi siempre son compuertas tipo Miller y generalmente no requieren de zampeados.

Para la mejor operación de los canales y una reducción de costos una toma granja debe localizarse tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- a).- La lotificación propuesta del proyecto por realizar.
- b).- Con el objeto de evitar hasta donde sea posible la construcción de terraplenes para las regaderas, se debe procurar siempre que la toma quede localizada en la parte más alta de la zona que vaya a dominar.
- c).- Deben localizarse en un canal secundario y no en el canal principal.

La rasante de la regadera a la salida de la toma, deberá ser tal que sin elevar el nivel del tirante normal en el canal, sea posible derivar el agua sobre el terreno que se vaya a regar.

Las tomas granja pueden alimentar una regadera o un canal de riego.

## **2.5 Estructuras aforadoras.**

De acuerdo a su funcionamiento, las estructuras aforadoras, pueden dividirse en cuatro grupos:

1. Estructuras que funcionan a Régimen Crítico.
2. Estructuras que funcionan por medio de un Resalto.
3. Estructuras que funcionan como Orificio.
4. Estructuras que funcionan combinando dos o tres de las funciones anteriores.

### **1. Estructuras aforadoras que funcionan a régimen crítico.**

Dentro de este tipo de estructuras, se pueden mencionar toda la gama de vertedores, tanto de cresta ancha, como de cresta delgada. Consisten en una escotadura a través de la cual se hace circular el agua.

Se describen a continuación las estructuras principales pertenecientes a este grupo:

#### **A. Estructura aforadora tipo guamuchil.**

Consiste en un vertedor de cresta delgada, construido en la sección transversal a la corriente y a través del cual se hace circular el agua para su aforo. El gasto que pasa, está en función de la longitud de cresta del vertedero y la carga "H" sobre la cresta medida en una escala colocada a una distancia tal, que el abatimiento del nivel del agua no influye en la lectura.

El uso de este aforador permite medir gastos de hasta 500 lts/seg. y las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$Q = 1.84 (L - 0.2H) H^{(3/2)} \quad \text{Cuando existen contracciones}$$

$$Q = 1.84 L H^{(3/2)}$$

Cuando no hay contracciones.

en donde:

Q = Gasto en litros/seg.

L = Longitud de la cresta en cm.

H = Carga sobre el vertedor en cm.

Para el correcto funcionamiento del medidor deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La carga sobre la cresta del vertedor debe ser suficiente para el gasto requerido.
2. Debe procurarse que la velocidad de llegada del agua, sea poco considerable y que no se formen demasiadas turbulencias. Esto se resuelve colocando a cierta distancia del vertedor una pantalla
3. Debe de haber un nivel mínimo o mejor dicho un desnivel de 5 cm. entre la cresta del vertedor y la superficie libre del agua en la regadera con el fin de evitar que el chorro se ahogue.
4. El chorro debe de tener suficiente ventilación.

Como ventaja de este tipo de estructuras se tiene su fácil calibración y operación. La desventaja que presenta estriba en el hecho de que se azolván fácilmente y después de azolvada, da mediciones incorrectas.

## **B. Estructura aforadora de agujas.**

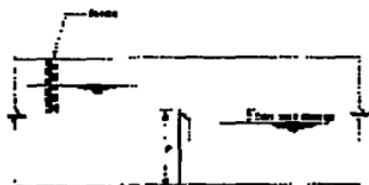
La estructura aforadora de agujas y tabloncillos, comúnmente son construídas de madera. Es usada como estructura auxiliar para el mantenimiento de otras estructuras. Debido a que es una estructura muy rudimentaria, la medición del flujo de agua es muy inexacta, lo que ocasiona que esté cayendo en desuso como aforadora y solamente se usa como estructura auxiliar.

### C. Estructura aforadora tipo celaya.

La aforadora "Tipo Celaya" es un vertedor de cresta ancha, el cual requiere para su correcto funcionamiento, que el canal de conducción lleve el gasto normal o sea que esté siempre lleno. Este tipo de estructura puede considerarse dentro del grupo de los aforadores combinados, ya que puede trabajar a cresta libre como vertedor, o bien como orificio mediante la colocación de una compuerta deslizante sobre el vertedero.

Los gastos aforados pueden ser hasta de 300 lts/seg., teniendo poco rango de variabilidad en la medición y su uso, se recomienda en aquéllos casos, en que el hecho de tener lleno el canal no constituya un serio inconveniente.

A fin de que no se produzcan ahogamientos en el vertedero, la regadera aguas abajo debe de tener el diseño adecuado. Este tipo de estructuras requiere menos carga que la aforadora Guamuchil.



A).- Estructura aforadora tipo Guamuchil



B).- Estructura aforadora tipo Celaya

Fig. 2.5.1.- Estructuras aforadoras que funcionan a régimen crítico

## **2. Estructuras aforadoras que funcionan por medio de un resalto.**

Se forma por medio de una reducción de la sección transversal, de la corriente, aumentando la velocidad de la misma y presentándose el régimen crítico. Al salir el agua de la sección reducida, la velocidad disminuye, produciéndose un resalto hidráulico.

Se describen a continuación los dos tipos de aforadoras pertenecientes a este grupo:

### **A. Estructura aforadora tipo venturi o tecamachalco.**

Esta estructura consiste en un estrechamiento practicado en la sección transversal de la corriente capaz de provocar la formación de un tirante crítico en la misma. El estrechamiento es de sección rectangular, formado por dos paredes laterales de longitud igual a tres veces el ancho del estrechamiento. Su parte inicial se forma con un segmento de círculo y las paredes terminan con un ensanchamiento brusco para empotrarse en los taludes de la regadera o canal.

Dependiendo de sus dimensiones, la estructura afora gastos desde 5 hasta 200 lts/seg.

Este tipo de estructuras permite grandes variaciones en el nivel del agua, después del estrechamiento, sin que se altere la descarga ni la elevación del agua en el canal de aguas arriba.

El límite de funcionamiento de la estructura hasta donde la descarga puede considerarse libre para diferentes gastos, es la relación:

$$d / H = 0.7$$

donde:

d = Tirante aguas abajo del medidor.

H = Carga aguas arriba del medidor.

El hecho de que este aforador permita un ahogamiento tan grande sin alterar el valor del gasto, es de gran utilidad, principalmente en los Distritos de riego muy planos, donde los canales tienen pendientes muy bajas y no admiten instalaciones de estructuras que provoquen fuertes pérdidas de carga.

Para canales o regaderas con pendientes muy pequeñas es probable que el porcentaje de ahogamiento sea mayor que 0.7, en cuyo caso la curva de gastos calculada, se alterará.

Para reducir el valor de  $d/H$  por debajo de 0.7, debe construirse el aforador, sobre un escalón colocado en la plantilla con una longitud igual a la del aforador y cuya altura ( $e$ ), sea igual a la diferencia ( $d - 0.7H$ ).

La estructura puede hacerse trabajar como regulador de gasto constante, sin importar las variaciones de nivel del agua en el canal aguas arriba, mediante la colocación de una pantalla móvil al final del estrechamiento. Por medio de esta pantalla, se logra que el escurrimiento o superficie libre, cambie a escurrimiento a través de un orificio en cuanto la superficie libre del agua toque el labio inferior de la pantalla. Se tiene entonces una ventaja adicional, ya que por ser móvil la pantalla, puede utilizarse como compuerta y obstruir completamente el paso del agua. La mejor posición de la pantalla es a 0.5b (plantilla de la estructura aforadora) del extremo de aguas abajo del estrechamiento.

Esta estructura presenta las siguientes ventajas:

1. Se dispone de un aforador de gran exactitud, cuando funciona a superficie libre.
2. Se tiene un módulo de gasto constante, cuando trabaja como orificio.
3. Se calcula y construye fácilmente.
4. Soporta grandes ahogamientos que no alteran sus curvas de gastos. El Ahogamiento máximo como aforador es de  $0.7H$ , y como orificio de  $0.5H$ .
5. No influye el ancho del canal en que está colocada, siempre y cuando, éste sea mayor de tres veces el estrechamiento del medidor.

Como desventajas, se tiene:

1. El rango de gastos es muy reducido.
2. Si se represa el agua en la regadera, se ahoga con facilidad.

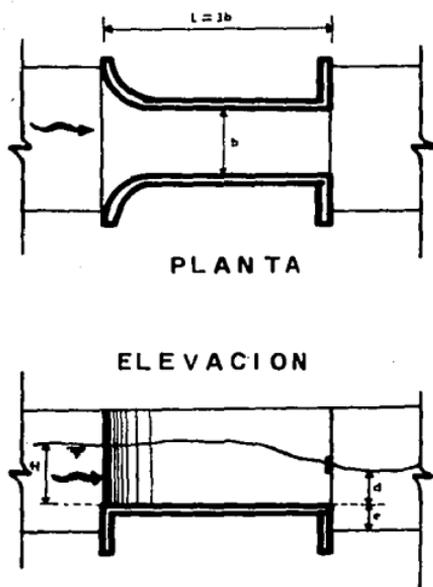


FIG. 2.5.2.A ESTRUCTURA AFORADORA TIPO VENTURI.

#### B. Medidor Parshall.

Es una modificación del medidor de Venturi pero mejorado y consta de tres partes fundamentales que son:

1. La **entrada** que está formada por dos paredes verticales simétricas convergentes y de una plantilla horizontal.
2. La **garganta** que está formada por dos paredes verticales paralelas y la plantilla ligeramente inclinada hacia abajo.
3. La **salida** que está formada por dos paredes verticales divergentes y la plantilla ligeramente inclinada hacia arriba. La **arista** formada por la unión de las plantillas de la entrada y de la garganta se llama **cresta del medidor** y a su longitud, es decir la distancia entre las paredes de la garganta, se le llama **tamaño del medidor (W)**.

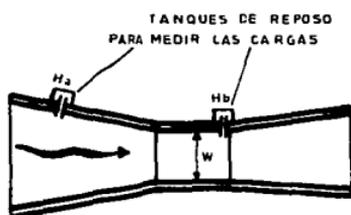
La estructura tiene doce pozos amortiguadores para medir las cargas  $H_a$  y  $H_b$  antes y después de la cresta, colocados a un lado de la estructura y comunicados a ella por tuberías que se conectan a puntos bien definidos de la entrada y de la garganta. Si el medidor trabaja con sumersión, es necesario medir las dos cargas, si trabaja a descarga libre, basta medir la carga  $H_a$ , para calcular el gasto.

A la relación  $H_b/H_a$ , se le llama **grado de sumersión** y es la que determina si un determinado medidor trabaja con descarga libre o sumersión. Se recomienda que un medidor trabaje con descarga libre, porque entonces para calcular el gasto, será suficiente conocer el valor de  $H_a$  y sustituirlo en la expresión general:

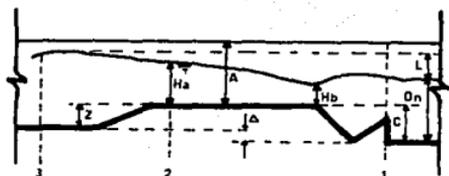
$$Q = m H^n$$

donde  $m$  y  $n$  varían con el tamaño del medidor.

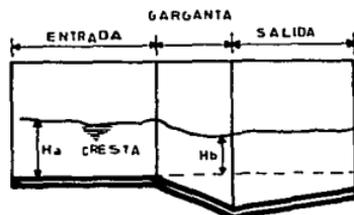
Para un medidor con tamaño  $W$ , entre 0.30m y 2.50m. se produce la descarga libre si  $H_b/H_a < 0.70$ . Si el tamaño varía entre 2.50 y 15.00m., se produce la descarga libre si  $H_b/H_a < 0.80$  y los gastos aforados alcanzan valores hasta de 85 m<sup>3</sup>/seg.



PLANTA



SECCION DEL AFORADOR PARSHALL



ELEVACION

FIG. 2.5.2. B

AFORADOR PARSHALL

Las ventajas que presenta el uso del medidor parshall son las siguientes:

1. El diseño es simple y su construcción es relativamente barata, sobre todo si se construye en combinación con caídas.
  2. La estructura trabaja bien, aún teniendo variación de gastos, y el error en la medición no pasa de 5% cuando el medidor trabaja ahogado y de 3% si trabaja a descarga libre.
  3. La velocidad de llegada, prácticamente no influye en la determinación del gasto.
  4. Se tienen pocas pérdidas en comparación con las que se originan en otras estructuras de aforo.
  5. No se tienen problemas de azolve ya que el aumento de la velocidad, mantiene a la estructura libre de obstrucciones.
3. **Estructuras aforadoras que funcionan como orificio.**

En este tipo de estructuras, el agua fluye a través de una sección de control operada por medio de una compuerta que permita regular la carga "H" con que trabaja el orificio.

Los más comunes de este tipo son:

#### **A. Estructura aforadora tipo Mayo.**

Consiste en una sección de control construida en la sección transversal de la regadera donde se instala una compuerta deslizante para provocar que trabaje como orificio ahogado, determinando el gasto que pase de acuerdo con la carga existente.

La velocidad de llegada en la estructura, debe de ser despreciable, a fin de cuantificar correctamente los gastos. La precisión en el aforo depende de la correcta determinación de las cargas, y solamente se logra lo anterior, contando con una persona con suficiente experiencia como aforador. Otro inconveniente que presenta este tipo de estructura es que el usuario puede abrirla o cerrarla libremente.

En caso de trabajar como vertedor, requiere de una carga que muchas veces no se puede proporcionar, el ahogamiento debe evitarse, y la ventilación del chorro debe de ser buena para que la medición sea correcta.

## **B. Estructura aforadora de carga constante.**

Consiste en una caja construida a la entrada de la toma en la cual se colocan dos compuertas: una controla el paso del agua del canal a la llamada compuerta posterior, y la otra controla el paso del agua de la caja a la tubería o conducto que la lleva al canal o a la regadera.

Este tipo de estructuras permite medir gastos hasta de 2,000 lts/seg.

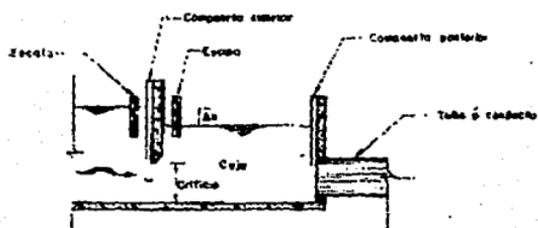
Con el objeto de medir los niveles del agua, dentro y fuera de la caja se colocan dos escalas: una aguas arriba de la compuerta y la otra aguas abajo de la misma, dentro de la caja.

Las ventajas que presenta esta estructura son las siguientes:

1. Se requiere poca carga para su operación.
2. Los gastos varían en un rango muy reducido.
3. Las pérdidas de carga en la estructura son bajas.

Como desventajas se pueden mencionar las siguientes:

1. La afectan las condiciones de entrada y salida así como las propias dimensiones de la caja.
2. La compuerta anterior debe tener un 80% de ahogamiento.
3. El régimen en el canal se debe mantener sin muchas fluctuaciones.



