



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGÓN ”

DISEÑO DE SISTEMAS DE CANALES  
PARA ZONAS DE RIEGO

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

FRANCISCO AMADOR CHIMALPOPOCA SANDOVAL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Edo. de Méx. 1993



## **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.

## P R O L O G O

La finalidad de la presente tesis, es la de distinguir que - el diseño de canales reales y útiles, los podemos realizar con -- las bases teóricas que se imparten en las aulas de clase. Siendo los parámetros de ésta tesis el puro y mero diseño hidráulico de los canales en un sistema de riego, mediante un análisis matemático como por un análisis realizado por medio de nomogramas.

Esta obra ésta encaminada al profesorado con el fin de que - hagan conciencia para considerar el tema \*ZONAS DE RIEGO\*, como una materia de apoyo dentro del plan de estudios, para obtener un panorama más amplio del Ingeniero Civil. Ya que para el estudio - de zonas de riego, tendremos que apoyarnos en materias existentes en el plan de estudios vigente, tales como: Hidráulica de canales Abastecimiento de agua potable, Topografía, Hidrología, Mecánica de suelos y Obras hidráulicas.

En Hidráulica de canales, obtenemos las bases suficientes, a demás de un criterio apropiado para el diseño de canales, estas - bases son teóricas y matemáticas.

En abastecimiento de agua potable, en este curso obtendremos las bases necesarias, para el diseño de una fuente de suministro (pozo profundo): este diseño es completo; pues abarca todos los - aspectos de dicha fuente de abastecimiento.

En Topografía, nos apoyaremos de esta materia para el trazado de los canales; alineación, alzado y pendientes. Hay que recordar que si no utilizamos la Topografía, posiblemente no funcionen los canales adecuadamente (contrapendiente).

En Hidrología, nos proporciona la forma de análisis indicado y más verídico, acerca de la precipitación que podría tener la zona de riego, las formas de análisis de esa precipitación.

El riego por "tendido" por ser poco útil a comparación de los otros métodos, es por eso que se describe en menor proporción. En la descripción del riego por bordes, lo único que se hace es citar las dimensiones más útiles de los bordes y el porque de tales dimensiones. En el riego por canales se proporciona una breve descripción de este tipo de riego, pues, estas bases se manejan en el capítulo quinto.

Para el capítulo tercero se citan los aspectos fundamentales para el diseño de los canales para una zona de riego, los cuales son tres: el tipo de suelo, los datos hidrológicos y los diferentes tipos de canales. Para el aspecto del suelo, hay que notar -- que es de vital importancia, ya que se tiene que saber sobre el tipo de suelo donde se construya el sistema de canales. Los datos hidrológicos relativamente son de menor importancia, aunque -- no dejan de ser valiosos porque se requiere de temperaturas, climas y precipitaciones para el cálculo de un gasto de diseño. Y -- por último los diferentes tipos de canales utilizables para el -- riego según su geometría; se estudian las secciones: triangular, rectangular, circular, trapecial y parabólica; explicando todas -- las secciones brevemente y fórmulas.

En el capítulo cuarto se mencionan las bases teóricas necesarias para el análisis matemático; y un diseño apropiado y útil de canales para emplearlos en el riego. Se describen brevemente los diferentes tipos de regímenes que existen; las fórmulas para canales abiertos y el salto hidráulico.

En el capítulo quinto se entra en materia de diseño de un -- sistema de canales, primeramente se hacen las consideraciones preliminares, posteriormente el análisis matemático de los canales. Para terminar se menciona el recubrimiento a utilizar en los canales diseñados, además de su mantenimiento.

Se hizo la aplicación de los nomogramas de Manning en el capítulo seis, para el análisis de canales tipo, gracias a la extensa experiencia con solo dos datos como son gasto y pendiente.

En mecánica de suelos, utilizaremos estos conocimientos para ver si es favorable el suelo donde se diseñará el sistema de canales para la zona de riego; además de donde ubicaremos la fuente de suministro - pozo profundo o presa-.

En obras hidráulicas tenemos la forma más viable para utilizar obras de protección para un sistema de canales; esto es, en cambios de dirección, para evitar la erosión (si es necesario).

Teniendo un panorama más amplio, el Ingeniero Civil podrá satisfacer las necesidades urbanas, además de las rurales (ya que - el progreso de México también está en el campo) sin rebasar su área de trabajo. Pues, hay que hacer notar que en su desempeño profesional tendrá el deber de alternar con el Ingeniero Agronomo, - entre otros profesionistas.

El contenido de éste trabajo está dividido en ocho capítulos, en los cuales se hace un análisis, para una buena y clara comprensión del diseño de sistemas de canales para el riego.

En el capítulo primero se describe brevemente lo concerniente al el riego, desde su definición, hasta la relación beneficio-costo; pasando por su historia en México, los materiales, los recursos y las condiciones de sitio. Hay que recordar que es tan solo la introducción de la tesis.

Para un entendimiento global de los diferentes métodos de riego, se utilizó el capítulo segundo, en éste se describe el riego por aspersión; en el que se deduce que es un método muy usado para zonas pequeñas, además de su economía adecuada para pequeños agricultores. El riego por goteo también se analizó en su gran mayoría; además de las diferencias entre los otros tipos de riego.

Con los datos anteriormente citados, podemos obtener las demás características hidráulicas, como son: gasto, velocidad, tirante, área y pendiente del canal en diseño. Para su mejor comprensión se elaborarán dos ejemplos.

En el capítulo séptimo, se citan las características de los canales tipo, mediante unos cuadros ilustrativos y se describe los canales revestidos.

Para finalizar, se hacen las conclusiones en el capítulo octavo; estas están encaminadas a la finalidad del presente trabajo y puntos de vista prácticos.

# I N D I C E

## C A P I T U L O 1

	INTRODUCCION	Páginas
1.1	Definición del riego	1
1.2	Breve historia del riego	1
1.3	Condiciones de sitio	3
1.4	Materiales y métodos de construcción	4
1.5	Recursos	
1.5.1	Estudios del suelo	5
1.5.2	Recursos hidráulicos	5
1.5.3	Investigaciones climatológicas	6
1.6	Relación beneficio-costos	7
1.7	Cálculos de los ciclos de riego	8

## C A P I T U L O 2

### ANALISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS METODOS DE RIEGO

2.1	Riego por aspersión	
2.1.1	Rociadores giratorios	11
2.1.2	Características de los rociadores	11
2.1.3	Tamaño de las gotas	13
2.1.4	Velocidad de giro	13
2.1.5	Evaporación	13
2.1.6	Líneas aspersoras	14
2.1.6	Sistemas de aspersión	14
2.2	Riego por goteo o exudación	
2.2.1	Líneas laterales	19

2.2.2	Líneas distribuidoras	19
2.2.3	Línea principal	19
2.2.4	Cabezal de control	20
2.2.5	Los beneficios del riego por goteo	
2.2.5.1	Beneficio agronómicos	22
2.2.5.2	Beneficios de manejo y <u>bene</u> ficios económicos	22
2.2.6	Problemas potenciales del riego por goteo	23
2.3	Riego por desbordamiento natural o " tendido "	
2.3.1	Regaderas	26
2.3.2	Tomas	27
2.4	Riego por bordes	
2.4.1	Dimensiones de los bordes	28
2.5	Riego por canales	
2.5.1	Escurrimiento artificial	31
2.5.2	Escurrimiento variado	32
2.5.3	Transiciones	33
2.5.4	Instrucciones generales para la <u>loca</u> lización y diseño de canales	34