ESTRUCTURA AFORADORA DE CARGA CONSTANTE

Fig. 2.5.3.

## C A P I T U L O III Estructuras de cruce.

### 3.1 Generalidades.

En el desarrollo del canal en tramo muerto de un sistema de conducción, así como también en los desarrollos de la red mayor de canales de distribución, se presenta la necesidad de salvar obstáculos que se encuentran a su paso y de esta forma se garantiza el paso del agua.

Tales obstáculos pueden ser ríos, arroyos, barrancas, drenes, caminos, vías de ferrocarril, desniveles, cruzar cerros, cruzar otros canales, desviar el agua a otros canales y en general alguna depresión natural o artificial del terreno.

Para vencer los obstáculos antes citados, se hace necesario construir lo que generalmente se designa como **estructuras hidráulicas de cruce**. Las más importantes en los canales de riego son las siguientes:

1. Alcantarillas.
2. Puentes.
3. Sifones.
4. Puentes Canal.
5. Diques.

La elección de estas estructuras dependerá necesariamente de acuerdo con el tipo de obstáculo a vencer, de las condiciones topográficas, hidráulicas y económicas, debido a que en algunos casos los problemas pueden resolverse en dos o más formas diferentes, lo que implica analizar varias alternativas estudiando el costo y ventajas de cada una de ellas, decidiéndose por la que sea más adecuada y que funcione mejor hidráulicamente.

Para cruzar algún río, una barranca, otro canal, un dren, etc., la estructura conveniente puede ser un sifón invertido o un puente canal.

El cruce de una carretera o una vía de ferrocarril, podrá hacerse por medio de un sifón o por medio de una alcantarilla si las condiciones topográficas son adecuadas y lo permiten.

Cuando el obstáculo por vencer sea una montaña, habrá necesidad de horadar en ella un túnel.

### 3.2 Criterio de elección del tipo de estructura.

Para proyectar la estructura conveniente en un cruce se debe de tomar en cuenta los siguientes criterios.

1. Se recomienda utilizar como estructura de cruce a una alcantarilla o un puente, cuando el nivel de la superficie libre del agua es menor que la rasante del obstáculo.
2. Se puede utilizar como estructura de cruce un puente canal o un sifón, cuando el nivel de la superficie libre del agua es mayor que la rasante del cruzamiento.

En el caso de que se puedan utilizar dos estructuras como solución de cruce, se deben hacer anteproyectos y escoger la estructura más funcional y económica.

Si se proyecta una **alcantarilla** para cruzar un canal o un dren através de un camino o ferrocarril, debe de tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Si se proyecta una alcantarilla para cruzar un canal, la estructura podrá trabajar a presión, pero hay que tener cuidado que el tirante a la salida del conducto sea por lo menos un 10% mayor que la altura del conducto.
- b) Si la alcantarilla es para cruzar un dren, la estructura debe de trabajar como canal teniéndose dentro de la misma un bordo libre de cuando menos igual al dren.

Si se proyecta un **puente** como estructura de cruce, se deberá dejar el espacio libre suficiente del nivel de la superficie libre del agua, a la parte más baja de la superestructura del puente y tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Si el puente se construye sobre un canal, el espacio libre vertical mínimo será el bordo libre del canal.
- b) Si el puente se construye sobre un dren, el espacio libre vertical mínimo será de 1.00 m. del nivel de aguas máximas calculado a la parte más baja de la superestructura del puente.

El **puente canal** se utilizará cuando la diferencia de niveles entre la rasante del canal y la rasante del cruzamiento permite un espacio libre suficiente para lograr el paso de vehículos y ferrocarriles en el caso de caminos o el paso del agua en el caso de canales, drenes, arroyos o ríos.

El **sifón** se utilizará si el nivel de la superficie libre del agua es mayor que la rasante del cruzamiento y no se tiene el espacio libre suficiente para lograr el paso de vehículos, o del agua.

Las **secciones** más usuales en los proyectos son las **rectangulares y circulares**. La sección de los conductos rectangulares deberá de cumplir con la siguiente condición:

$$( H/B ) = 1.25$$

en donde:

H = Altura interior del conducto.

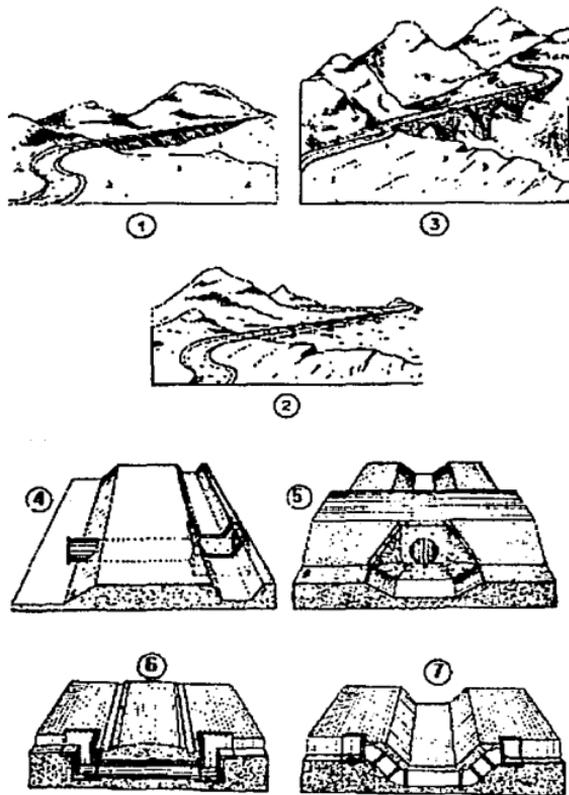
B = Ancho de la plantilla interior del conducto.

La sección mínima aceptada en conductos rectangulares es:

$$B = 0.80 \text{ m}$$

$$H = 1.00 \text{ m}$$

El diámetro aceptado en secciones circulares será de 30" (76.2cm.) para tubos precolados y de 1.25m. para tubos colados en el sitio.



- (1) Canal elevado. Cuando el canal atraviesa un terreno de nivel irregular, se puede elevar en las bajada por medio de un pequeño dique. De esta forma, la construcción del canal queda a la altura deseada, es decir, según la pendiente preestablecida.
- (2) Otro método es la construcción de un canal semicircular sobre pilares. Estos pueden ser de madera.
- (3) Cuando el canal, en un valle, debe ser elevado a gran altura, se construye un acueducto.
- (4) Otro tipo de desviador principal. Consta de un tubo y una cámara amortiguadora. Esta estructura se emplea, por ejemplo, cuando el agua debe ser desviada a través de un dique o un camino.
- (5) Conducto principal, con la entrada y salida revestidas. Se construye donde el canal principal debe cruzar un camino o dique. Estas estructuras tienen, en general, una

sección de tubo algo menor que la sección del canal. Por esto, la velocidad de la corriente de agua en el conducto será mayor que en el canal mismo. Por tal razón, es necesario el revestimiento de la entrada y de la salida. La velocidad del agua ayuda a mantener limpio el tubo de conducción.

- (6) Sifón, para guiar el canal por debajo de un camino.
- (7) Sifón, para cruzar otro canal o un camino.

Fig. 3.2

### 3.3 Alcantarillas.

Una alcantarilla es un conducto cerrado y se elige cuando se quiere solucionar un cruce en el que la rasante de la vía de comunicación en estudio es mayor que el nivel de la superficie libre del agua. Esto se consigue continuando el escurrimiento del agua por debajo de la carretera, ferrocarril, canal u otro terraplen.

Por lo general, el flujo no llena completamente el conducto, pero es posible que cualquier alcantarilla se llene alguna vez y tenga que resistir cierta presión hidráulica, por lo que deben proyectarse para resistir la presión del agua, aunque no necesariamente trabaje a presión.

Quando se proyecta una alcantarilla para el cruce con un canal la estructura trabaja a presión y en ese caso el tirante a la salida del conducto será por lo menos un 10% mayor que la altura del conducto.

Si la alcantarilla es para cruzar un dren deberá tener un bordo libre, por lo menos igual al del canal ya que en estas ocasiones las alcantarillas trabajan como canal.

Con los datos proporcionados por las características del canal se procede a determinar la sección geométrica de la alcantarilla, la que puede ser rectangular, circular o en algunos casos en forma de herradura. También se conocerá el número de conductos a utilizar. Estos conductos son de concreto reforzado.

La pendiente de una alcantarilla y sus condiciones de entrada y salida se suelen determinar por la topografía del sitio. Debido a las muchas combinaciones que se obtienen al variar las condiciones de entrada, condiciones de salida y pendiente, no puede darse una sola fórmula aplicable a todos los problemas de alcantarillas.

El gasto de proyecto, el tirante permisible y la velocidad de descarga están de acuerdo a la clase de obstáculo que se va a cruzar, posibilidad de daños a los terraplenes y al material del lecho del cauce y otros factores. El método básico para determinar el gasto o caudal en una alcantarilla es la aplicación de la ecuación de Bernoulli entre un punto justo en el exterior de la entrada y un punto en algún lugar aguas abajo.

Se determinará si la estructura opera satisfactoriamente durante una avenida cuando las condiciones del sitio donde va a construirse y el área circundante son favorables.

Las alcantarillas deben protegerse contra la socavación por medio de zampeados, aleros, dentellones u otros dispositivos. Los terraplenes adyacentes a la alcantarilla deben protegerse contra la erosión por medio de zampeados y otros buenos sistemas.

### 3.4 Puentes.

Los puentes de servicios o instalaciones soportadas, son estructuras que permiten el desarrollo del canal principal sobre obstáculos naturales o artificiales. Para el proyecto de los mismos se harán estudios tales como:

- a) **Estudios topográficos.-** Reconocimiento de la zona respecto de los posibles cruces; levantamiento general en la zona de los cruces, configuración detallada de una faja de terreno a uno y al otro lado del eje del cruce. Estudios de los tramos de liga del cruce con el resto de la línea; sección transversal del curso del agua indicando avenidas máximas y mínimas ordinarias. Importancia socio-económica del camino.
- b) **Estudios Hidráulicos.-** Se determinarán las características del curso del agua que se va a cruzar, obteniendo estos datos se evaluará el gasto máximo que pasará a través de la sección hidráulica por cruzar, la frecuencia, la duración de la corriente, la sección del canal, el espacio libre vertical entre el nivel de aguas máximas (NAM) y la superestructura.
- c) **Estudios de Cimentación.-** Se contará con un estudio de la composición del subsuelo, para conocer la resistencia del terreno, y poder de esta manera proyectar la cimentación adecuada y su profundidad de desplante con seguridad y economía.
- d) **Estudios de Construcción.-** Materiales disponibles en calidad, cantidad y costo; acceso a la obra, sueldos, jornales y condiciones generales de la región.

La longitud del puente, ancho, alineamiento y ángulo de intersección deben satisfacer las necesidades de funcionamiento de las instalaciones soportadas y de los requisitos geométricos o hidráulicos.

La selección del sistema estructural, de los materiales de construcción y detalles de las dimensiones depende de las necesidades de seguridad estructural, del sitio de cruce, de la economía de fabricación, erección, operación y mantenimiento, así como de consideraciones de estética.

Los puentes generalmente son de concreto reforzado debido a su economía en claros cortos y medianos, a su durabilidad, bajo costo de

mantenimiento y fácil adaptabilidad a las curvaturas verticales y horizontales. Los tipos principales de elementos de soporte son la losa plana y maciza, losa plana aligerada y losa con nervaduras.

Cuando se prohíbe la obra falsa debido a las condiciones de tránsito o a limitaciones en el libramiento, pueden utilizarse elementos precolados de concreto reforzado o preesforzado.

### **3.5 Sifones.**

Los sifones son conductos cerrados que se elevan más allá de la línea piezométrica (ver Figura 3.5) en los cuales la presión, en cualquier punto, es inferior a la atmosférica. Se proyectan de acuerdo con el gasto y la carga a que van a estar sujetos temporal o definitivamente.

El flujo en un sifón puede calcularse aplicando la ecuación de Bernoulli para la entrada y la salida. Pero debe comprobarse que la presión dentro del sifón no caerá a la presión de vapor del agua.

Los sifones más usados para cruce son los llamados sifones invertidos (ver Figura 3.5.1), aunque es un nombre inadecuado porque la presión en todos los puntos en el conducto es superior a la atmosférica. Estas estructuras sirven para el cruce del canal principal con un río, arroyo, otro canal o un dren. Las secciones más usadas en los conductos de los sifones son la rectangular y circular, aunque en algunos casos especiales se utilizan secciones en herradura, sobre todo para gastos grandes.

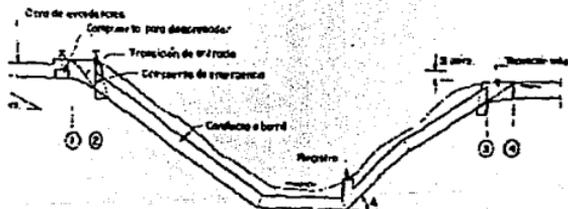
La decisión de usar un puente canal o un sifón en un cruce lo determina el anteproyecto y el presupuesto de cada estructura, pero en general el sifón invertido se utilizará si el nivel de la superficie libre del agua en el canal es mayor que la rasante del obstáculo y no se tiene el espacio libre suficiente para lograr el paso del agua.

Se pueden construir los conductos de los sifones con tuberías de asbesto cemento, concreto, lámina de acero o mixtos. Actualmente existen tuberías de otros tipos como la fibra de vidrio con resinas epoxicas, pero con un alto costo. Para gastos chicos se usan tuberías de asbesto cemento y para gastos chicos y grandes se utiliza la tubería de concreto y lámina de acero, pero en general, son las cargas que obran sobre los conductos las que nos señalan el tipo a usar.

Los sifones están compuestos por las siguientes partes:

1. Desarenador.
2. Desagüe de excedencias.
3. Compuerta de emergencia y rejilla de entrada.
4. Transición de entrada.
5. Conducto o barril.
6. Registro para limpieza y válvula de purga.
7. Transición de salida.

Estas partes pueden verse en las Figuras 3.5.1 y 3.5.2. Algunas veces no son necesarias todas las partes descritas y pueden suprimirse algunas de ellas.



PERFIL DE UN SIFÓN

- 1.- Desarenador
- 2.- Desagüe de excedencias
- 3.- Compuerta de emergencia y rejilla de entrada
- 4.- Transición de entrada
- 5.- Conducto o barril
- 6.- Registros para limpieza y válvula de purga
- 7.- Transición de salida

Fig. 3.5.1

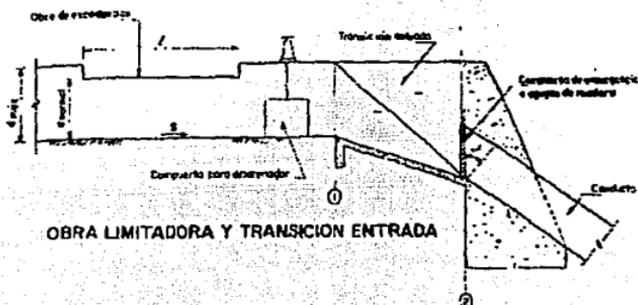


Fig. 3.5.2

## **1. Desarenador.**

Consiste en una o varias compuertas deslizantes colocadas en una de las paredes laterales, que descargan a un canal con pendiente superior a la del propio canal. Sirven a la vez para desalojar el agua del sifón cuando por reparaciones en éste sean cerradas las compuertas o agujas de emergencia y se recomienda hacerlos de las dimensiones convenientes para que pase el gasto por desalojar y unirlos al canal colector de la obra de excedencias. Conviene localizarlos antes de la transición de entrada.