### C A P I T U L O 3

#### ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CANALES

3.1	Tipo de suelo	
3.1.1	Humedad	39
3.1.2	Textura de los suelos minerales	40
3.1.3	Estructura de los suelos	42
3.2	Datos hidrológicos	
3.2.1	Ciclo hidrológico	43

3.2.2	Cuenca pluvial	44
3.2.3	Precipitación	
3.2.3.1	Aparatos de medición	45
3.2.3.2	Cálculo de la precipitación promedio anual	46
3.2.3.3	Variaciones de la precipitación	51
3.2.4	Evapotranspiración	51
3.2.5	Infiltración	53
3.2.6	Cálculo del volúmen del escurrimiento	
3.2.6.1	Coefficiente de escurrimiento	55
3.3	Tipos de canales	
3.3.1	Geometría del canal	58
3.3.2	Elementos geométricos de una sección	60
3.3.3	Secciones de canales aplicables al riego	
3.3.3.1	Sección rectangular	62
3.3.3.2	Sección trapecial	63
3.3.3.3	Sección triangular	64
3.3.3.4	Sección parabólica	65
3.3.3.5	Sección circular	66

## C A P I T U L O 4

### CIRCULACION DEL AGUA EN CANALES

4.1	Tipos de régimen	
4.1.1	Régimen continuo o permanente	69
4.1.2	Régimen uniforme	69
4.1.3	Régimen acelerado y retardado	70
4.1.4	Régimen ondulatorio y creciente	70
4.2	Fórmulas para canales abiertos	
4.2.1	Fórmula de Chezy	72
4.2.1.1	Fórmula del coeficiente "C" de Kutter	72

4.2.2	Fórmula del coeficiente "C" de Manning	72
4.2.2.1	Aplicación de la fórmula de Manning	74
4.2.3	Fórmula de Bazin	75
4.2.4	Fórmula de Kennedy	
4.2.4.1	Velocidades medias máximas que NO erosionan	81
4.3	Capacidad de canales de riego	82
4.4	Salto hidráulico	
4.4.1	Longitud del salto hidráulico	84
4.4.2	Tipos de salto hidráulico	85
4.4.3	Salto hidráulico en canales rectangulares	87

## C A P I T U L O 5

### DISEÑO DE SISTEMAS DE CANALES

5.1	Consideraciones preliminares	
5.1.1	Trazado de canales	89
5.1.2	Alzado de canales	96
5.1.3	Consideraciones agrícolas	97
5.1.4	Descarga del canal y derechos de agua	98
5.2	Diseño de canales	
5.2.1	Taludes laterales	102
5.2.2	Franqueo superior y capacidad de escape	103
5.2.3	Aspereza del canal	105
5.3	Recubrimientos de canales	136
5.4	Mantenimiento	137

## C A P I T U L O 6

### CANALES TIPO

6.1	Nomogramas para el cálculo de canales tipo	139
6.2	Secciones de máxima eficiencia	156
6.3	Secciones tipo para canales laterales	160
6.3.1	Factor de corrección	163

## C A P I T U L O 7

### CARACTERISTICAS DE CANALES TIPO

7.1	Canales tipo	166
7.2	Canales revestidos	173
7.3	Canales revestidos con hierba	179
7.3.1	Canales revestidos con pasto	182

## C A P I T U L O 8

### CONCLUSIONES

8.1	Conclusiones generales	186
-----	------------------------	-----

## 1.1 Definición del riego

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

## 1.2 Breve historia del riego

Para un mejor entendimiento y tener un amplio panorama hacer ca de lo que es el riego, citaré la historia del riego brévemente ademas de otros factores importantes a considerar en el riego.

En América Latina las obras de riego y drenaje son comparati vamente nuevas y han sido ejecutadas principalmente por el esfuer zo individual y por la empresa privada con el apoyo del Estado, - acentuándose esta situación cada vez más en los últimos años en muchos países se ha introducido la tecnología de riego más moder na, que coexiste en gran cantidad de casos con técnicas muy primi tivas desarrolladas por los indígenas antes de la colonización es pañola o introducidas por los conquistadores hace más de 400 años de esto.

En general se requiere en toda América Latina una recolec--- ción y reordenamiento de elementos básicos necesarios para desa--- rrollar en forma racional el riego y el drenaje: datos hidrológi--- cos, características hidromécánicas de los suelos, intensifica--- ción y modernización de la tecnología de aplicación del agua por los agricultores en sus predios y reorganización de la administra--- ción del agua por el Estado y los usuarios. Problemas con la falta de fondos, el deficiente manejo de la tierra y la baja rentabi lidad de la agricultura han limitado el progreso del riego y el - drenaje en nuestro país.

Los países con superficies regadas de mayor importancia en - América Latina son: México (4.48 millones de hectáreas), Argenti--- na (1.86 millones de hectáreas), Chile (1.16 millones de hectárea--- as), Perú (1.12 millones de hectáreas), Brasil (950 000 hectárea--- as) y Venezuela (314 000 hectáreas).

## CAPITULO 1 INTRODUCCION

Por varias causas económicas y técnicas los agricultores no mejoraron sus sistemas y prácticas de riego en aquellas áreas en que se reguló el riego con algún embalse o canal matriz; tampoco se han desarrollado prácticas de riego adecuadas en aquellas áreas incorporadas al riego. Una de las principales causas detectadas de este deficiente uso del agua o falta de tecnología es el desconocimiento por parte de los agricultores de alternativas diferentes y métodos de riego novedosos, más adaptados a sus condiciones específicas. Este desconocimiento proviene en gran medida del reducido número de profesionales que se dedican a la extensión en riego a nivel estatal, universitario o privado.

El reducido interés por aplicar una tecnología de riego adecuada, tanto por parte de los agricultores como de los profesionales relacionados con la agricultura, se debe a que no existe conciencia entre éstos de que el riego tiene una tecnología altamente rentable.

A diferencia de otras tecnologías las inversiones en riego tienen la ventaja de poder ser escalonadas y progresivas en el tiempo; por pequeña que sea la tecnología de riego incorporada en la producción siempre habrá un aumento proporcional de rendimiento.

Los principales problemas que pueden surgir de un riego deficiente son:

1. Pérdidas de agua, esto es, una baja eficiencia en el aprovechamiento del recurso. Pueden deberse a dos procesos fundamentales: pérdidas por escurrimiento superficial al final del área que se riega, o las pérdidas pueden corresponder también al proceso de percolación profunda bajo las raíces de las plantas.
2. Lavado de nutrimentos bajo la zona donde se desarrollan raíces, derivado principalmente de problemas de percolación profunda.
3. Bajos rendimientos de los cultivos, por falta o exceso de agua en diferentes lugares de un mismo paño o unidad de riego.

### 1.3 Condiciones de sitio

La exploración del sitio es el estudio de las condiciones subsuperficiales que afectan al diseño y la construcción de una estructura propuesta. Debemos tomar muestras de suelos, rocas y aguas subterráneas, por medio de orificios perforados y pozos - de prueba. Teniendo como características las siguientes:

- a) La compilación de un cuadro tridimensional de la disposición de los diversos estratos.
- b) Análisis de laboratorio de las muestra de suelo y rocas, para determinar sus características de resistencia y consolidación.
- c) Evaluación de las condiciones de las aguas subterráneas.