## **2. Desagüe de excedencias.**

Es una estructura que evita que el nivel del agua suba más de lo tolerable en el canal de llegada, tirando el gasto que no pueda pasar por el sifón. Generalmente consiste en un vertedor lateral construido en una de las paredes del canal. La cresta del vertedor estará al nivel de la superficie libre del agua para el gasto normal.

## **3. Compuerta de emergencia y rejilla de entrada.**

Su objeto será el impedir o disminuir la entrada de basuras y objetos extraños al conducto que limiten el funcionamiento correcto del mismo. Para facilidad de construcción se localizan a la entrada del conducto, es decir, al finalizar la transición de entrada. La compuerta de emergencia consiste en una o varias compuertas deslizantes o agujas de madera que corren sobre ranuras hechas en las paredes laterales o en viguetas de fierro y que en un momento determinado pudieran cerrar la entrada al conducto para poder hacer limpieza o reparaciones al mismo.

La rejilla de entrada se acostumbra hacerla con varilla de 3/8" de diámetro o solera de 0.95 x 0.95 cm. (3/8" x 3/8") a cada 10 cm., y soldadas a un marco de solera de 2.54 x 1.27 cm. (1" x 1/2").

## **4. Transición de entrada y salida.**

Como en la mayoría de los casos la sección del canal es diferente a la adoptada en el conducto o barril, es necesario construir una transición de entrada y otra de salida para pasar gradualmente de la primera a la segunda.

Para el cálculo de la longitud de las transiciones que son simétricas se seguirá el criterio de Julián Hinds, que consiste en considerar el ángulo que debe

formar la intersección de la superficie del agua con cualquiera de las paredes al principio y fin de la transición. Ver Figura 3.5.2.

$$L = \cot a * (T - t)/2$$

en donde:

T = Ancho de la superficie libre del agua en la sección mayor.

t = Ancho de la superficie libre del agua en la sección menor.

a = Angulo necesario. Se recomienda  $a = 22^{\circ} 30'$ .

El Bureau of Reclamation hace las siguientes recomendaciones para las transiciones:

En el diseño de una transición de entrada y salida es generalmente aconsejable tener la abertura de la parte superior del sifón un poco más abajo de la superficie normal. Esta práctica hace mínima la posible reducción de la capacidad del sifón causada por la introducción del aire. La profundidad de sumergencia de la abertura superior del sifón, se recomienda que esté comprendida entre un mínimo de 1.1 y un máximo de 1.5 veces la carga de velocidad.

## 5. Barril.

Forma la parte más importante y necesaria de los sifones ya que es el conducto por el que escurre el flujo y mediante el desarrollo del mismo se logra el cruce.

Cuando el gasto que se presenta es de poca magnitud, el sifón de asbesto cemento presenta muchas ventajas sobre los de concreto. Entre las cuales se destacan la facilidad y rapidez de instalación, disminución de pérdidas por fricción debido a que por ser más lisa, admite una sensible disminución del coeficiente de rugosidad ( $n = 0.01$ ), mayor adaptación al terreno natural debido a que las juntas que se usan para unir un tubo a otro, permiten deflexiones de ángulos pequeños, se presentan en unidades con una longitud estandar de 4.00 m. y pueden cortarse en el sitio en la forma y con el ángulo que se crea conveniente.

Se recomienda profundizarlos dejando un colchón mínimo de 1.00 m. en las laderas y de 1.50 en el cruce del cauce para evitar probables fracturas que pudieran presentarse debido a cargas excesivas como el paso de camiones y tractores, recubriéndolos cuando se estime conveniente de concreto armado.

Se llama tipo de una tubería de asbesto cemento, a la carga de ruptura por presión interna que resiste esa tubería. La tubería de asbesto cemento se fabrica comercialmente en los tipos A-5, A-7, A-10 y A-14.

La tubería de acero se encuentra en los mismos diámetros, con espesores de pared de 0.048 cm. (3/16") a 0.159 cm. (5/8"). Se pueden construir tuberías de diámetros mucho mayores, con placas o láminas de acero roladas y soldadas eléctricamente, las cuales requieren para su montaje de equipo especial.

## **6. Registro para limpieza y válvula de purga.**

Su objeto será el de desalojar el agua y lodo que se quede aprisionado dentro de el barril y que sea necesario retirar para su limpieza o reparación, por lo que se colocan en la parte más baja de éste. Consta de válvulas de compuerta deslizante, de las dimensiones que se estime conveniente de acuerdo con el gasto a desalojar.

Algunas veces estas válvulas no se pueden colocar en la parte más baja del sifón, por lo que será necesario instalar una bomba que succione el agua restante.

Estas válvulas se protegen por medio de un registro de tabique o concreto que llega hasta la parte superior del terreno. Deben abrirse gradualmente para evitar aumentos de velocidades fuertes en las tuberías.

## **7. Cálculo hidráulico del sifón.**

Una vez que se ha trazado el sifón en la planta y perfil del terreno, se procede a diseñar la forma y dimensiones de la sección del conducto más económica y conveniente, para lo cual habrán de hacerse varios tanteos, tomando en cuenta las pérdidas de carga que han de presentarse.

Las dimensiones de la sección del conducto dependen del gasto que deba pasar y de la velocidad conveniente del agua en el barril para evitar el depósito de azolves en el fondo del conducto y erosión en el material del barril, sta velocidad varía de 2.50 a 3.50 m/s.

El desnivel entre los gradientes de energía de entrada y salida de la estructura será igual a la suma de todas las pérdidas de carga que se presenten en el sifón. Las principales pérdidas de carga que se presentan se deben a:

- a) Transición de entrada y salida.
- b) Rejilla.
- c) Entrada al conducto.
- d) Fricción en el conducto o barril.
- e) Codos o cambios de dirección.
- f) Pérdidas por válvula.
- g) Pérdidas por ampliación.

### 3.6 Puente canal.

Dentro de las estructuras de cruce el puente canal es una de las más importantes. Su empleo está indicado, si la topografía y geología lo permiten, para salvar cualquier depresión de poca anchura y cuando su funcionamiento hidráulico sea mejor que si el obstáculo se salvara por medio de un sifón que resulte por su longitud más caro y con mayor número de pérdidas de carga. Su empleo también queda limitado por la condición de que el escurrimiento en el obstáculo ya sea otro dren, otro canal o una barranca deje un bordo libre entre el nivel del agua en el obstáculo y la parte baja de la superestructura.

El puente canal está constituido por dos partes fundamentales (ver Figura 3.6):

- a) La superestructura, que no es otra cosa que la continuación del canal y consta de transición de entrada, cubeta y transición de salida.
- b) La subestructura formada por apoyos extremos, que pueden ser estribos o caballetes y apoyos intermedios que pueden ser pilas o caballetes.

El puente canal, como todas las estructuras de cruce se construye con un material al que se le pueda dar mejor acabado que un canal común, con el objeto de que este admita mayores velocidades en el agua por ser el material más resistente a la erosión.

Como el tramo del puente trabaja como canal de acuerdo con su sección, pendiente y rugosidad, su funcionamiento hidráulico se estudiará con la fórmula de Manning:

$$V = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot S^{(1/2)}$$

Esta estructura se calcula para gastos y condiciones normales de trabajo, eligiendo para "n" el valor apropiado. Si el puente es corto su funcionamiento será regido por su posición y las condiciones de las transiciones de entrada y salida.

En el puente canal, la pérdida de carga será la diferencia de niveles entre la superficie libre del agua entre el principio y el final del punto y es igual a la que haya entre las plantillas de las mismas secciones. Pueden ser de uno o varios claros, se deben escoger las longitudes y por tal el número de tramos y las posiciones de los apoyos.

Los apoyos deben calcularse como los de los caminos y de ferrocarril, para soportar los esfuerzos que se transmiten de la superestructura, además de las cargas que reciban directamente. Deben de quedar desplantados sobre material libre y protegido contra asentamientos, deslaves, socavaciones, etc.

Se debe de calcular primero la superestructura para definir las cargas que se transmitirán a la subestructura y así se pueda calcular ésta.

La finalidad de la superestructura es formar una cubeta impermeable por donde escurra el agua y lograr que el conducto soporte a su propio peso y el del agua trabajando como una viga entre los apoyos.

### **3.7 Diques.**

Los diques en los canales son pequeñas cortinas y se limitan a las de tipo de materiales graduados. Se emplean para que el canal cruce sobre la corona del dique una depresión natural en el terreno en la cual existen escurrimientos o arroyos que pueden variar en su régimen de escurrimiento.

Desde el punto de vista de estructura de cruce, los diques se emplean en los casos en que el canal va alojado en una ladera y se encuentra con un obstáculo cuya rasante es inferior a la superficie libre del agua del canal; entonces se construye un dique de tal forma que el agua que se retenga en un vaso formado por él, no alcance la altura del tirante en el canal.

Esta agua almacenada también se podrá ocupar como alimentador del canal mediante una planta de bombeo y así con ello obtener un mayor gasto.

## C A P I T U L O I V Estructuras de protección.

### 4.1 Generalidades.

Las **estructuras hidráulicas de protección** se construyen para evitar los daños que se puedan causar al sistema de conducción y/o al sistema de distribución mayor en una zona de riego.

Estos daños son provocados por el funcionamiento hidráulico de los canales para ciertas condiciones de peligro tales como desalojos totales o parciales del gasto en los canales, entradas de gasto en los mismos, erosiones por altas velocidades del agua, sobre elevación en el tirante del canal, etc. Su finalidad es la de proporcionar seguridad a los canales en su funcionamiento hidráulico, desviando o encauzando las aguas exteriores, del propio canal y evitando así el deterioro rápido de los mismos.

Las estructuras de protección se pueden clasificar en:

1. Rápidas y caídas.
2. Desagües parciales, totales y finales.
3. Entradas de agua y pasos superiores e inferiores.
4. Cunetas y contracunetas.

## 4.2 Rápidas y caídas.

Son estructuras que se utilizan para unir dos tramos de canal, situadas a diferente nivel. Generalmente las caídas son estructuras verticales utilizadas para unir pequeños desniveles y las rápidas son estructuras inclinadas usadas para desniveles mayores.

Las rápidas se utilizan para absorber pendientes sucesivas en el canal, cuando la inclinación del terreno sea mayor que la de la rasante del canal colocando al final de está, una caída y un tanque amortiguador con el fin de disipar el exceso de energía cinética del agua y proteger así el canal.

La decisión de proyectar una rápida y una caída en lugar de una serie de caídas, se debe de basar en un estudio hidráulico y económico de ambas alternativas.

Desde el punto de vista hidráulico, las caídas no deben estar muy cerca unas de otras en forma muy general, la distancia mínima entre caídas será de 60.00 m.

El costo de mantenimiento de una serie de caídas, es usualmente mayor que el de una rápida y una caída que desempeñan la misma función, por lo que a veces se puede justificar económicamente un costo inicial hasta de un 50% mayor en esta alternativa (rápida y caída), que la construcción de una serie de caídas.

### A. Rápidas.

Estas estructuras se construyen cuando se presentan desniveles considerables en una longitud de importancia. Cuando se proyecta un canal en rápida, se debe de proteger contra velocidades erosivas con un revestimiento tal, que proteja el terreno, pudiendo ser de concreto o mampostería, esto dependerá del estudio económico y de los materiales que se dispongan en el lugar de la obra.

En el cálculo de rápidas revestidas de concreto, es usual escoger un valor de  $n = 0.014$  a  $n = 0.015$  en la fórmula de Manning, para gastos de hasta 3.00 metros cúbicos por segundo. Para gastos mayores y altas velocidades, puede ser deseable estudiar la rápida, con un valor de "n" algo mayor comprendido entre  $n = 0.018$  a  $n = 0.020$  debido a la incorporación del aire. En canales revestidos de mampostería, se utilizan valores de  $n = 0.020$  a  $n = 0.022$  para el mismo limite y  $n = 0.025$  para gastos mayores.

El bordo libre en rápidas, se puede proporcionar utilizando la siguiente fórmula:

$$b.l. = 0.61 + 0.0371 * v\sqrt{d}$$

en donde:

b.l. = Bordo libre.

v = Velocidad en la rápida.

d = Tirante normal en la rápida.

La velocidad mínima en rápidas será igual a 1.2 veces la velocidad crítica.

La velocidad máxima dependerá del tipo de revestimiento utilizado, así para revestimientos de concreto, la velocidad será de 10 m/seg. y para mampostería de 4 m/seg.

El diseño hidráulico depende de un levantamiento topográfico del sitio donde se va a construir la obra, con el fin de estudiar varias alternativas del canal de la rápida. Los datos de campo que se requieren son:

1. Las características hidráulicas y elevaciones de la rasante de las secciones del canal aguas arriba y aguas abajo.
2. El perfil del terreno en la localización de la estructura o con datos de pozos de prueba, o información del tipo de terreno para los materiales localizados en la zona de proyecto.

Las rápidas se clasifican en :

**Rápida abierta.-** El conducto es de sección trapecial o rectangular y generalmente se reviste para resistir la erosión provocada por las altas velocidades que se desarrollan en ella con materiales tales como concreto y mampostería. Cuando el canal de la rápida queda alojado en la roca sana resistente se elimina el revestimiento.

**Rápida cerrada.-** En estas estructuras el conducto es cerrado y está formado por una serie de tubos de concreto.

## **B. Caídas.**

Es una estructura de protección que sirve para salvar los desniveles acumulados a lo largo del canal y no afecte en éste las altas velocidades que se desarrollan. Las caídas se clasifican en:

**Caídas verticales.-** Son aquellas cuando la unión de los dos tramos del canal, se hace por medio de un plano vertical que está constituido por un muro que resiste el empuje del terreno.

**Caída inclinada.-** Son aquellas estructuras que unen ambos tramos del canal por medio de un tramo inclinado por rampa, con talud igual al ángulo de reposo del terreno que generalmente es de 1.5:1.

Se debe de fijar la posición y altura de una caída dependiendo del tipo de terreno, debido a las diferencias existentes entre las pendientes del canal de aguas arriba y aguas abajo. La altura de una caída debe de ser de 1.00, 1.50 o 2.00 metros como máximo. Para su localización tenemos que reducir las excavaciones del terreno y dándole una seguridad a la estructura, tratando de ligar otras estructuras como toma, represa y puente.

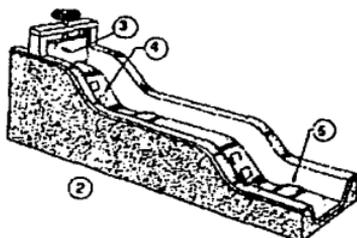
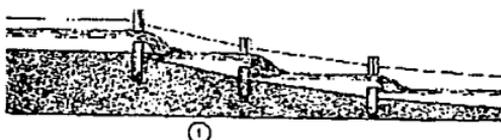
El criterio para saber cuando utilizar una caída o una rápida, es el siguiente:

- a) Cuando el desnivel es igual a 4.00 metros y se presenta en una longitud muy corta, la condición topográfica y geológica, mostrará la utilización de una caída, ya sea vertical o inclinada.
- b) Cuando la distancia horizontal tiene cierta importancia comparada con el desnivel, se utilizará una rápida.

## **C. Tanque amortiguador.**

Esta estructura se construye al final de las caídas o rápidas con el fin de disipar al máximo el exceso de energía al pasar de un régimen rápido a un régimen tranquilo, y poder alimentar las tomas ubicadas aguas abajo de la estructura, tratando de absorber los oleajes que se forman en el tanque amortiguador debido al cambio de régimen.

Para un gasto entre 0 y 6 metros cúbicos por segundo el bordo libre se incrementa en 12.5 % y para gastos comprendidos entre 6 y 85 metros cúbicos por segundo en 25.0 % .



- (1) Saltillo. Consta de un número indeterminado de retenes. Sirve para evitar la erosión del fondo del canal por la acción del agua. Los retenes hacen pasar el agua de un nivel a otro.
- (2) Salto, empleado en pendientes considerables para conducir el agua a otro nivel.
- (3) Compuerta de metal o madera para regular el caudal del salto.
- (4) Bloques para amortiguar la corriente y absorber la energía dinámica del flujo de agua
- (5) Umbral para guiar el agua amortiguada en la siguiente sección del canal.

### 4.3 Desagües parciales, totales y finales.

Los desagües son estructuras de protección que sirven para eliminar los excedentes de agua, que pueden entrar a los canales por aportación de los arroyos, o bien, para vaciar un canal, ya sea porque no hay demandas o por reparación.

Los desagües se clasifican en:

- a) Desagües parciales o de excedencia.
- b) Desagües totales.
- c) Desagües finales.

#### **A. Desagües parciales o de excedencia.**

Llamados también limitadores de gasto u obras limitadoras que sirven para impedir que el tirante del agua en el canal suba más de lo proyectado, por lo que dan salida a las aguas sobrantes que pueden presentarse por las siguientes razones:

1. Por un mal funcionamiento en las compuertas de la obra de toma, que pueden dejar pasar un gasto mayor que el de diseño.
2. Por el cierre de alguna o algunas compuertas de tomas laterales, que harían que continuara el mismo gasto, aguas abajo de éstas, en donde el canal está diseñado para una menor capacidad y por estar lejos de la toma de control de entradas al canal, no se podría regularizar pronto el gasto en éste.
3. Por el agua de lluvia proveniente de algunos arroyos que por ser pequeña su aportación, no amerite la construcción de una estructura de cruce y se permita su entrada al canal.
4. Por obstrucciones en el canal ocasionadas por derrumbes o materiales que en el caigan, que obligarían a que se sobreelevara el tirante.

La localización de los desagües de excedencia, se deduce fácilmente según la necesidad que se vaya a satisfacer, así por ejemplo, en los casos anteriormente señalados como 1 y 2 se ve la necesidad de que el desagüe se coloque a una corta distancia aguas abajo de las compuertas de la obra de toma. Para el caso 3, los desagües se colocarán a lo largo del canal y en el caso 4 aguas arriba de los lugares en que se tema puedan ocurrir las obstrucciones.

Las descargas de los desagües de excedencia, se deberán hacer a los cauces naturales o drenaje del sistema de riego. Y pueden ser manuales o automáticas.

Los tipos de estructuras más comunmente usadas para desagües de excedencia son: vertedores de cresta libre y controlada, vertedores de sifón y compuertas.

El **vertedor lateral** consiste en una escotadura hecha en uno de los taludes del canal, a suficiente altura y con una longitud que se requiera para dar salida a las excedencias.

El **vertedor de cresta fija** consta de un umbral vertedor colocado en la margen y cuya cresta debe estar al nivel de las aguas normales en el canal. La longitud del vertedor se calcula con la fórmula siguiente:

$$L = 15 Q / (4 C^2 g H)$$

en donde:

L = Longitud del vertedor.

Q = Gasto.

C = 1.45

H = Carga.

g = Valor de la gravedad.

En el caso de que se tenga aguas abajo del sitio de desagüe una represa, la carga será constante y la longitud de la cresta se podrá calcular con la fórmula:

$$L = Q / (g \cdot H^{(3/2)})$$

Con el objeto de contar con mayor carga para el vertedor y disminuir la longitud de cresta, se puede utilizar el vertedor de cresta móvil y puede hacerse colocando guías en los muros extremos e intermedios si la longitud es grande, por las cuales se deslizan agujas o tabloncillos hasta la altura que se desee, para darle mayor o menor carga al vertedor.

## **B. Desagües totales.**

El desagüe total tiene por objeto poder descargar en un momento dado un tramo de canal o su totalidad, tirando toda el agua a un dren o a un cauce natural.

Esta necesidad puede ser obligada por alguna de las razones siguientes:

1. Por algún desperfecto en alguna de las estructuras del canal que debe ser reparada teniendo en seco al canal en la parte averiada, por consiguiente el desagüe debe estar localizado aguas arriba de dichas estructuras, que pueden ser sifones, puentes canal, alcantarillas, etc.

2. También deberán colocarse desagües totales aguas arriba de los lugares en que se tema pueda haber deslaves que obstruyan por completo el canal o en los que se tema la destrucción de los bordos.
3. También deberán colocarse donde haya un cambio sensible en la capacidad del canal. Esta descarga se hace por medio de compuertas.

### C. Desagües Finales.

Estos se construyen en el remate de los canales con el fin de desalojar de una manera automática, descargando a un dren o un cauce natural, los excedentes de agua que no vayan a ser utilizados para riego.

Esta descarga puede ser mediante un vertedor de cresta libre o bien, una represa.

### 4.4 Entradas de agua y pasos superiores e inferiores.

Las entradas de agua son estructuras que se utilizan cuando se permite que el agua proveniente de arroyos que cruzan un canal, entran a él, siempre y cuando las aportaciones no afecten el límite del bordo libre y que no contengan materiales de acarreo que afecten la sección hidráulica y los revestimientos.

Para gastos máximos en los arroyos que se cruzan, inferiores a la décima parte del gasto normal del canal, se proyectan entradas de agua al mismo, siempre que se prevea un desagüe inmediato.

Si estos gastos no se quieren meter al canal, se pueden efectuar su cruce mediante un **paso superior o inferior**, dependiendo estos de la topografía del sitio.

Generalmente las entradas de agua se hacen por medio de tuberías de descarga.

Para el diseño hidráulico de la entrada de agua, se determinan las características topohidrológicas de la cuenca hasta el punto donde es cortado el escurrimiento. El gasto máximo esperado de las aportaciones se determina con la ecuación siguiente:

$$Q = C L H^{3/2}$$

en donde  $C = 1.45$

#### 4.5 Cunetas y contracunetas.

Las **cunetas** son estructuras de protección cuya finalidad es la de interceptar y drenar hasta una entrada de agua o una alcantarilla los escurrimientos del agua precipitada para que no descarguen libremente en el canal principal.

Las cunetas son zanjas que se localizan en la orilla del bordo del canal principal y que tienen la misma pendiente que éste. Para determinar su capacidad se debe tomar en cuenta a la precipitación y la magnitud del terreno donde corre el agua.

Las **contracunetas** son canales que se localizan arriba de las cunetas destinados a impedir que el escurrimiento llegue a la cuneta o canal principal para evitar deslaves en los cortes de la sección de las laderas. En general son de forma trapecial con base de 30 a 50 cm., con taludes de acuerdo al terreno y su pendiente será uniforme.

## C A P I T U L O V Aplicaciones

### **5.1 Ejemplo numérico de el diseño de un sistema de riego por gravedad.**

Cinco productores requieren de el diseño de un sistema de riego por gravedad para el cultivo de maíz. Por lo que debe considerarse los siguientes aspectos:

#### **1. Inventario de recursos y condiciones**

Los recursos y condiciones prevalentes son los siguientes:

- Se tiene un campo rectangular con una superficie total de 20,88 ha. Un lado mide 480m, el otro 435m. El campo está dividido por un camino de terracería y un canal. Ambos corren por la mitad del terreno. Por lo tanto, la superficie que se cultiva queda dividida en dos campos, cada uno de los cuales tiene una medida de 216 X 480, o sea, 103,680 m<sup>2</sup>.
- La topografía del campo es plana.
- El suelo es de tipo franco-arenoso. Existe una estratificación en el suelo a una profundidad de 90 cm.
- El clima es moderado - seco
- Se cultivará maíz en hileras: La distancia entre éstas será de 80 cm.

#### **2. Requerimientos técnicos**

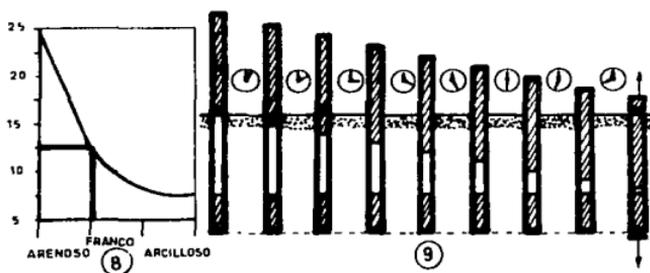
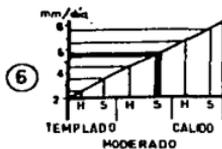
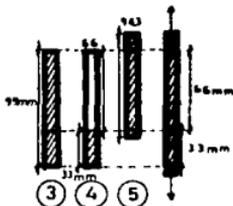
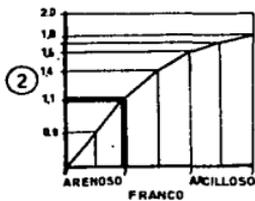
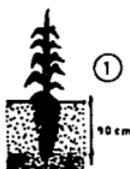
Con base en los recursos y condiciones prevalecientes, se determinan los requerimientos técnicos del sistema de riego que se va a implantar, relacionados con los siguientes aspectos:

- Cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego.
- Frecuencia o intervalo entre las aplicaciones de riego.
- Tiempo necesario para efectuar cada riego.

El Cálculo se efectúa como sigue:

- (1) La profundidad del sistema radicular del maíz es de 95 cm. La capa impermeable del suelo se encuentra a 90cm. de profundidad. Por lo tanto, la profundidad de la capa cultivable será igual a 90 cm.
- (2) Gráfica de la capacidad de almacenamiento de agua. El suelo es franco-arenoso, y la capacidad de almacenaje se estima un 1.1mm de agua por cada cm. en la zona de absorción.
- (3) La cantidad de agua que se puede almacenar es igual a 90 cm. X 1.1 mm/cm = 99mm. Esto es, el agua que corresponde a la cantidad entre el punto de marchitez y la capacidad de campo.
- (4) El riego se hace cuando queda un tercio de agua almacenada, o sea, un tercio de 99=33mm. En estos momentos, se aplica 99-33=66mm para volver a dejar el suelo a su capacidad de campo.
- (5) Como la eficiencia del riego es de sólo un 70%, la cantidad aproximada de agua que se aplica será de  $100/70 \times 66 = 94.3$  mm. Con esta cantidad se compensa el agua que se pierde por evaporación y por transpiración, durante el riego.
- (6) Gráfica del consumo promedio de agua de cultivos en diferentes climas. En un clima moderado-seco, se estima el consumo por evapotranspiración en 5.5 mm/día.
- (7) Se inicia el riego cuando el cultivo ha consumido 66mm de agua. El intervalo entre riegos subsecuentes será entonces de  $66/5.5=12$  días.
- (8) Gráfica de la velocidad de infiltración en diferentes suelos. En un suelo franco-arenoso, la velocidad de infiltración del agua de riego será aproximadamente de 12.5 mm/h.
- (9) Se deben aplicar 94.3 mm. de agua. La velocidad de infiltración del agua en un suelo franco-arenoso es de 12.5 mm/h, que resultaron de dividir  $94.3 / 12.5 = 7.5$ . Entonces, el riego se realiza durante 8 horas, para evitar escurrimientos. De esta manera, el suelo absorbe el agua a la misma velocidad que llega.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



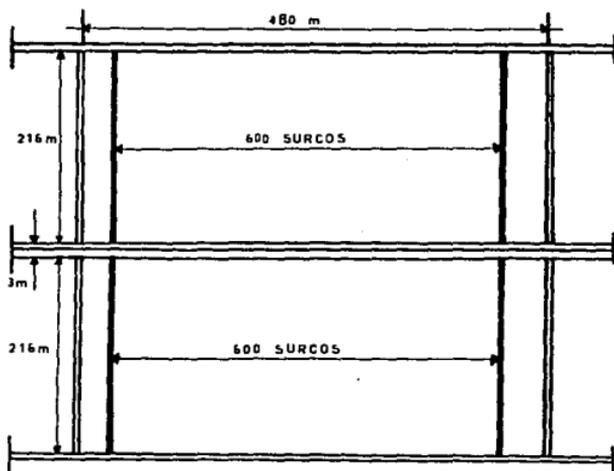
Los requerimientos básicos del sistema, bajo las condiciones del ejemplo son:

Cantidad de agua que se debe aplicar por riego	94.3 mm
Frecuencia o intervalos entre riegos	12 días
Tiempo de absorción del agua	8 horas

### 3. Diseño de el sistema de riego por surcos.

En caso de que el productor prefiera un sistema de riego por surcos, se procede con el diseño y la elaboración del plan de manejo, con base en los requerimientos establecidos.

La distancia entre surcos es de 0.80 metros, debido a que se siembra el maíz a una distancia entre hileras de 80 cm. Tomando en cuenta que el suelo es franco-arenoso, que el suministro de agua vendrá del canal que atraviesa el terreno por la mitad, y que los surcos no deben tener una longitud demasiado grande, se proyectan los surcos perpendicularmente sobre el canal.



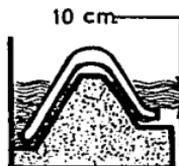
Así, el campo contiene 1 200 surcos de una longitud de 216 m. cada uno. La superficie que se debe regar por surco es de  $0.80 \times 216 = 172.80 \text{ m}^2$ , y la superficie total a regar es igual a  $1\ 200 \times 172.80 = 207\ 360 \text{ m}^2$ .

La cantidad de agua que se debe aplicar es 94.3 mm, o sea, 0.943 dm. En cada riego se debe aplicar una cantidad de agua por surco igual a  $100 \times 0.943 \times 172.80$ , o sea, 16 295 litros.

En el caso de riego por surcos, se debe adoptar una velocidad de suministro de agua, mayor que la velocidad de infiltración del suelo. Por esto, se decide aplicar la cantidad de 16 295 litros por surco en un lapso de 4 horas en lugar de 8 horas, o sea, en  $4 \times 3\ 600 = 14\ 400 \text{ seg}$ .