No se puede exagerar la importancia que tiene la exploración del sitio. El costo de una investigación a fondo es solamente una fracción de las cantidades en juego, si se presentan condiciones imprevistas del sitio durante la construcción o si se revelan mediante un desplome de la estructura terminada.

La investigación general de suelos tiene como fin evaluar el potencial agrícola de un terreno. En ese caso, el interés se centra en la estructura, la textura y la fertilidad de la superficie del suelo. Por su parte, las investigaciones para las estructuras se concentran en las propiedades mecánicas de los subsuelos al nivel de las cimentaciones y las propiedades de corrosión de las aguas subterráneas.

Rara vez resulta necesario ubicar las estructuras menores de manera precisa, en planos preliminares, puesto que la carga que ejercen sobre el terreno suele ser baja. NO obstante, el tipo de cimentación que se necesita para una estructura importante se relaciona directamente con la resistencia de los suelos subyacentes, y va de las zapatas simples a los pilotes profundos, con una variedad muy amplia de costos diferentes. La exploración detallada del sitio puede requerirse incluso en -- las primeras etapas del diseño preliminar.

#### 1.4 Materiales y métodos de construcción

Antes de completar el diseño de ingeniería, debe iniciarse una búsqueda de fuentes de acero, cemento y otros materiales. Esto deberá incluir la verificación de las limitaciones de importación y los retrasos en tránsito.

Es conveniente que el diseño se base en la resistencia -- comprobada y otras propiedades de materiales que se puedan obtener con facilidad.

El estudio de viabilidad deberá incluir un examen de la - industria local de la construcción, con anotaciones sobre la - disponibilidad de mano de obra competente, contratistas experimentados y plantas apropiadas. No basta saber que una estructura se puede construir. Debe demostrarse que se puede erigir en el lugar previsto, bajo las condiciones que prevalecen.

## 1.5 Recursos: Tierra, Agua y Clima

Existen cuatro características básicas de las tierras apropiadas para la agricultura de regadío:

1. Terrenos que puedan regarse.
2. Suelos potencialmente fértiles.
3. Un clima en el que puedan medrar los cultivos.
4. Una fuente segura de agua de calidad constante.

### 1.5.1. Estudio del suelo

La finalidad de una investigación de suelos es definir los tipos de suelos, las características de drenaje y el potencial agrícola de las tierras situadas en la zona del proyecto. Los tipos de suelos se clasifican de acuerdo con características físicas y químicas, tales como el tamaño de las partículas y el valor de PH.

Las características de drenaje se determinan a partir de la estructura del suelo, la permeabilidad y la disposición vertical y horizontal de los diversos tipos de suelos.

Las investigaciones del suelo pueden basarse en fotografías aéreas que se pueden interpretar, comparando los patrones definidos de las fotografías, producidos en gran parte por la vegetación, con características de los suelos, determinadas por medio de muestras obtenidas en pozos de prueba y orificios perforados para sacar núcleos.

### 1.5.2. Recursos hidráulicos

Se efectúa una investigación hidrológica para evaluar los recursos hidráulicos disponibles para el proyecto propuestos -- para ello se requieren registros a largo plazo de corrientes -- fluviales y calidad de las aguas.

En muchos casos, esos registros no existen y los datos históricos tienen que estimarse a partir de informaciones relacionadas, tales como los registros de precipitaciones pluviales -- para la captación o registros de corrientes de ríos cercanos.

En lo que se refiere a las existencias freáticas, el rendimiento a corto plazo se evalúa, perforando y probando pozos; el rendimiento a largo plazo se estima mediante un estudio detallado de los mantos acuosos, incluyendo su geología.

### 1.5.3. Investigaciones climatológicas

El clima de la zona de un proyecto se considera como uno de sus recursos. El servicio metereológico local puede proporcionar datos climatológicos a largo plazo. Esto incluye mediciones diarias o, incluso continuas, de las precipitaciones -- pluviales, las temperaturas, la humedad, las horas de sol y la evaporación.

Las necesidades de agua para los cultivos suelen plantear un problema. Se pueden estimar a partir de los datos climatológicos, a condición que se disponga de registros adecuados y -- que se haya estudiado el comportamiento de cultivos específicos en la zona dada.

### 1.6 Relación beneficio-costo

Los costos utilizados en los estudios de beneficios y costos no son necesariamente los mismos que se utilizaron para estimar los costos de la construcción.

Se pueden incluir los costos de las carreteras y otras --- obras necesarias para el funcionamiento adecuado del proyecto. Las tasas de interés sobre el capital para la construcción y -- las tarifas de sueldos para la mano de obra pueden ser artifi-- ciales, como resultado de la intervención del gobierno.

Los beneficios del proyecto, en su conjunto, se basan en - los precios de los artículos agrícolas, aplicados a la produc-- ción agrícola estimada. El valor bruto actual de la producción se deduce de los ingresos brutos futuros, para obtener los beneficios brutos. A continuación, se restan de los beneficios brutos los mayores costos de producción, incluyendo los gastos de funcionamiento y mantenimiento, para obtener los beneficios netos.

### 1.7 Cálculos de los ciclos de riego

Básicamente, el problema implica la estimación de la profundidad de agua disponible (mm) en la zona de las raíces de un cultivo, y la división de esta cifra por el índice de uso de agua en mm/día. La longitud de tiempo resultante entre riegos (días) debe multiplicarse por una fracción que indica la proporción de agua disponible y consumible, antes de que la succión de la humedad del suelo sea demasiado alta para poder fomentar un crecimiento adecuado.

En los suelos arcillosos que se dilatan, es difícil que el agua se infiltre, a menos que la masa del suelo esté en condiciones de agrietamiento, que no se producen en tanto no se agote la mayor parte del agua disponible..

Otro aspecto importante es el de las profundidades de enraizamiento que no son constantes durante toda la temporada de crecimiento, con excepción, posiblemente, de los cultivos perennes, tales como los pastos y la caña de azúcar en forma de retoños.

Es necesario tener en cuenta que las raíces no penetran en la tierra seca y, por ende, se debe aplicar una cantidad suficiente de agua para humedecer el suelo situado por debajo de la zona existente de raíces, en el período de su crecimiento.

**CAPITULO 2 ANALISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS  
METODOS DE RIEGO**

Para la selección del método de riego más conveniente para una situación dada es importante conseguir los máximos beneficios, considerando el aumento de la producción de los cultivos. Si se emplea un método inadecuado se pueden producir fallas en el riego y posiblemente causar serios daños al suelo.

El abuso del agua de riego puede ocasionar erosión del suelo, encharcamiento, acumulación de salinidad y un gasto inútil del capital invertido en la instalación del sistema de riego, - cada sistema de riego es más o menos idóneo según ciertas circunstancias y características del terreno. El conocimiento a fondo del terreno, la topografía, el abastecimiento del agua y de otros factores que puedan influir en el riego, contribuye a seleccionar el método apropiado.