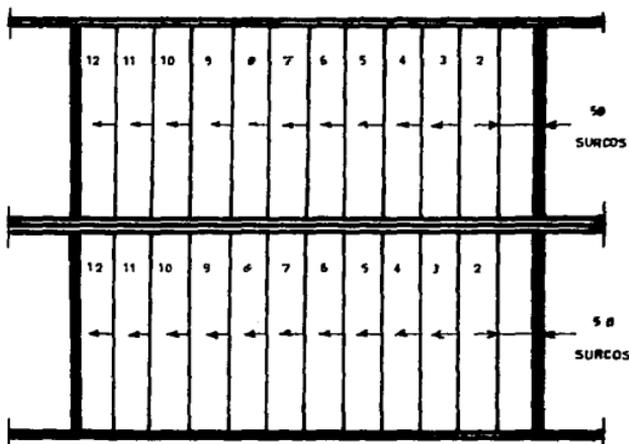
El caudal mínimo de cada sifón debe ser igual a  $16\ 295 : 14\ 400$ , o sea, 1.13 litros/segundo. Se estima la carga hidrostática, o sea, la diferencia entre el nivel del agua en el canal y el nivel de la salida del sifón en 10 cm. De la tabla de relaciones entre el diámetro del sifón y la carga hidrostática, se deduce que los sifones que se van a emplear deben de tener un diámetro de 4 a 5 cm para obtener un caudal de 1.13 litros/seg.

Diámetro Sifón	Carga Hidrostática			
	5cm	10 cm	15 cm	20 cm
1 cm	0.05 l/s	0.67 l/s	0.081 l/s	0.09 l/s
2 cm	0.19 l/s	0.26 l/s	0.32 l/s	0.37 l/s
3 cm	0.43 l/s	0.59 l/s	0.73 l/s	0.84 l/s
4 cm	0.75 l/s	1.06 l/s	1.29 l/s	1.49 l/s
5 cm	1.17 l/s	1.65 l/s	2.02 l/s	2.33 l/s
6 cm	1.68 l/s	2.38 l/s	2.91 l/s	3.36 l/s
7 cm	2.29 l/s	3.24 l/s	3.96 l/s	4.58 l/s
8 cm	2.99 l/s	4.23 l/s	5.18 l/s	5.98 l/s
9 cm	3.78 l/s	5.35 l/s	6.55 l/s	7.56 l/s
10 cm	4.67 l/s	6.60 l/s	8.09 l/s	9.34 l/s

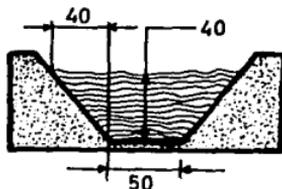


En el periodo de demanda máxima de agua se trabaja en dos turnos, o sea, 16 horas. Cada sifón puede regar  $16/4$ , o sea 4 surcos por día. Se deben regar un total de 1 200 surcos con una frecuencia de 12 días, es decir, se deben regar  $1\ 200/12$ , o sea, 100 surcos por día. Se necesita entonces  $100/4 = 25$  sifones.

El plan de trabajo se ve en la siguiente ilustración.



El caudal total para los surcos que se riegan por día de 16 horas, será igual a  $100 \times 16 \times 295 = 1\ 629\ 500$  litros, o sea,  $1\ 629\ 500/16 = 101\ 844$  litros por hora. Esto es igual a  $101\ 844/3600 = 28.3$  litros por seg. Si el canal debe suministrar el agua a 5 productores de maíz en el terreno, el canal debe tener un caudal de 141.5 litros por seg. En el canal, se mantiene una velocidad promedio del agua de 0.4 metros por segundo, o sea, 4 dm/seg. La sección transversal de la corriente de agua en el canal debe ser de  $141.5/4 = 36$  dm<sup>2</sup>. Con taludes de 1:1, las medidas mínimas del canal serán como se indica en el dibujo.



## 5.2 Ejemplo numérico de una represa

Considerese el caso de un canal principal en el que se carece de tomas o de canales laterales, pero que al operar la fuente de abastecimiento con un cierre rápido se produce un descenso violento en el tirante normal del canal que produce el derrumbe de el talud por efectos de la subpresión. Este fenómeno se evitará con la construcción de represas para controlar el descenso paulatino de los tirantes del canal.

### 1.- Cálculos hidráulicos del canal principal.

De estudios previamente realizados se tiene: ver Figura 5.2

$$Q = 14.709 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$B.L. = 0.85 \text{ m.}$$

$$b = 3.00 \text{ m}$$

$$k = 1.5:1$$

Sección trapecial

$$n = 0.030$$

$$s = 0.00025$$

Igualando las velocidades dadas por las expresiones de continuidad y manning.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Ahora despejando las características hidráulicas de las características geométricas del canal se tiene:

$$\frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} = A R^{\frac{2}{3}}$$

Después de resolver por tanteos la ecuación anterior, para diversos tirantes, se obtuvo que para un tirante  $d = 12.85 \text{ m}$  se satisface la igualdad. Por lo que las características hidráulicas del canal son:

$$A = bd + Kd^2 = (3)(2.85) + (1.5)(2.85)^2 = 20.734m^2$$

$$P = b + 2d\sqrt{1+k^2} = 3 + (2)(2.85)\sqrt{1+(1.5)^2} = 13.276m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{20.734m^2}{13.276m} = 1.562m$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (1.562)^{\frac{2}{3}} = 1.346$$

$$S^{\frac{1}{2}} = (0.00025)^{\frac{1}{2}} = 0.01581$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{(1.346)(0.01581)}{0.030} = 0.709 \frac{m}{seg}$$

por otra parte:

$$hv = \frac{v^2}{2g} = \frac{(0.709)^2}{2(9.81)} = 0.025622m$$

## 2 Cálculos hidráulicos de la represa.

El diseño hidráulico de una represa consiste en determinar el tamaño de la sección transversal necesaria, la longitud de sus transiciones y el tipo y número de compuertas.

- a) El tamaño de la sección transversal,** deberá ser lo suficientemente grande para evitar un considerable aumento de la velocidad dentro de la represa, ya que velocidades superiores a 1.5 m/seg dificultan la operación de las compuertas.

Para nuestro caso con  $Q = 14.709 \text{ m}^3/\text{seg}$ , el área hidráulica mínima requerida será:

$$A_{min} = \frac{14.709}{1.5} = 9.8m^2$$

- b) Tipo y número de compuertas.**

Si se tiene que:

$$\frac{A_{min}}{2} = \frac{9.8}{2} = 4.9m^2$$

$$d = 2.85m$$

$$\text{Entonces el ancho mínimo será: } \frac{4.9}{2.85} = 1.72m$$

Seleccionando dos compuertas radiales de 2.00 m de ancho (B) por 3.00 m de altura (A) para dos conductos separados por una pila central de las tablas de compuertas y mecanismos de la S.R. H. (Ver anexo I).

Por lo tanto las condiciones hidráulicas normales serán:

$$Q = 14.709 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$n = 0.015 \text{ (para concreto)}$$

$$A = 2 \times 2 \times 2.85 = 11.40 \text{ m}^2 > A_{\min} = 9.80 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{14.709}{11.40} = 1.29 \frac{\text{m}}{\text{seg}} < 1.5 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$P = 2(2d + b) = 2(2 \times 2.85 + 2.00) = 15.40m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{11.40}{15.40} = 0.740m.$$

$$S = \left( \frac{Vn}{r^{4/3}} \right)^2 = \left[ \frac{1.29(0.015)}{0.818} \right]^2 = 0.000559$$

### c) Longitud de transiciones.

Se determinan de acuerdo con el criterio de Hinds que consiste en considerar que el ángulo que deba formar la intersección de la superficie libre del agua y la pared, en el principio y el fin de la transición, con el eje de la estructura, sea de 22° 30'.

La expresión que permite el cálculo de la longitud mínima será entonces:

$$L_{\min} = \frac{T - t}{2} = \cot.22^\circ 30'$$

en la que:

L = Longitud mínima de la transición en metros

T = Ancho de la superficie del agua en el canal, en metros

t = Ancho de la superficie del agua, en los conductos, en metros

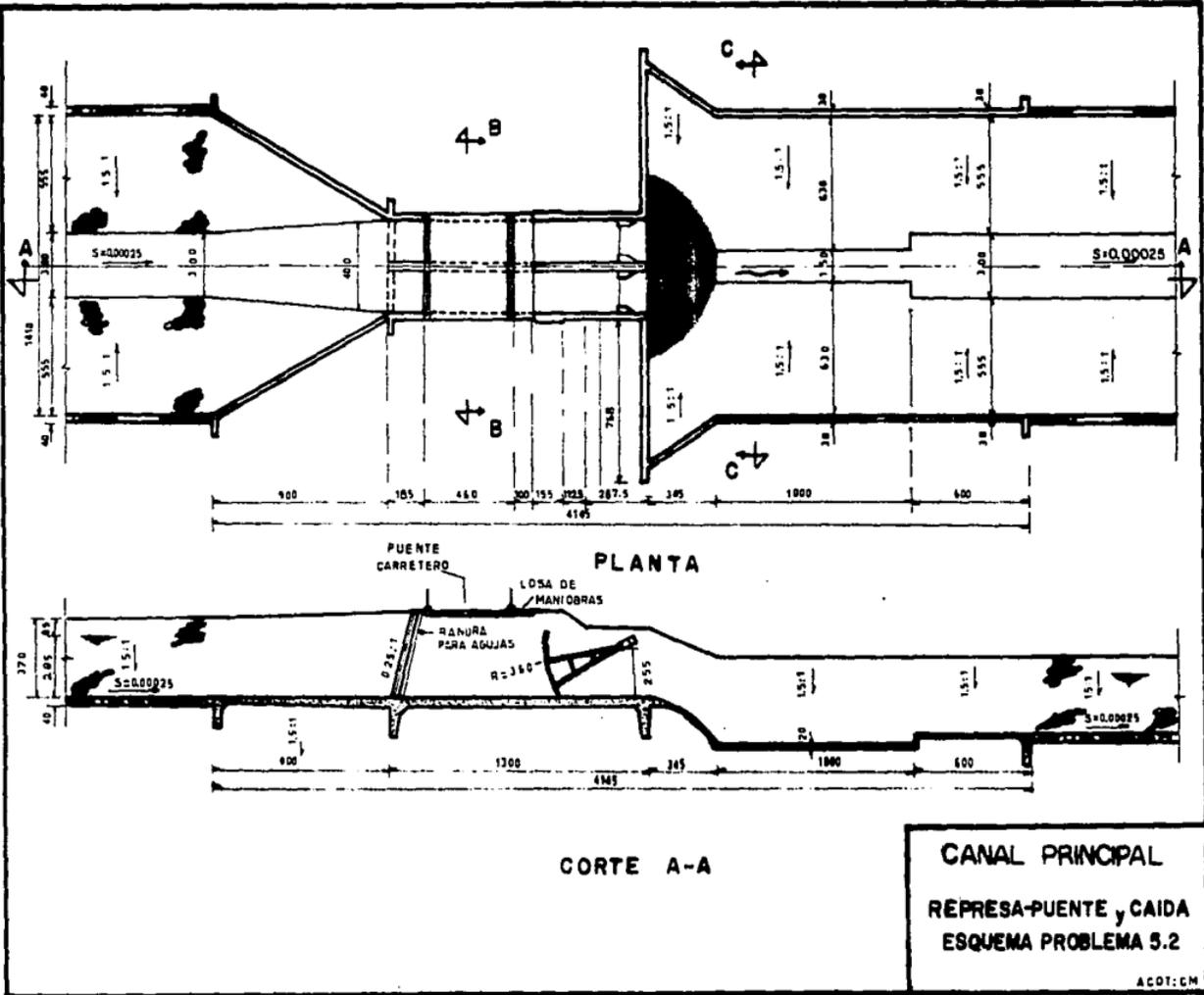
$$T = b + 2Kd = 3.00 + 2(1.5)(2.85) = 11.55 \text{ m.}$$

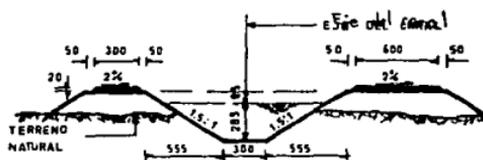
$$t = 2.00 + 2.00 + 0.40 = 4.40 \text{ m}$$

$$L_{\min} = \frac{11.5 - 4.40}{2} (2.4142) = 8.63m$$

$$\therefore \text{ se adopta } L = 9.00m$$

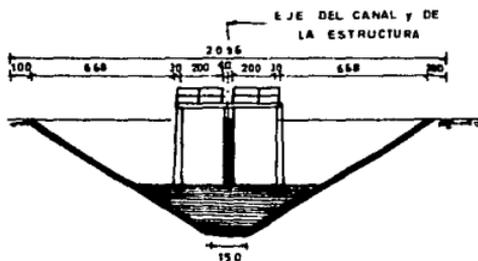
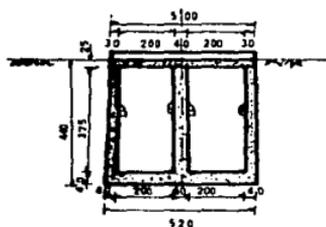
FALLA DE ORIGEN





SECCION NORMAL DEL CANAL PRINCIPAL

DATOS	HIDRAULICOS
$Q = 14.709 \text{ m}^3/\text{s}$	$n = 0.036$
$A = 20.784 \text{ m}^2$	$v = 0.709 \text{ m/s}$
$b = 3.00 \text{ m}$	$r = 1.562 \text{ m}$
$d = 2.85 \text{ m}$	$f = 1.5:1$
	$BL = 0.85 \text{ m}$



CANAL PRINCIPAL  
REPRESA-PUENTE y CAIDA  
CONTINUACION

### 5.3 Ejemplo numérico de un medidor Parshall

Se desea colocar un medidor Parshall en un punto del proyecto de un canal considerando para éste la pérdida de carga que ocurre en el medidor con el objeto de proveer un desnivel en la plantilla del canal en el lugar de la estructura suficiente para absorber dicha pérdida y evitar la sobre elevación del tirante en le canal superior.

#### 1.- Cálculos hidráulicos del canal

$$Q = 3.475 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$b = 1.35$$

$$K = 1.5:1$$

$$n = 0.030$$

$$s = 0.0011$$

$$B.L. = 0.50\text{m}$$

Sección trapecial.