Para que un sistema de riego funcione eficazmente, en la selección y diseño debemos considerar los siguientes aspectos:

1. los beneficios del riego deben incrementar las entradas provenientes de los rubros regados para que se cubran todos los costos de compra, instalación, operación y mantenimiento -- del sistema de riego.
2. La operación del sistema de riego seleccionado debe llevar implícito un manejo del agua de riego que no cause problemas de gasto excesivo de agua, erosión o lavado de nutrientes.
3. Debe asegurarse la disponibilidad de agua del predio, en -- cantidad y calidad así como distribución en el tiempo.
4. Debe tomarse en cuenta las preferencias del agricultor en -- cuanto a ocupación de mano de obra (horas por día de riego, días por semana), inversión de capital o tipo de cultivos considerados en la rotación. Y
5. Aunque se seleccione el riego para una unidad dentro del -- predio, debe tomarse en consideración las diferentes unidades adyacentes, para no perjudicar su disponibilidad de agua o para su eventual incorporación a los métodos de riego mejorados.

## 2.1 RIEGO POR ASPERSION

El sistema de riego por aspersión es relativamente nuevo, - su desarrollo acelerado empezó después de la segunda guerra mundial, cuando se abarató el aluminio, elemento constituyente del sistema de conducción del agua en cañerías.

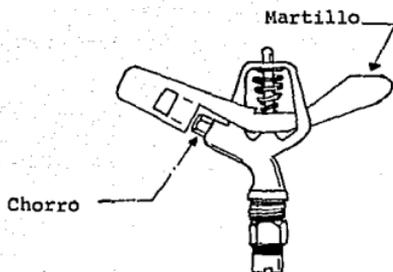
Un sistema de riego por aspersión consiste básicamente en - una fuente de agua, una unidad de bombeo, un sistema de tuberías de conducción y un sistema mediante el que se lanza el agua al - aire, para que caiga en forma de aspersión. Puede complicarse, - incluyendo depósitos para equilibrar la oferta y la demanda y -- por medio de una red de canales de conducción primaria, si el -- sistema es a gran escala.

### 2.1.1. Rociadores giratorios

Las salidas más comunes de aspersión de terrenos son las de rociadores giratorios. Consisten en uno o dos boquereles inclinados, montados en un soporte que se hace girar sobre un eje vertical, mediante la acción de una válvula de martillo. Por lo común el rociador va montado en un elevador de 25 mm de diámetro, fijo a la tubería del terreno que lo alimenta.

Al funcionar, un chorro empuja la válvula y la hace a un lado. La válvula está restringida y regresa, debido a un resorte - ligero. El regreso termina en un tope del cuerpo, que gira en un pequeño ángulo, debido al impulso. Luego la válvula vuelve a interseptar el chorro y se repite todo el ciclo.

Si los boquereles se diseñan y fabrican con cuidado y si el rociador completo se mantiene en un buen estado de funcionamiento y con la presión adecuada, se puede obtener una uniformidad de aplicación de más del 80%.



Rociador de boquerel simple y presión mediana

### 2.1.2 Características de los rociadores

Patrón de mojado y velocidad del viento, considerando el patrón vertical básico de mojado de un rociador de boquerel simple es aproximadamente cónico. Depende de la inclinación, el diámetro y la presión de funcionamiento del chorro de agua. Por lo común, los boquereles se pueden soltar, lo que permite escoger sobre el terreno los diámetros de los orificios.

Los rociadores de dos boquereles tienen mayor flexibilidad para el ajuste del patrón de mojado, para la máxima uniformidad de mojado se utiliza un espaciamiento triangular, pero es más práctico el patrón rectangular. El viento distorsiona los patrones circulares planeados de mojado, para formar una elipse irregular, pueden dejarse márgenes para ello, disminuyendo el espaciamiento perpendicular a la dirección del viento.

Un rociador gigante o pistola de lluvias de alta presión cubre una zona mucho mayor que un aspersor del tipo de presión mediana. Casi siempre resulta menos costoso por unidad de superficie regada y de manejo más sencillo. Pero su empleo tiene limitaciones estrictas. Puesto que los tamaños de las gotas tienden a ser grandes y los índices de precipitación elevados, la superficie del suelo debe ser estructuralmente estable.

### 2.1.3. Tamaños de las gotas

El tamaño de las gotas tiene una gran importancia para los cultivos, el suelo y la forma del chorro de agua. Las gotas de más de 4 mm de diámetro tienden a dañar las plantas delicadas y deslavan los suelos con fracciones importantes de arcilla. Las gotas de menos de 1 mm de diámetro se desaceleran rápidamente el aire en calma y se desvían con facilidad, con vientos suaves.

Los rociadores con presiones moderadas y bajas, que se manejan a presiones correctas, producen principalmente tamaños de gotas que se encuentran hacia el centro de la gama de 1 a 4 mm de diámetro. Los diámetros de gotas de la pistola de lluvia tienden a ser muy variados. Con una gran proporción de tamaños de 4 mm de diámetro o más.

### 2.1.4. Velocidad de giro

A velocidades de rotación muy bajas, un punto del suelo experimenta un largo período de precipitación, seguido por un período todavía más prolongado de secado. Se ha descubierto que este tratamiento es perjudicial en los suelos más finos, provocando una ruptura de la estructura superficial y se sostiene que el efecto del largo período en seco es perjudicial para las plantas de cultivo, cuando el contenido de sales del agua sea considerable.

Con las grandes velocidades de rotación, disminuye la uniformidad del riego. Se ha determinado que es satisfactorio una velocidad de aproximadamente 2.5 m/seg. en el perímetro de aspersión.

### 2.1.5 Evaporación

En climas templados y húmedos, las pérdidas por evaporación de una aspersión son las mismas que las de las corrientes de agua en el riego de superficie; sin embargo, en los climas cálidos y secos, las pérdidas por evaporación pueden ser excesivas, durante los días estivales y, en ese caso, solo será conveniente el riego nocturno.

En condiciones áridas menos extremadas, los índices elevados de precipitación y los rociadores que producen gotas de gran tamaño permiten resolver el problema, cuando las plantas de cultivo y los suelos pueden tolerar la caída de gotas grandes.

#### 2.1.6. Líneas aspersoras

Existen varias formas de líneas de aspersión de presiones moderadas y bajas. Uno de esos tipos es una tubería de plástico con orificios de aspersión en su parte inferior, a intervalos regulares. Se pueden enrollar en un tambor 25 m. de este tipo de tubería para facilitar el transporte y el tendido sobre el terreno. Se utiliza con una tubería central del terreno.

Una línea de aspersión más compleja consiste en una tubería de agua de aproximadamente 300 mm. de diámetro, perforada en un cuadrante a todo lo largo y montada en caballetes ligeros. En funcionamiento se hace girar en torno a su eje, hacia adelante y atrás, en ángulo de 90° por medio de un motor hidráulico situado en uno de sus extremos.

#### 2.1.7. Sistemas de aspersión

a) Portátiles.- la forma más simple de sistemas de rociado se compone de una bomba centrífuga móvil, impulsada a veces por la energía de un tractor, trozos de tuberías de 75 mm. a 150 mm. de longitud y rociadores de presión mediana, montados en elevadores las tuberías sobre el terreno (laterales), para alimentación de los rociadores, tienen salidas de elevadores con un espaciamiento de 7.5 a 12 metros. En funcionamiento, se coloca la bomba junto a un arrollo o estanque, se hace correr un tubo principal de la bomba hacia el terreno que se va a regar, se tiende por el centro del terreno una tubería central con válvulas de salida espaciadas a distancias de 10 a 20 m. y se colocan dos o más ramales de tuberías laterales, con rociadores, para rociar franjas del terreno.

a) Portátiles (continua). por lo común, se ponen ramificaciones laterales a cada lado de la tubería central, en extremos opuestos del terreno. Para que el funcionamiento sea eficiente, los ramales laterales se sitúan nivelados o con un ligero gradiente de descenso, calculado para contrarrestar las pérdidas de fricción del flujo en las tuberías. Las pérdidas de presión a todo lo largo de los ramales laterales deben limitarse o se tendrá muy poca uniformidad, con mala alimentación de los rociadores de los extremos y una presión excesiva en los iniciales..

b) Semipermanentes.- A medida que los sistemas de aspersión se van haciendo mayores, por encima de las instalaciones simples sobre terrenos, las características económicas del tendido permanente de tuberías centrales enterradas, en lugar de las portátiles, se van haciendo cada vez más convenientes, incluso para el riego de complemento. Para una capacidad dada, las tuberías enterradas de plástico o asbesto-cemento pueden resultar más baratas por unidad de longitud que las tuberías portátiles de aluminio.

Se protegen contra los daños causados por las máquinas agrícolas de paso y pueden suministrar agua para los servicios domésticos y el ganado. Se necesitan tuberías de mayor longitud; pero se reducen los costos de funcionamiento. De manera típica, el sistema semipermanente incluye una unidad fija de bombeo y tuberías centrales enterradas con tomas espaciadas a lo largo de los linderos de cada terreno para permitir el ajuste de las tuberías principales o los ramales laterales de las parcelas.

c) **Sistemas permanentes (patrón sólido).** En las condiciones particulares de mano de obra escasa o cara, suelos arenosos de baja capacidad de retención de la humedad, índices elevados de evaporación y cultivos de gran valor, puede resultar económico hacer que todo el sistema completo sea permanente, reduciendo a un mínimo las necesidades de mano de obra. En una disposición alternativa, para huertas, se utilizan ramales laterales enterrados con elevadores retirables de acoplamiento rápido en cada segunda o tercera toma. Solo los elevadores tienen que retirarse para cada establecimiento y las tomas se cierran al sacar los tubos elevadores.

El subriego artificial incluye el empleo de un sistema de tubos enterrados subterráneos perforados, por lo que se hace pasar agua a presión, para que se infiltre en el suelo. Este método solo funcionará adecuadamente si el suelo tiene una alta permeabilidad horizontal y baja en sentido vertical.

Los sistemas de este tipo requieren tuberías con un espacio miento de solo 450 mm. y profundidades de 500 mm. son costosos y pueden sufrir daños debidos a las labores profundas de cultivo.

En funcionamiento, requieren el mantenimiento de la presión por medio del bombeo o la gravedad, desde un depósito elevado.

## 2.2 Riego por goteo o exudación

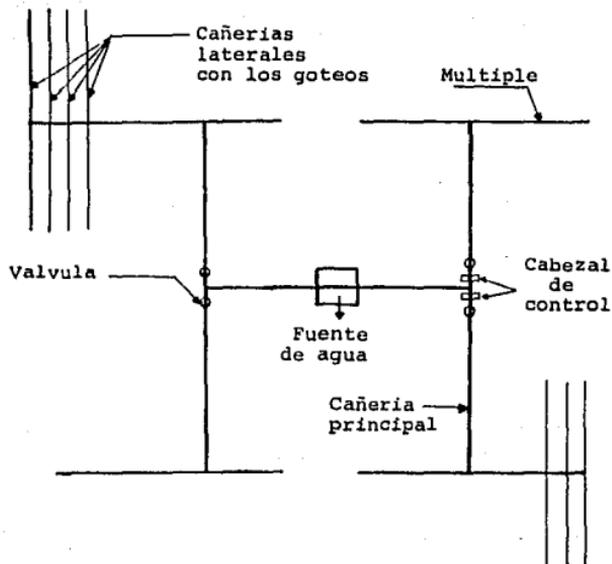
El riego por goteo es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado del cultivo. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada.

El agua de riego es transportada através de una extensa red de cañerías o tuberías plásticas hasta cada planta; el aparato que emite el agua en el suelo se le llama emisor o gotero. Los emisores disipan la presión que existe en la red de cañerías por medio de un orificio de diámetro pequeño, o por medio de un largo camino de recorrido; de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos litros por hora por cada gotero.

Después de dejar el emisor, el agua es distribuida gracias a su movimiento normal a través de todo el perfil del suelo, de esta manera el volumen del suelo que puede ser mojado por cada punto emisor está limitado por las restricciones del movimiento vertical y horizontal del agua en el perfil del suelo.

### Componentes del riego por goteo

La red lateral o líneas emisoras habitualmente está colocada en el suelo; existen también sistemas de riego por goteo subsuperficiales o enterrados, aunque consideraciones técnicas y económicas favorecen la instalación superficial de las cañerías. Los sistemas superficiales son usualmente fijos, por lo cual se les llama también sólidos. Para una mejor comprensión se muestra a continuación un esquema de un sistema fijo de riego por goteo.



Plano de un sistema de riego por goteo con la fuente de agua en el centro del campo.

Un sistema sólido implica que la línea lateral, con todos sus emisores, no se mueve entre riegos, si no que se mantiene en forma permanente a lo largo de toda la temporada de cultivo sobre el suelo en una posición fija. Sin embargo es posible agregar o sacar líneas laterales, según el deseo de mojar mayor o menor el suelo.

Existen muchos métodos para controlar la operación de un sistema de riego por goteo; varían desde una operación completamente manual a una operación completamente automática.

Los métodos básicos para proporcionar un sistema de control son el control del tiempo, el control del volúman y el control de retroinformación. Un sistema de control de tiempo permite que el agua circule por el sistema o no circule, en lapsos de tiempo determinados; un sistema de control de volúmen permite que el -- agua circule o deje de circular de acuerdo con el volúmen de --- agua que ha sido entregado por el sistema; un sistema de FEEDBACK o de retroinformación permite que el agua circule por el sistema de acuerdo con aparatos sensitivos de humedad del suelo colocados en la zona regada, como tensiómetros, bloques de resistencia eléctrica u otros indicadores.

Un sistema típico de riego por goteo incluye los siguientes componentes, además del emisor:

#### 2.2.1. Línea lateral

Generalmente es de 12 a 32 mm. de diámetro y construida de PVC flexible o en una cañería de polietileno. No se usan líneas laterales de PVC rígido, salvo cuando son enterradas. Los emisores se ubican en espaciamientos predeterminados sobre la línea lateral y están conectados a los laterales por distintas formas, existen otros tipos de líneas laterales que combinan la función de línea y emisor al mismo tiempo; entre ellos se incluye las cañerías con pequeñas perforaciones.

#### 2.2.2. Líneas distribuidoras

Permiten conectar líneas laterales a ambos lados; pueden -- ser flexibles si están ubicadas sobre la superficie o rígidas si están enterradas.

#### 2.2.3. Línea principal

Conecta las líneas distribuidoras a la fuente de agua. Puede estar construida de cualquiera de los siguientes materiales: cañería de polietileno, cañería rígida de PVC, cañería de acero inoxidable o cañería de asbesto-cemento; cualquiera que sea el - material usado, debe ser corrosivo para prevenir problemas de -- contaminación desde dentro del sistema de cañerías.

#### 2.2.4. Cabezal de control

Se ubica generalmente al lado de la fuente de agua. Está -- constituida por los instrumentos de medición del agua: válvulas, inyectoros, controles automáticos, controles de presión y fil--tros necesarios para facilitar la operación del riego por goteo.