Igualando las velocidades dadas por las expresiones de continuidad y manning.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Ahora despejando las características hidráulicas de las características geométricas del canal se tiene:

$$\frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} = AR^{\frac{2}{3}}$$

Después de resolver por tanteos la ecuación anterior, para diversos tirantes, se obtuvo que para un tirante d= 1.25 m se satisface la igualdad. Por lo que las características hidráulicas del canal son:

$$A = bd + Kd^2 = (1.35)(1.25) + (1.5)(1.25)^2 = 4.031m^2$$

$$P = b + 2d\sqrt{1+k^2} = 1.35 + (2)(1.25)\sqrt{1+(1.5)^2} = 5.857m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{4.031m^2}{5.857m} = 0.688m$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0.688)^{\frac{2}{3}} = 0.780$$

$$S^{\frac{1}{2}} = (0.011)^{\frac{1}{2}} = 0.03317$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{(0.780)(0.03317)}{0.030} = 0.862 \frac{m}{seg}$$

Agua arriba del medidor se admite un tirante de 1.50m (d+0.5 BL) sin poner en peligro los bordos.

## 2.- Cálculos hidráulicos del Medidor Parshall

El diseño hidráulico de un medidor Parshall consiste en comparar la relación de un par de valores del tamaño del medidor y la pérdida de carga correspondiente que tienen lugar en diferentes tamaños de medidores, con el objeto de escoger aquel que presente mayores ventajas.

### 2.a Tamaño del medidor (W).

De acuerdo con la tabla que se presenta en el Anexo II de dimensiones y gastos límites, tienen la capacidad requerida los medidores de 7 y 8 pies 2.138m y 2.443 m. respectivamente. Entre ellos debe seleccionarse el más adecuado.

Como se pretende que trabaje con descarga libre, el gasto de sumersión ha de ser de 0.70 como máximo valor límite, según el tamaño del medidor. Ver tabla I en Anexo III.

Las pérdidas de carga producidas por cada uno de estos medidores, es función de su tamaño W, del gasto Q y del grado de sumersión S con que trabaja la estructura, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = ((5.072/(W+4.57)^{1.48}) * (1-S)^{0.72} * Q^{0.57})$$

Calculando la pérdida para cada uno de los tamaños anteriormente seleccionados, se tiene:

Para $W = 2.138 \text{ m}$	$P = 0.30 \text{ m}$	$= 0.30 \text{ m}$
$W = 2.443 \text{ m}$	$P = 0.29 \text{ m}$	$< 0.30 \text{ m}$

por lo tanto, se adaptará el de tamaño  $W = 2.138 \text{ m}$

El cálculo de  $H_a$ , se hará con la fórmula de gasto para descarga libre, de la tabla II Anexo III

$$Q = mHa^n$$

$$Ha = \left(\frac{Q}{m}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Los valores de los parámetros  $m$  y  $n$  correspondientes al tamaño  $W$  se obtienen de la tabla IV, Anexo IV, lo que queda.

Para $W = 2.00$	$m = 4.968$ $n = 1.599$
-----------------	----------------------------

$$Ha = \left(\frac{Q}{4.968}\right)^{\frac{1}{1.599}} = \left(\frac{3.475}{4.968}\right)^{\frac{1}{1.599}}$$

$$H = 0.80 \text{ m}$$

## 2.b Altura o elevación máxima de la cresta

Se tiene que aproximadamente:

$$Z = d + p - H_a$$

$$Z = (1.25) + 0.30 - 0.80$$

$$Z = 0.75 \text{ m}$$

## 2.c Elaboración de la tabla y curvas de gasto del medidor Parshall $W=2.00\text{m}$ .

Se emplearán las expresiones de la tabla II Anexo III y el factor de corrección se elige de la tabla III del mismo Anexo con incrementos de carga a cad  $0.05\text{m}$ . de un valor  $H_a = 0.05\text{m}$ . hasta  $H_a = 1.20\text{m}$ ., y diversos porcentajes de sumersión.

Los cálculos se reportan en la siguiente tabla:

$$Q = 4.968 Ha^{1.599} - C.$$

<b>Gasto en m<sup>3</sup>/seg</b>					
<b>No.</b>	<b>Descarga libre</b>	<b>Porcentaje de sumersión</b>			
		<b>70</b>	<b>72</b>	<b>74</b>	<b>76</b>
0.05	0.0412	0.0326	0.0324	0.0323	0.0315
0.10	0.1250	0.1159	0.1154	0.1148	0.1139
0.15	0.2391	0.2289	0.2280	0.2268	0.2252
0.20	0.3788	0.3668	0.3654	0.3634	0.3609
0.25	0.5413	0.5269	0.5246	0.5219	0.5180
0.30	0.7245	0.7069	0.7037	0.6994	0.6942
0.35	0.9271	0.9054	0.9010	0.8954	0.8885
0.40	1.1478	1.1212	1.1156	1.1057	1.1092
0.45	1.3856	1.3531	1.3459	1.3364	1.3252
0.50	1.6399	1.6006	1.5916	1.5802	1.5664
0.55	1.9099	1.8629	1.8521	1.8379	1.8214
0.60	2.1950	2.1391	2.1262	2.1094	2.0899
0.65	2.4949	2.4291	2.4138	2.3940	2.3713
0.70	2.8086	2.7318	2.7139	2.6909	2.6648
0.75	3.1361	3.0471	3.0265	3.0001	2.9705
0.80	3.4771	3.3748	3.3512	3.3213	3.2875
0.85	3.8308	3.7140	3.6872	3.6534	3.6158
0.90	4.1977	4.0652	4.0351	3.9973	3.9552
0.95	4.5768	4.4274	4.3937	4.3515	4.3050
1.00	4.9680	4.8003	4.7629	4.7162	4.6650
1.05	5.3709	5.1836	5.1425	5.0910	5.0348
1.10	5.7857	5.5777	5.5323	5.4757	5.4146
1.15	6.2119	5.9817	5.9320	5.8703	5.8038
1.20	6.6496	6.3959	6.3416	6.2745	6.2024

## 2.d Dimensionamiento

Para el dimensionamiento vease la tabla del anexo II

W = 2.00

A = 2.30

B = 2.24

C = 2.44

D = 3.00

E = 0.92

F = 0.61

G = 0.92

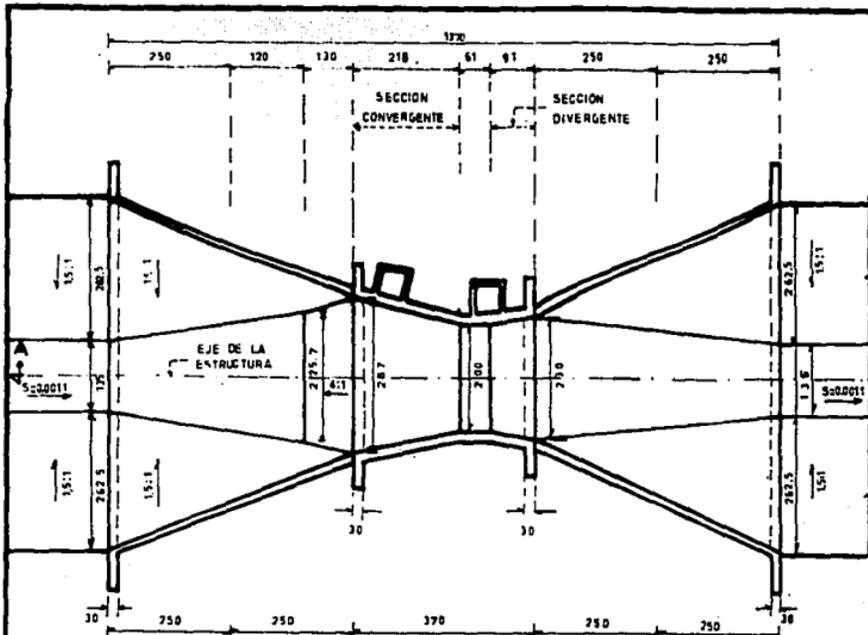
K = 0.07

N = 0.26

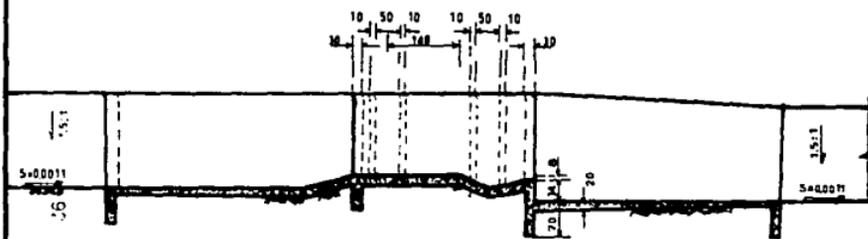
X = 0.051

Y = 0.076

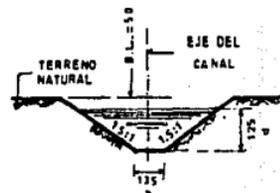
FALLA DE ORIGEN



PLANTA



CORTE A-A



DATOS HIDRAULICOS	
$Q = 3.475 \text{ m}^3/\text{s}$	$t = 1.5 \text{ l}$
$b = 1.35 \text{ m}$	$n = 0.030$
$d = 1.25 \text{ m}$	$S = 0.0011$
$A = 4.03 \text{ m}^2$	$B.L. = 0.50 \text{ m}$
$v = 0.862 \text{ m}$	

CANAL y  
MEDIDOR PARSHALL

ESQUEMA PROBLEMA 5.3

## 5.4 Ejemplo numérico de un sifón invertido de sección rectangular

En un Distrito de Riego, el Canal principal en el Km. 10+240.00 cruzará un arroyo. Por lo que se ha proyectado como estructura de cruce un sifón invertido de un conducto de sección rectangular que permita pasar un gasto de  $6.11 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

1.- Cálculos hidráulicos del canal principal.

$$Q = 6.11 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$b = 1.35 \text{ m}$$

$$s = 0.0005$$

$$n = 0.014$$

$$k = 1.5 : 1$$

$$b.i. = 0.30 \text{ m}$$

Sección Trapecial

Después de resolver por tanteos la igualdad de las características hidráulicas con las características geométricas del canal, se tiene que para un tirante  $d = 1.37 \text{ m}$  se satisface la misma. Por lo que las características hidráulicas del canal son:

$$A = d(b + md) = 1.37(1.35 + 1.5 \times 1.37) = 4.665 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d\sqrt{1 + m^2} = 1.35 + 2(1.37)\sqrt{1 + (1.5)^2} = 6.289 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{4.66485}{6.28906} = 0.741676 \text{ m}$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0.7417)^{\frac{2}{3}} = 0.819364$$

$$S^{\frac{1}{2}} = (0.0005)^{\frac{1}{2}} = 0.02236$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{(0.8194)(0.0224)}{0.014} = 1.31 \text{ m/seg}$$

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1.31)^2}{2(9.81)} = 0.087 \text{ m}$$

## 2.- Diseño de la sección del conducto

Proponiendo una sección rectangular, ésta debe de cumplir la siguiente relación:

$$\frac{H}{B} = 1.25$$

H = Altura interior del conducto  
B = Ancho de la plantilla del conducto

$$H = 1.25 B \dots\dots\dots(1)$$

$$A = B H \dots\dots\dots(2)$$

A = Area de la sección del conducto.

Substituyendo (1) en (2)

$$A = 1.25 B^2$$

Despejando "B"

$$B = (A/1.25)^{1/2}$$

En función de la carga hidráulica disponible se propusieron varias secciones, suponiendo diferentes velocidades y se escogió la que dió una suma de pérdidas más o menos igual a la carga disponible.

Suponiendo una velocidad igual a 1.60 m/seg.

$$A = Q/V = 6.11 / 1.60 = 3.819 \text{ m}^2$$

$$B = \sqrt{\frac{3.819}{1.25}} = 1.75 \text{ m}$$

$$H = 1.75 \times 1.25 = 2.18 \text{ m}$$

Se adopta H = 2.15 m

## 3.- Datos hidráulicos del conducto

$$Q = 6.11 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$B = 1.75 \text{ m}$$

$$H = 2.15 \text{ m}$$

$$n = 0.014$$

Carteles de 15 x 15 cm.

$$A = 2.15 \times 1.75 - \left( \frac{0.15 \times 0.15}{2} \right) 4 = 3.7175m^2$$

$$P = (1.75 - 0.30)2 + (2.15 - 0.30)2 + 4 \left( \sqrt{((0.15)^2 + (0.15)^2)} \right)$$

$$P = 7.448528m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{3.7175m^2}{7.448528m} = 0.499091m$$

$$R^{\frac{2}{3}} = (0.499091)^{\frac{2}{3}} = 0.629198$$

$$V = \frac{6.11}{3.7175} = 1.644m / seg$$

$$hf = \left( \frac{Vn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 L = \left( \frac{1.644 \times 0.014}{0.629198} \right)^2 L$$

$$hf = 0.001338L$$

#### 4.- Longitud de transición

El cambio de sección de el canal al conducto del sifón no debe hacerse bruscamente, sino por medio de una longitud de transición, (que determinará de acuerdo con el criterio de Hinds) con la finalidad de reducir al mínimo las pérdidas de carga y así obtener la mayor eficiencia hidráulica posible.

Por lo que la longitud de transición queda definida por el criterio de Hinds:

$$L = \left( \frac{T-t}{2} \right) \cot.22^{\circ}30'$$

en donde:

T = Ancho de la superficie libre del agua en el canal

t = Ancho de la superficie libre del agua a la entrada del conducto

L = Longitud de la transición.

entonces, se tiene que.

$$T = b - 2md = 1.35 + 2(1.5)(1.37) = 5.46m$$

$$T = 1.75m$$

$$L = \left[ \frac{5.46 - 1.75}{2} \right] 2.414 = 4.48m$$

Por lo tanto se adopta

$$L = 5.00m$$

## 5.- Funcionamiento Hidráulico del Sifón.

Una vez escogida la sección del conducto y determinada la longitud de transición; con la topografía detallada del cruce, se traza el perfil del terreno y sobre este dibujamos el perfil longitudinal del sifón.

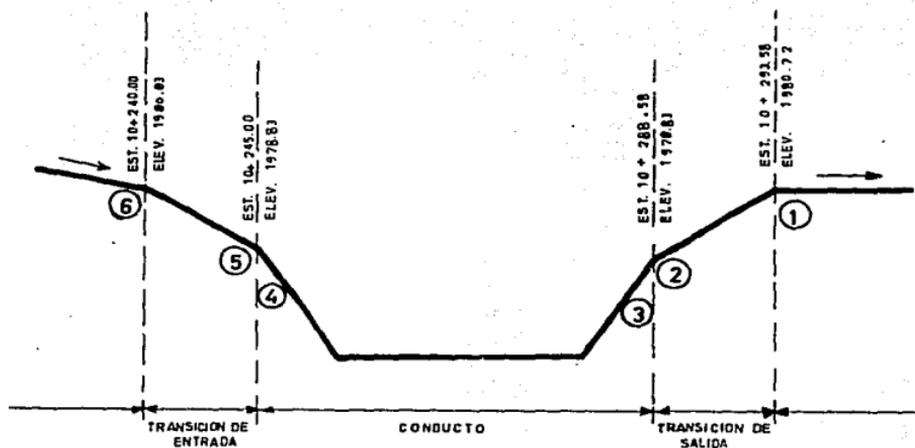
El relleno es de 2.00m. desde la rasante del arroyo a la parte superior del conducto en la zona del cauce; en las laderas se fijó un colchón mínimo de 1.00m. Las transiciones se localizaron fuera de las laderas del arroyo, quedando totalmente en excavación.