Generalmente se colocan a la entrada de las líneas laterales controles adicionales de presión y filtros secundarios; se trata de una precaución de seguridad, diseñada para remover materiales extraños del agua y para proveer controles adicionales de presión dentro del sistema. Un cabezal de control típico contiene regula--dores de presión y reguladores de flujo, un separador de vértice para la arena, un equipo automático de filtrado y un sistema de inyección de fertilizantes.

Los filtros remueven los sólidos suspendidos en el agua, pero no son capaces de realizar una filtración química; la filtra--ción de sólidos se logra a través de columnas de arena, a través de mallas y a través de separadores más finos. Cuando se presen--ta grandes volúmenes de sólidos de baja densidad, lo ideal es --usar columnas de areniscas; las pequeñas partículas, como por --ejemplo arena muy fina, requieren separadores de vértice o ma--llas con perforaciones muy pequeñas.

Los filtros necesitan limpieza cada cierto tiempo, a menos que se utilice mecanismos automáticos de limpieza o lavado. Las válvulas de presión y los manómetros de presión se usan para me--dir diferencias de presión a lo largo del filtro; el conocimien--to de estas diferencias de presión es importante para estimar el grado de sellamiento o pérdidas de capacidad del filtro y la ne--cesidad de limpieza.

Las soluciones de fertilizantes pueden ser inyectadas en el sistema por pequeñas bombas; son vertidas dentro de la bomba misma o colocadas en un tanque de presión y drenadas dentro del sistema por una diferencial de presión a lo largo de un orificio o venturímetro.

### 2.2.5. Los beneficios del riego por goteo

El riego por goteo ofrece beneficios potenciales en el uso eficiente del agua, en la respuesta de las plantas, en el manejo del cultivo y en los rendimientos agronómicos de los cultivos.

Estos beneficios no son exclusivos del sistema de riego por goteo, ya que otros sistemas de riego pueden producir beneficios similares; sin embargo la combinación de ventajas analizadas a continuación es única para el riego por goteo.

#### a) Uso eficiente del agua de riego

En el riego por goteo las pérdidas directas por evaporación se llevan a un mínimo, no existe movimiento de gotas de agua a través del aire, no hay un mojado del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo fuera de aquella mojada al lado del gotero o emisor; además, el riego por goteo limita el crecimiento de la maleza y, por lo tanto, el uso - consumo no beneficioso del agua por parte de estas malezas.

Un sistema de riego por goteo bien diseñado y bien mojado no produce pérdidas por escurrimiento superficial.

#### b) Respuesta de las plantas

Las respuestas de las plantas sometidas al riego por goteo bien diseñado y bien manejado produce pérdidas por escurrimiento superficial mínimas o nulas. Algunas veces se obtienen mayores rendimientos de los cultivos y una mejor calidad y uniformidad del rendimiento. Esto ha sido demostrado en muchas instalaciones agrícolas; esa respuesta es especialmente válida en hortalizas y en huerto frutales.

El ambiente de las raíces tiene una buena aireación del suelo lo efectiva, una provisión de suficientes nutrimento y fertilizantes inyectados en el agua y una constante baja tensión del agua del suelo.

Al minimizar la humedad de la superficie del suelo y el follaje de la planta, el riego por goteo reduce la posibilidad de ataque de plagas y el desarrollo de enfermedades.

En zonas áridas los huertos frutales regados por goteo se han mantenido prácticamente libres de malezas, ya que éstas no crecen en la superficie del suelo que se mantiene seca entre las hileras, en las áreas húmedas y sombreadas, alrededor de los árboles y cerca de los emisores, las malezas crecen en forma retardada.

#### 2.2.5.1. Beneficios agronómicos

Es posible obtener varios beneficios al mojar solamente una parte del suelo y mantener otra parte de la superficie seca por medio del riego por goteo. El riego por goteo reduce la necesidad de cultivar, o sea de escarbar el suelo, ya que hay mucho menos malezas, hay menos encostramiento del suelo y pocos problemas de compactación en comparación con otros sistemas de riego.

La fertilización es otro beneficio agronómico que no es necesariamente exclusivo del riego por goteo; puede formar parte del sistema de riego por la posibilidad de distribuir el fertilizante y llevarlo hasta la zona de raíces en forma controlada. La inyección de fertilizantes es eficiente en términos de mano de obra y cantidad de fertilizantes usados.

#### 2.2.5.2. Beneficios de manejo y beneficios económicos

Para regar cultivos ampliamente espaciados y plantados en hileras, como por ejemplo árboles frutales, el costo de un sistema de riego por goteo diseñado correctamente es bajo en relación con cualquier otro sistema de riego permanente.

el riego por goteo es ideal para regar cultivos bajo cubierta plástica, porque las líneas de emisores pueden ser colocadas bajo las cubiertas. Además, la operación del sistema de riego no está afectada por el viento, lo cual es una ventaja muy importante sobre el sistema de riego por aspersión.

El sistema de riego por goteo puede ser adaptado para terrenos con pendientes quebradas o pendientes no uniformes más que cualquier otro sistema de riego. El riego por goteo requiere, -- además, presiones relativamente bajas y descargas constantes y -- su eficiencia de aplicación es generalmente alta; esto reduce el tamaño de cañerías y el uso de energía.

#### 2.2.6. Problemas potenciales del riego por goteo

El riego por goteo está sujeto a tres problemas potenciales importantes: la taponadura de los emisores, problemas de salinidad alrededor de las plantas y una mala distribución de la humedad en el suelo.

##### a) Sensibilidad al tapamiento de los goteros

El tapamiento del paso del agua en los emisores es el problema más serio que debe considerarse en este tipo de riego. Las causas más comunes de tapamiento son las partículas de arena y los crecimientos orgánicos.

##### b) Desarrollo de condiciones de salinidad del suelo

Todas las aguas de riego contienen algunas sales disueltas; como la planta absorbe solamente el agua, una gran parte de la sal es dejada en el suelo. Lo mismo ocurre en el proceso de la evaporación.

Estas sales son generalmente empujadas hacia los bordes de la masa de suelo humedecida durante la estación de crecimiento. Por medio de una aplicación mayor de agua que la cantidad consumida por las plantas, la mayor parte de las sales puede ser empujada o lavada fuera de las zonas de raíces, sin embargo es imposible evitar que se produzca algunas áreas donde se acumule la sal.

##### c) Distribución de humedad

Este sistema normalmente humedece solo una parte del volumen de suelo necesario para el crecimiento de las raíces; por lo tanto, el desarrollo del sistema radicular de un cultivo está limitado al área de humedad alrededor de cada emisor. La distribución de la humedad debe ser una principal preocupación del diseño.

### 2.3. Riego por desbordamiento natural o "tendido"

Uno de los métodos más sencillos utilizado para reponer en el suelo el agua consumida por los cultivos, cuando se requiere mojar toda la superficie.

La eficiencia de aplicación del agua, en el caso de este método de riego es comparativamente baja; por condiciones de diseño, cuando el suelo tiene una cierta pendiente en el sentido del flujo del agua, se requiere necesariamente que exista una pérdi-da por escurrimiento en la parte inferior del campo, para lograr uniformidad en la aplicación a lo largo del campo regado, esto - es para mojar todo el perfil del suelo hasta una profundidad adecuada en todos los puntos del terreno, desde el extremo inferior hasta el extremo superior.

La precolación profunda del extremo superior no excede generalmente el 10% del total del agua aplicada y el porcentaje de -pérdida del agua por escurrimiento superficial, cuando el riego es cuidadoso y el sistema de riego está bien diseñado, puede re-ducirse a un 20% de tal forma que la pérdida total de agua puede alcanzar a un 30% del agua aplicada durante el riego.

En la práctica normal de los métodos de riego superficiales -en los cuales el agua cubre toda la superficie del suelo (tendido)- el agricultor generalmente trata de evitar las pérdidas por escurrimiento superficial, que considera innecesarias, alargando en forma exagerada la longitud del campo regado, utilizando un -volúmen total de agua inferior al necesario para reponer el agua del suelo consumida por los cultivos.

De: esta forma, los sistemas de riego superficiales aparentemente tienen una alta eficiencia de aplicación; en realidad representan un riego poco adecuado desde el punto de vista de pro-ducción de las plantas. Los sistemas de riego superficiales aplicados a terrenos con pendientes, necesariamente deben operarse -con pérdidas por escurrimiento superficial en la parte inferio -del campo con el fin de lograr uniformidad.

El riego por desbordamiento natural, o riego por tendido, - consiste en derramar agua a interválos frecuentes desde una regadera construída a lo largo del extremo superior de un campo en pendiente. Se deja que el agua descienda libremente por la pendiente y se colocan regaderas interceptoras a intervalos en sentido perpendicular al de la pendiente para recoger el agua, que -- tenderá a acumularse en las depresiones, con el fin de redistribuirlas más uniformemente.

Este método de riego se utiliza sobre todo para regar cultivos de poco valor, sobre terrenos con pendiente en los que la -- uniformidad de distribución del agua no es una cuestión fundamental; también se usa frecuentemente en los suelos más densos de -- valles con topografía desigual.

El éxito de este método depende generalmente del acierto en la elección de los puntos en que el agua se libera en las regaderas, y en ajustar el tamaño de los orificios de modo que se libere la cantidad correcta de agua para cubrir el área servida, sin producir la erosión del suelo. Una vez establecido adecuadamente el sistema, se necesita un mínimo de mano de obra para regular -- el agua de riego.

Este método es el que más se emplea para plantas forrajeras perennes, que protejen el suelo contra la erosión por el agua. -- Su utilización en suelos poco profundos, tales como los suelos -- delgados que existen comúnmente en las faldas de las montañas, -- impide pérdidas excesivas por infiltración profunda resultantes de la falta de uniformidad en la distribución del agua.

El riego por tendido se utiliza raras veces en suelos pro-- fundos, arenosos, con elevadas velocidades de infiltración, o en suelos con agregados inestables que erosionan fácilmente. No debe emplearse en suelos arcillosos en los que se abren grietas an chas al secarse. La presencia de grandes piedras, que frecuentemente se encuentran en los campos de las laderas de montañas, no perjudica seriamente el empleo de este método de riego.

puede usarse con grandes ventajas pequeños caudales de agua que a veces existen como corriente continua, sobre todo en pendientes muy pronunciadas; sin embargo, un pequeño embalse de acumulación ayudará a utilizar estas pequeñas corrientes. Puede usarse también grandes flujos para el riego por tendido, cuando la pendiente es poco pronunciada y uniforme en el sentido del movimiento del agua.

Para utilizar este método de riego se necesita un mínimo de nivelación, la remoción de tierra puede limitarse a eliminar pequeñas elevaciones y depresiones en la superficie del terreno, procurando un drenaje del exceso de agua superficial y una superficie sobre la cual pueda trabajar la maquinaria agrícola con un mínimo de obstáculos. Esto constituye una ventaja importante --- cuando los suelos son poco profundos y la cantidad de tierra que puede removerse es limitada.

### 2.3.1. Regaderas

El sistema de distribución necesario para el riego por desbordamiento consiste en las acequias de abastecimiento, que corren usualmente a lo largo de la pendiente, y las regaderas de contorno que van transversalmente a la pendiente. Normalmente, se usa una pendiente de 0.5 por ciento (50 cm por 100 m) para las regaderas de contorno.

El método usual de construcción consiste en arar a lo largo de la línea de la regadera y luego formarla con una paleta angular unida a un tractor ligero.

En pendientes más pronunciadas el reborde se coloca solamente sobre el lado de pendiente descendente de la regadera; en terrenos más planos, se necesitan rebordes a ambos lados de la regadera.

Algunas veces las regaderas se revisten de hormigón para evitar la erosión, combatir la maleza y eliminar la necesidad de reformarlas cada uno o dos años.

Las regaderas de recogida o interceptoras se construyen a intervalos en la pendiente, para la distribución del agua. La práctica corriente es que estas regaderas interceptoras estén separadas a intervalos de 30 a 60 m o a diferencias de alturas de 2 a 3 m, según cual distancia sea menor.

El caudal que se necesita llevar a las regaderas dependerá de la superficie que se requiera regar y si se está usando un caudal grande intermitente o un caudal continuo. Generalmente se necesita un caudal continuo de 0.7 a 1 litro/seg por hectárea. cuando se emplea un caudal intermitente hay que aumentar proporcionalmente la capacidad de las regaderas.

### 2.3.2. Tomas

La distribución uniforme se consigue regulando la salida de agua de las acequias transversales; cuando los rebordes u orillas de la acequia están estabilizados es posible, algunas veces, distribuir el agua por rebalse sobre las orillas. Esto requiere cuidado en la construcción de los rebordes de la acequia a la altura correcta para obtener un derrame uniforme en las cantidades necesarias dentro de cada tramo de la acequia.

La práctica más corriente para regular la salida de agua es disponer de bocas o aberturas a lo largo de la acequia, usualmente separadas 2 a 3 m.

## 2.4. Riego por bordes

El método de riego por bordes o del escurrimiento por tablas, utiliza diques paralelos que guían una lámina de agua en movimiento que a medida desciende por la pendiente. El terreno entre dos diques se llama tablar, banda, faja o borde. Estas bandas pueden tener un ancho de 3 a 30 m y una longitud de 100 a 800 m.

Este método es el más conveniente para campos que tienen una superficie de 4 hectáreas o más. Se necesita un caudal de agua relativamente grande, el terreno debe tener una pendiente moderada y uniforme, y para su utilización con la máxima eficacia se necesita una preparación cuidadosa del suelo. Donde las condiciones son adecuadas para el riego por bordes, éste suele ser el método más eficiente para regar cultivos tupidos, tales como alfalfa, pastos cereales de grano pequeño y otros cultivos de campo; se emplea a sí mismo para regar huertas y viñas.

La erosión del terreno no suele ser un problema, si se tiene cuidado en preparar el terreno de manera que el agua no se acumule en canales estrechos a lo largo de puntos bajos. Haciendo crecer una cobertura de plantas tupidas mediante la humedad del suelo suministrada por las lluvias (siembras de invierno), se contribuye también a proteger el suelo contra la erosión cuando se aplica el riego por este método.

### 2.4.1. Dimensiones de los bordes

Comúnmente se emplean anchos de 15 a 20 m en campos relativamente planos y, en condiciones ideales, los bordes pueden ser aun más anchos. Con pendientes del 0.3 al 0.4 %, el ancho no debe pasar de 10 a 12 m. Sobre terreno con pendientes del 0.5 % o más, debe estar limitada de 6 a 8 m de anchura.