Trazado el sifón se procede a calcular la geometría del mismo; así como las pérdidas de carga.

El desnivel entre los gradientes de energía de entrada y de salida de la estructura tendrá que ser igual a la suma de todas las pérdidas de carga que se presenten en el sifón.

Las pérdidas de carga que se tienen son por concepto de:

- a) Transición exterior de entrada
- b) Entrada al conducto
- c) Fricción en el conducto
- d) Codos o cambios de dirección
- e) Salidad del conducto
- f) Transición exterior de salida



Aplicando el teorema de Bernoulli de aguas abajo hacia aguas arriba, por tratarse de un régimen tranquilo.

Bernoulli entre 1 y 2

$$d_2 + hv_2 = z_1 + d_1 + hv_1 + hf_s$$

en donde.

- $z_1$  = Desnivel entre los puntos 1 y 2
- $d_1$  = Tirante normal del canal
- $d_2$  = Tirante a la salida del conducto
- $hv_1$  = Carga de velocidad a la salida del conducto
- $hv_2$  = Carga de velocidad a la salida del conducto
- $hf_s$  = Pérdida de carga por transición exterior de salida.

$$hf_s = 0.2 \Delta hv$$

$\Delta hv$  = Diferencia de cargas de velocidad entre los puntos 1 y 2.

$$Z_1 = 1980.72 - 1978.83 = 1.89\text{m.}$$

$$d_1 = 1.37\text{ m.}$$

$$hv_1 = 0.087\text{m.}$$

$$d_2 + hv_2 - hf_s = 1.89 + 1.37 + 0.087$$

$$d_2 + hv_2 - hf_s = 3.347\text{m} \dots\dots\dots (1)$$

suponiendo  $d_2 = 3.296\text{ m}$

$$A_2 = 1.75 \times 3.296 = 5.768\text{ m}^2$$

$$V_2 = \frac{6.11}{5.768} = 1.059\text{m/seg}$$

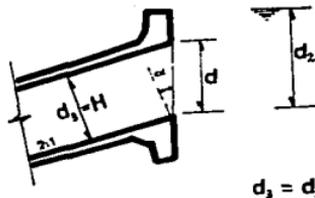
$$hv_2 = \frac{(1.059)^2}{19.62} = 0.057\text{m}$$

$$hf_s = 0.2(0.087 - 0.057) = 0.006\text{m}$$

Substituyendo en (1)

$$3.296 + 0.057 - 0.006 = 3.347\text{m}$$

∴ El tirante supuesto es el correcto



$$d_3 = d_2$$

$$c \operatorname{tg} \alpha = 2$$

$$\alpha = c \operatorname{tg}^{-1} 2$$

$$\alpha = 28^{\circ}38'$$

$$\cos \alpha = \frac{ds}{d}$$

$$d = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{2.15}{0.8777} = 2.45m$$

$$\% \text{ de ahogamiento} = \frac{3.296 - 2.45}{2.45} = 0.345$$

$$\% \text{ de ahogamiento} = 34.5\% > 10.0\%$$

ahora aplicando Bernoulli entre 2 y 3

$$d_3 + hv_3 + \frac{P_3}{\gamma} = d_2 + hv_2 + h_s \dots \dots \dots (2)$$

$h_s$  = Pérdida de carga por salida =  $0.2\Delta hv$

$d_3$  = Altura interior del conducto.

$hv_3$  = Carga de velocidad en el conducto

$$\frac{P_3}{\gamma} = \text{Presion interior del agua en el punto 3.}$$

$$d_3 = 2.15m$$

$$d_2 = 3.296m$$

$$hv_3 = 0.138m$$

$$hv_2 = 0.057m$$

$$h_s = 0.2(0.138 - 0.057) = 0.016m$$

Substituyendo en (2)

$$2.15 + 0.138 + \frac{P_3}{\gamma} = 3.296 + 0.057 + 0.016$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = 1.081m.$$

Enseguida se aplica Bernoulli entre 3 y 4.

$$Z_4 + d_4 + hv_4 + \frac{P_4}{\gamma} = d_3 + hv_3 + \frac{P_3}{\gamma} + hf + h_e$$

$Z_4$  = desnivel entre los puntos 3 y 4 = 0

$$d_4 = d_3$$
$$h_{v_4} = h_{v_3}$$

lo que queda:

$$\frac{P_4}{\gamma} = \frac{P_3}{\gamma} + hf + hc \dots \dots \dots (3)$$

$hf$  = Pérdida de carga por fricción en el interior del conducto

$$hf = 0.001338 L$$

$$L = 48.10 \text{ m.}$$

$$hf = 0.001338 \times 48.10 = 0.064 \text{ m.}$$

$hc$  = Pérdida de carga por cambio de dirección del conducto.

$$hc = C \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} (hvc)$$

Número de codos = 2

$C$  = Coeficiente que está en función de la deflexión y cuyo valor comunmente se adopta de 0.25 (según Hinds).

$\Delta$  = Angulo de la deflexión =  $26^\circ 34' = 26.57^\circ$ .

$hvc$  = Carga de velocidad en el conducto = 0.138 m.

$$hc = 2(0.25) \sqrt{\frac{26.57^\circ}{90^\circ}} (0.138 = 0.037m)$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = 1.081m$$

Substituyendo en (3).

$$\frac{P_4}{\gamma} = 1.081 + 0.064 + 0.037$$

$$\frac{P_4}{\gamma} = 1.182m$$

Aplicando Bernoulli entre 4 y 5

$$d_5 + hv_5 = d_4 + hv_4 + \frac{P_4}{\gamma} + h_e$$

$d_5$  = Tirante a la entrada del conducto.

$hv_5$  = Pérdida de carga por entrada = 0.1  $hv_4$

$d_4$  = 2.15 m.

$hv_4$  = 0.138 m.

$$\frac{P_4}{\gamma} = 1.182m$$

$$d_5 + hv_5 - h_e = 2.15 + 0.138 + 1.182$$

$$d_5 + hv_5 - h_e = 3.47m \quad \dots\dots\dots(4)$$

Suponiendo  $d_5 = 3.426m$ .

$$A_5 = 1.75 \times 3.426 = 5.986m^2$$

$$V_5 = \frac{6.11}{5.986} = 1.019m / seg$$

$$hv_5 = \frac{(1.019)^2}{19.62} = 0.053m$$

$$h_e = 0.1(0.138 - 0.053) = 0.009m$$

Sustituyendo en (4).

$$3.426 + 0.053 - 0.009 = 3.47$$

Ahora aplicando Bernoulli entre 5 y 6

$$Z_6 + d_6 + hv_6 = d_5 + hv_5 + hte$$

donde:

- $d_6$  = Tirante en el canal
- $hv_6$  = Carga de velocidad en el canal
- $Z_6$  = Desnivel entre los puntos 5 y 6
- $Z_6 = 1980-83 \quad 1978-83 = 2.00\text{m}$

$hte$  = Pérdida de carga por transición exterior de entrada =  $0.1 \Delta h_v$

$$d_5 = 3.426 \text{ m}$$

$$hv_5 = 0.053 \text{ m}$$

$$d_6 + hv_6 - hte = 1.479 \dots\dots\dots(5)$$

suponiendo  $d_6 = 1.40 \text{ m}$ .

$$A_6 = 1.40 (1.35 + 1.5 \times 1.40) = 4.83 \text{ m}^2$$

$$V_6 = \frac{6.11}{19.62} = 0.082\text{m}$$

$$hte = 0.1 (0.082 - 0.053) = 0.003\text{m}.$$

Substituyendo en (5).

$$1.40 + 0.082 - 0.003 = 1.479$$

Resumen de pérdidas:

1.- Transición de entrada	=	0.003 m.
entrada	=	0.009 m.
fricción	=	0.064 m.
codos	=	0.037 m.
salida	=	0.016 m.
Transición de salida	=	<u>0.006 m.</u>
$\Sigma h$	=	0.135 m.

Por último, aplicando Bernoulli entre 1 y 6.

$$Z_6 + d_6 + hv_6 = d_1 + hv_1 + \Sigma h$$

$$Z_6 = 1980.83 - 1980.72 = 0.11 \text{ m.}$$

$$0.11 + 1.40 + 0.082 = 1.37 + 0.087 + 0.135$$

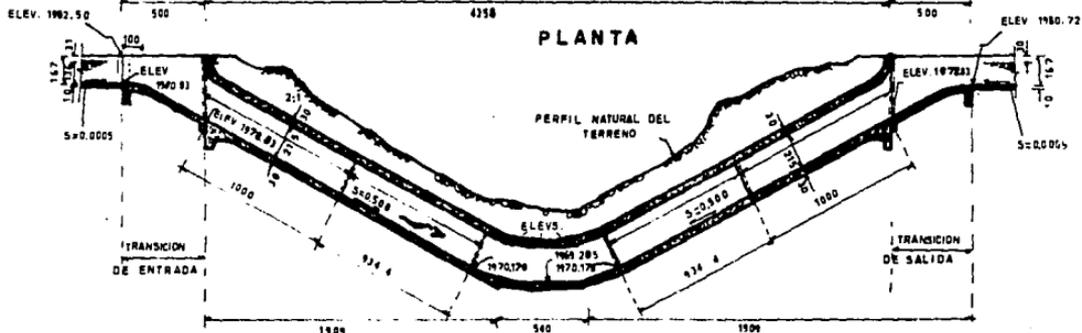
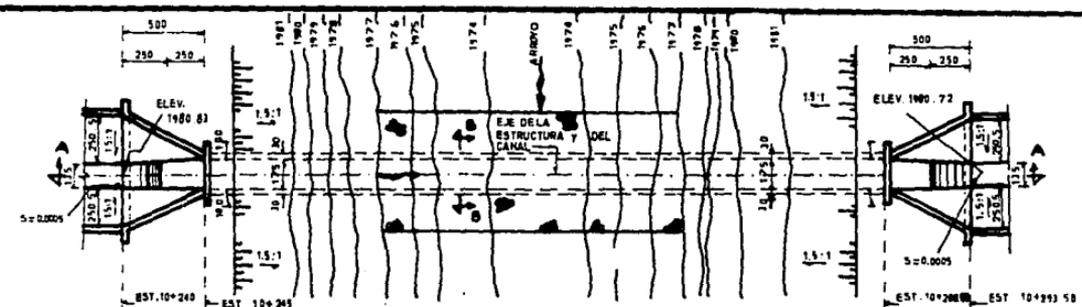
Entonces como conclusión tenemos que la:

$$\text{Carga disponible} = 0.110 \text{ m.}$$

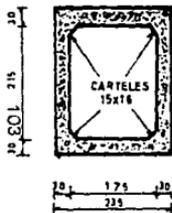
$$\text{Suma de pérdidas} = 0.135 \text{ m.}$$

Por lo tanto hay un remanso de 2.5 cm. aguas arriba del conducto.

FALLA DE ORIGEN



CORTE B-B



CORTE A-A



SECCION NORMAL DEL CANAL

DATOS HIDRAULICOS	
DEL CANAL	DEL CONCRETO
$Q = 611 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 611 \text{ m}^3/\text{s}$
$A = 4.845 \text{ m}^2$	$A = 3.718 \text{ m}^2$
$V = 1.31 \text{ m/s}$	$V = 1.64 \text{ m/s}$
$b = 1.35 \text{ m}$	$b = 1.35 \text{ m}$
$d = 1.37 \text{ m}$	$H = 2.15 \text{ m}$
$S = 0.0005$	$S = 0.500$
$n = 0.014$	$n = 0.014$
$f = 1.5:1$	
$h = 1.072 \text{ m}$	

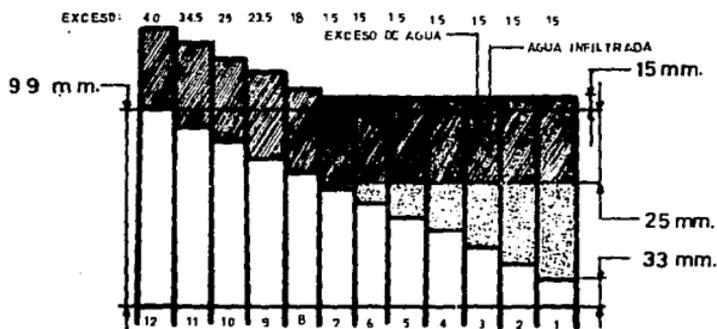
SIFON EN CRUCE  
CON ARROYO  
ESQUEMA PROBLEMA 5.4

## 5.5 Diseño de un sistema de drenaje

En el caso de que el productor del ejemplo 5.1, prefiera tomar en cuenta la posibilidad de una lluvia durante el periodo de riego, con una intensidad máxima de 40 mm en dos horas, debe construir un sistema de drenaje.

La precipitación se considera como una aplicación adicional que afecta directamente la cantidad de agua en todo el campo. Durante la lluvia fuerte de dos horas, el suelo absorbe un máximo de  $2 \times 12.5 = 25\text{mm}$ , pero sólo cuando la cantidad de agua en la zona de absorción sea menor de  $33 + (66 - 25) = 74\text{mm}$ . En este caso, el exceso de agua de lluvia será  $40 - 25 = 15\text{mm}$ .

Las partes del campo recién regadas no tendrán la capacidad de absorber los 25 mm de agua de lluvia. En estas parte, el exceso será mayor de 15mm. En la siguiente gráfica, se ha dividido el campo en 12 partes porque el intervalo de riego fué de 12 días, de tal modo que si se divide el campo en 12 partes, cada día quedará regada una de éstas. en la gráfica, se indica también la cantidad de agua almacenada en el suelo, la cantidad de lluvia absorbida por éste y el exceso de agua resultante.



El exceso total de agua es igual a  $15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 15 + 18 + 23.5 + 29 + 34.5 + 40 = 250\text{mm}$ , o sea, en promedio  $250/12 = 20.9\text{ mm}$ . La superficie del campo es de  $207\,360\text{ m}^2$ . La cantidad de agua en exceso es, por esto, igual a  $0.209\text{ dm} \times 20\,736\,000\text{ dm}^2 = 4\,333\,824\text{ litros}$ .

Si el productor quiere evacuar esta cantidad de agua en 24 horas, debe conducir por el canal de desagüe una cantidad de  $4\,333\,824 / 24 = 180\,576\text{ litros por hora}$ , lo que equivale a  $180\,576/3\,600 = 50.2\text{ litros por seg}$ .

Normalmente, el canal debe diseñarse para que pueda conducir una doble cantidad de agua. En este caso, por ejemplo, se realizará el diseño de los canales de drenaje con base en un caudal de  $2 \times 50.2 = 100.4\text{ litros por seg}$ .

Debido a la ubicación de los surcos y la pendiente de ellos hacia los bordes de campo, se constituyen dos canales. Cada uno debe tener un caudal igual a la mitad del caudal total. Por esto, la medida de los canales se calcula con base en un caudal de  $50.2\text{ litros por seg}$ , cada uno.

Tomando una velocidad promedio de la corriente de agua de  $0.3\text{ metros por segundo}$ , o sea,  $3\text{ dm/seg}$ , la sección de la corriente de agua debe ser igual a  $50.2 / 3$ , o sea, aproximadamente  $17\text{ dm}^2$ . Este tipo de sección tendrá un fondo de unos  $30\text{ cm}$  con taludes de  $1:1$  y una profundidad de por lo menos  $30\text{ cm}$ .

Después de la lluvia, el productor esperará algunos días antes de continuar el riego.

## C O N C L U S I O N E S

El riego es la aplicación uniforme del elemento agua al suelo, en la cantidad y periodicidad adecuada y en la forma más conveniente, a fin de que el cultivo al que se aplica produzca el mayor rendimiento sin provocar desperdicios en el uso del agua y del suelo.

La elección que se haga del método de riego para aplicar el agua al suelo, dependerá fundamentalmente de factores tales como las propiedades del suelo, topografía del mismo, posibilidades de nivelación, condiciones de drenaje y salinidad, disponibilidad del agua, dimensiones del lote o parcela, necesidades de los cultivos, prácticas agrícolas de los usuarios, etc.

Los métodos de riego superficiales se clasifican en tres grupos:

- a) Que inundan totalmente la superficie del suelo, encontrándose el agua prácticamente en reposo.
- b) Que inundan totalmente la superficie del suelo, encontrándose el agua en movimiento.
- c) Que inundan parcialmente la superficie del suelo, encontrándose el agua en movimiento.

En todos los métodos de riego superficial, el agua es derivada hacia el campo en el punto más alto del lote, y escurre hacia las elevaciones más bajas con su volumen que va disminuyendo conforme se mueve pendiente abajo debido a la infiltración en el suelo.

Entonces, para obtener uniformidad en la distribución del agua, debe seleccionarse el tamaño y pendiente adecuada del área por irrigar, regulando el gasto de acuerdo al tipo de suelo y a la profundidad de raíces del cultivo que va a ser regado.

En algunos casos de suelos con alta velocidad de infiltración el área por regar resulta muy pequeña si se quiere tener uniformidad en la aplicación del

agua, o bien, el gasto que requiere es grande, por lo que el riego no es recomendable y debe considerarse como una solución, el riego por aspersión.

La acertada elección y/o combinación de las estructuras hidráulicas de operación permitirán controlar, derivar y medir correctamente el agua de riego utilizada en la distribución; lograndose así una mejor eficiencia del sistema.

La elección de una estructura hidráulica de cruce dependerá necesariamente de la importancia del obstáculo a salvar y de las condiciones topográficas, hidráulicas y económicas, debido a que en algunos casos los problemas pueden resolverse en dos ó más formas diferentes, lo que implica analizar varias alternativas estudiando el costo y ventajas de cada una de ellas, decidiéndose por la que sea más adecuada y que funcione mejor hidráulicamente.

Para seleccionar correctamente la estructura hidráulica de protección más eficiente, es necesario hacer la estimación de la superficie de la cuenca y de su aportación máxima probable. La determinación del área de la cuenca puede hacerse en un mapa de la localidad, o bien, mediante un levantamiento topográfico por algún método expedito. La apreciación del gasto máximo probable, con el que se calculará la estructura, se puede hacer con la curva envolvente de máximos gastos para la región, si se cuenta con ella. Si no se tiene tal gráfica puede hacerse mediante la aplicación de alguna de las fórmulas más conocidas, en las que interviene la precipitación para tales fenómenos dentro de las que figuran las de "Burkly-Ziegler", el "Método Racional", "Arnold y Gregory, etc.

En el Diseño hidráulico de las estructuras necesarias para la práctica de la irrigación, se hace presente, por lo general, desde las primeras suposiciones, el empleo de criterios y decisiones que la experiencia aconseja como indispensables para cada caso en particular. Y así posteriormente la aplicación e interpretación correcta de las Ecuaciones Fundamentales de la Hidráulica.

COMPUERTA						CHUMACERA			MALACATE			
CARGA M.	ALTURA M.	ANCHO M.	CLASIFICACION	RADIO M.	PESO EN Kgs.	ALTURA DEL PERNO Y M.	TIPO	CLASIFICACION	PESO EN Kgs.	CAPACIDAD Kgs.	CLASIFICACION	PESO EN Kgs.
1.80	1.80	1.80	TM-C-344	1.80	410	1.125	MENSULA	TM-C-211		700	TM-C-85,85	145
4.00	2.00	1.80	TM-C-437	2.40	720	1.80	MENSULA	CM-C-102	39	1400	TM-C-86 Y 90	313
3.20	2.00	2.00	1100-C-703	2.88	905	1.304	MENSULA	CM-C-102	39	3500	TM-C-83,94,95	778
4.00	2.18	2.00	2201-C-14	2.40	1068	2.00	MENSULA	CM-C-101	98	2600	TM-C-81,83	438
6.80	2.80	3.80	TM-C-348	3.80	1288	2.80	MENSULA	TM-C-277	74	2800	TM-C-83,94	778
4.25	1.45	3.00	TM-C-241	1.80	698	1.25	MENSULA	TM-C-214	14	1800	TM-C-85,90	313
4.25	1.45	3.00	TM-C-438	1.80	648	1.25	MENSULA	CM-C-102	39	2000	TM-C-86,90	313
4.20	1.80	3.00	TM-C-329	1.80	930	1.125	MURO	TM-C-330		2800	TM-C-81,92	438
4.00	2.00	3.00	TM-C-438	2.40	2781	1.80	MENSULA	CM-C-101	98	2500	TM-C-81,92	438
4.00	2.18	3.00	2201-C-13	2.40	1419	2.00	MENSULA	CM-C-101	98	2600	TM-C-81,92	438
4.17	2.80	3.00	1513-C-33	3.00	1535	2.80	MENSULA	CM-C-102	39	3000	TM-C-83,94 Y 95	778
8.50	2.78	3.00	2230-C-10	3.00	2380	2.80	MENSULA	CM-C-103		3600	TM-C-83,94	778
8.00	3.554	3.00	1000-C-298	4.20	2280	1.188	MENSULA	CM-C-101	98	6000	CM-C-413,414 Y 418	
3.00	1.90	3.80	TM-C-274	2.22	1021	1.80	MURO	TM-C-187	49	1800	TM-C-86,90	313
4.47	2.00	4.00	TM-C-322	2.40	1534	2.00	MENSULA	TM-C-290		3800	TM-C-83,94,95	778
9.40	2.25	4.00	TM-C-368	2.70	2750	2.00	MENSULA	TM-C-277	74	6000	TM-C-328,327,328	2000
4.00	4.00	4.00	CM-C-318	4.89	2990	3.00	MENSULA	TM-C-181	98	3800	TM-C-83,94 Y 95	778
9.00	4.12	4.00	TM-C-264	4.17	5011	4.00		TM-C-265		10500	TM-C-3281,3282 Y 3283	3000
5.90	4.20	4.00	TM-C-288	9.00	3680	4.50	MENSULA	TM-C-267		6000	TM-C-3281,3282 Y 3283	3000
9.00	4.30	4.00	2205-C-899	8.00	8680	4.00	MENSULA	TM-C-261	220	10000	TM-C-3281,3282 Y 3283	3000
8.00	2.18	4.60	TM-C-242	3.00	1870	2.00	MURO	TM-C-218	114	3800	TM-C-83,94 Y 95	778
8.00	3.80	4.80	1000-C-271	4.20	3885	2.83	MENSULA	CM-C-103		5000 Ems	CM-C-413,414 Y 418	
6.80	4.40	4.80	2205-C-900	6.228	6400	4.18	MENSULA	TM-C-261	220	7000	TM-C-3281,3282 Y 3283	2000
8.80	1.70	8.00	2104-C-142	3.988	2745	4.70	MENSULA	2104-C-143	80	3800	TM-C-83,94 Y 95	778
8.80	4.80	8.00	TM-C-288	8.80	8438	4.80	MENSULA	TM-C-281	220	18000	TM-C-3284,286 Y 288	4287

ANEXO I

ALGUNAS COMPUERTAS RADIALES CON PANTALLA

DIMENSIONES EN PIES Y CAPACIDADES EN PIES CUBICOS POR SEGUNDO, DE UNIDADES DE MEDIDORES PARSHALL

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	CARGO LIMITE PARA TIPUS A Y B I IRRF	
												MAX.	MIN.
0.25	1.53	1.50	0.583	0.848	1.250	0.500	1.000	0.083	0.187	0.083	0.125	1.2	0.03
0.50	2.04	2.00	1.292	1.292	1.500	1.000	2.000	0.250	0.375	0.167	0.250	3.9	0.05
0.75	2.89	2.833	1.850	1.805	2.000	1.000	1.500	0.250	0.375	0.167	0.250	8.8	0.09
1.00	4.50	4.406	2.000	2.771	3.000	2.000	3.000	0.250	0.375	0.167	0.250	16.1	0.35
2.00	5.00	4.906	3.000	3.958	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	33.1	0.66
3.00	5.50	5.396	4.000	3.156	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	50.4	0.97
4.00	6.00	5.886	5.000	6.354	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	67.9	1.26
5.00	6.50	6.375	6.000	7.552	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	85.6	2.22
6.00	7.00	6.865	7.000	8.750	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	103.5	2.63
7.00	7.50	7.354	8.000	9.948	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	121.4	4.08
8.00	8.00	7.844	9.000	11.146	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	139.5	4.62
10.0	9.00	14.00	12.00	15.604	4.000	3.000	6.000	0.500	1.125	1.000	0.750	200	9.1
12.0	10.0	16.00	14.667	18.396	5.000	3.000	8.000	0.500	1.125	1.000	0.750	350	9.1
15.0	11.5	25.00	18.333	25.000	6.000	4.000	10.00	0.750	1.150	1.000	0.750	600	9.1
20.0	14.0	25.00	24.00	30.000	7.000	6.000	12.00	1.000	2.250	1.000	0.750	1000	10
25.0	16.5	25.00	29.333	35.000	7.000	6.000	13.00	1.000	2.250	1.000	0.750	1200	15
30.0	19.0	26.00	34.667	40.396	7.000	6.000	14.00	1.000	2.250	1.000	0.750	1500	15
40.0	24.0	27.00	45.333	50.792	7.000	6.000	16.00	1.000	2.250	1.000	0.750	2000	20
50.0	29.0	27.00	56.667	60.792	7.000	6.000	20.00	1.000	2.850	1.000	0.750	3000	25

ANEXO II

## ANEXO III

Tamaño del medidor	Descarga libre	Con sumersión
W menor de 0.30 m	S menor que 0.6	S de 0.60 a 0.95
W entre 0.30 y 2.50 m	S menor que 0.7	S de 0.7 a 0.95
W entre 2.50 y 15.00 m	S menor que 0.8	S de 0.8 a 0.95

Tabla I

$Q = mHa^n$	para descarga libre
$Q = mHa^n - C$	cuando trabaja con sumersión
$S = Hb / Ha$	grado de sumersión

Tabla II.- Fórmulas generales.

Para $W = 0.15$ m.
$C = \{ (0.0285 Ha^{2.22}) / (((Ha + 3.05) / 3.05) - 5)^{1.44} \} - (Ha - 0.056) / 87.94$
Para $W =$ entre 0.30 y 2.50
$C = 0.07457 \{ (3.281 Ha / ((1.8 / S)^{1.8} - 2.45))^{4.57 - 3.14S} + 0.093 S \} W^{0.815}$
Para $W$ entre 2.50 y 15.00
$C = 69.671 (S - 0.71)^{3.333} Ha^2 W$

Tabla III.- Expresiones para el cálculo de la corrección C en donde Ha y W están expresados en metros.

## ANEXO IV

W metros	m	n	W metros	m	n
0.15	0.3812	1.580	4.50	10.790	1.60
0.30	0.680	1.522	5.00	11.937	1.60
0.50	1.161	1.542	6.00	14.229	1.60
0.75	1.774	1.558	7.00	16.522	1.60
1.00	2.400	1.570	8.00	18.815	1.60
1.25	3.033	1.579	9.00	21.107	1.60
1.50	3.673	1.568	10.0	23.400	1.60
1.75	4.316	1.593	11.0	25.692	1.60
2.00	4.968	1.599	12.0	27.985	1.60
2.50	6.277	1.608	13.0	30.278	1.60
3.00	7.352	1.600	14.0	32.570	1.60
3.50	8.498	1.600	15.0	34.863	1.60
4.00	9.644	1.600			

VALORES DE  $m$  y  $n$  PARA LA FORMULA GENERAL EN UNIDADES METRICAS

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Apuntes personales de Irrigación.  
Ing. Ramón Cárdenas Arredondo.
- 2.- Diseño de Zonas de Riego.  
Publicaciones de la S.A.R.H.  
Album Especial de Grande Irrigación.
- 3.- Estructuras en zonas de riego (Sifones).  
Secretaría de Agricultura y Recursos  
Hidraulicos.
- 4.- Folleto de Recursos Hidraulicos.  
Vol. VII 1975 No. 2.  
S.A.R.H.
- 5.- Instrucciones generales para la localización y  
diseño de canales y sus estructuras  
menores.  
Secretaría de Agricultura y Recursos  
Hidraulicos.  
2da. Edición, México, 1961.
- 6.- Los Distritos de Riego, su administración,  
operación y conservación.  
Enrique Espinoza Vicente.  
Editorial C.E.C.S.A.
- 7.- Manual de Operación de Distritos de Riego.  
Enrique Palacios Vélez.  
Universidad Autónoma de Chapingo.  
Chapingo, Méx. 1981.
- 8.- Manual para Proyecto de Pequeñas Obras  
Hidráulicas para Riego y Abrevadero.  
Colegio de Postgraduados.  
Chapingo, Méx. 1977.  
S.A.R.H.
- 9.- Memorándum Técnico No. 263.

El Riego por Goteo.

D. Goldberg, M. Shmuëli, F. X. Urriza  
Salgado y Prudencio Mora Ramirez.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos.  
México, 1968.

10.- Principios y aplicaciones del Riego.

Orson W. Israelsen, Vaughn E. Hansen.  
Editorial Reverté, S.A.  
2da. Edición, 1975.

11.- Prontuario de Riego por Gravedad.

Dirección General De Obras Hidraulicas y  
de Ingeniería Agrícola para el Desarrollo  
Rural.  
S.A.R.H.

12.- Proyecto de zonas de Riego.

Dirección de Proyectos de Irrigación.  
Departamento de canales.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos.  
México, 1973.

13.- Riego.

Diseño y práctica.  
Bruce Withers / Stanley Vipond.  
Editorial Diana.  
5a. Edición.  
México, 1986.

14.- Riego y Drenaje.

Manuales para Educación Agropecuaria.  
Area de Suelos y Agua.  
Ir. Johan D. Berlijn.  
México, 1982.

15.- Sistemas de Riego.

W. H. Hogg.  
Editorial Acribia.  
Zaragoza, España, 1974.

16.- Tesis Profesional.

Seminario de Zonas de Riego. 1987.  
E.S.I.A.  
Instituto Politécnico Nacional, México.