El caudal disponible para el riego puede ser también un factor limitante en la determinación del ancho. Como sucede con el riego por compartimientos, el flujo de agua tiene que ser suficiente para permitir cubrir todo el borde en un tiempo razonable para obtener buenos resultados.

Otro factor que merece considerarse es el ancho de la maqui naria de recolección que se ha de emplear. Por ejemplo si la lon gitud de cuchilla que se usará para regar la alfalfa es de 2 m , la anchura del tablar para escurrimiento empleado para riego de- bera ser un múltiplo de 2 m. Esto es, en el diseño del sistema - de riego siempre se debiera tener en cuenta otras prácticas cultu rales propias del cultivo a regarse.

La longitud de los bordes debe estar en relación inversa con la velocidad de infiltración del suelo. En suelos con veloci- dades de infiltración muy bajas, los bordes pueden alcanzar a ve- ces una longitud de hasta 800 m. Estas longitudes son frecuente- mente ventajosas, por que permiten que el agua corra el tiempo - suficiente para garantizar que penetre sin causar excesiva esco- rrentía en los extremos inferiores de los bordes. En suelos con velocidades de infiltración muy grandes puede ser necesario limi tar su longitud a 100 m o menos.

## 2.5. Riego por canales

La finalidad de un sistema de canales es proporcionar agua, en cantidades y presiones adecuadas, a todas las propiedades --- agrícolas que se encuentran en la zona servida

El sistema debe ser de manejo cómodo y mezclarse en el patrón agrícola, sin distorsionarlo innecesariamente. Los problemas de diseño de canales se pueden clasificar como:

- a) De distribución.
- b) De capacidad.
- c) De distribución y control del flujo.

Son tan variadas las condiciones que prevalecen en los distintos lugares en que se practica el riego, que un método de diseño demasiado rígido tiende a obstaculizar las innovaciones úti les. Las prácticas de diseño locales se desarrollan dentro del sistema general en su conjunto.

Basándonos en los conceptos básicos de hidráulica determina remos éste tipo de riego.

El tratamiento analítico del escurrimiento en un conducto -abierto es más difícil e insatisfactorio que el del escurrimiento en las tuberías, debido a la amplia variación de las condicio nes que presenta. Las tuberías generalmente son circulares; su forma, su rugosidad y su diámetro son las variables principales.

En un conducto abierto, no sólo hay una amplia variación en la naturaleza del revestimiento, sino que la sección transversal puede tener una variedad infinita de formas y cambios de sección a sección. En estas circunstancias, es excesivamente difícil derivar una fórmula para el escurrimiento que sea de aplicación ge neral.

Todos los conductos abiertos, considerados en un aspecto ge neral, pueden ser clasificados como:

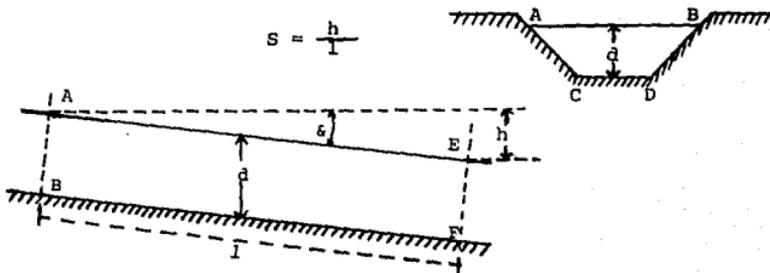
1. Conductos artificiales: escurrimiento uniforme y variado
2. Conductos o cauces naturales.

## 2.5.1. Esguerrimiento artificial

Para hacer uniforme el esguerrimiento, todas las secciones--transversales deben ser idénticas en forma y superficie, necesi--tándose en cada sección un tirante constante y una velocidad media constante.

En estas condiciones, la superficie del agua es paralela al fondo, y ambas tienen un ángulo de inclinación,  $\epsilon$ , con la horizontal. La inclinación de la superficie se referirá como la pendiente del conducto, y se expresa como:

$$S = \frac{h}{l}$$



En donde  $h$  es la caída vertical que ocurre en el tramo de - conducto,  $l$  y  $S$  es el seno de  $\epsilon$  en cualquier sección transversal ABCD, aquella parte revestida del conducto que queda en contacto con la corriente se conoce como perímetro mojado. En dos conductos de áreas iguales, teniendo taludes y muros semejantes y de - materiales también semejantes, es obvio que el canal que tenga - el perímetro mojado más pequeño tendrá la velocidad más alta del esguerrimiento en consideración a la menor resistencia de fric--ción. La relación del área al perímetro mojado, es un factor im--portante en la cantidad del esguerrimiento y por eso se le da el nombre de radio hidráulico.

$$\text{Radio hidráulico} = R_h = \frac{\text{AREA (hidráulica)}}{\text{Perímetro mojado}}$$

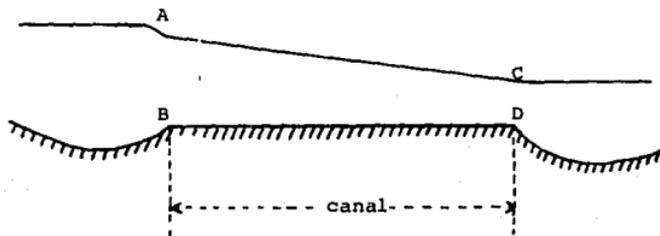
### 2.5.2. Esguerrimiento variado

Para tener un esguerrimiento variado, debe mantenerse una - área constante y una forma de la sección, además de una velocidad media en todas las secciones debe tener el mismo valor. El tirante del agua también debe ser constante.

Puede ser que, debido a la presencia de condiciones peculiares, todas estas características del esguerrimiento uniforme estén ausentes. El esguerrimiento será constante, proporcionando pa ra todas las secciones la siguiente expresión:

$$Q = a_1 v_1 = a_2 v_2 , \text{ etc. ,}$$

Pero la forma y el área de las secciones cambiará constante mente y la velocidad media variará de sección a sección.



En la figura anterior se representa un canal construido para juntar dos depósitos de diferentes niveles. El lecho del canal es horizontal y se considerará que los niveles de los depósitos permanecen constantes. El esguerrimiento tendrá lugar en una forma variada, y el tirante en AB será mayor que en CD. La sección transversal y la velocidad de la corriente, en consecuencia están cambiando constantemente entre estos dos puntos. El esguerrimiento es constante pero no uniforme, y no puede hacerse uniforme hasta que, por el ajuste de la pendiente son el esguerrimiento, el lecho de dicha corriente y la superficie del agua sean paralelos.

### 2.5.3. Transiciones

En la construcción de canales de gran longitud, es necesario cambiar la forma de la sección transversal. Esto puede deberse - a un cambio de la pendiente producida por condiciones topográficas. Este cambio requiere relativamente un tramo corto del canal en el que se lleve a cabo el cambio de forma.

El tramo debe diseñarse en forma de que produzca los cambios necesarios de sección y de velocidad sin que haya una turbulencia innecesaria, acción de oleaje o pérdidas de energía.

Las transiciones en las que el escurrimiento es acelerado - son diseñadas con más facilidad que en donde el escurrimiento de de perder velocidad. El estudio de los difusores ha mostrado que la pérdida de aceleración va acompañada por turbulencia.

Por último trataremos una pequeña introducción al trazado de canales, ya que esa fue la finalidad de este subtema.

El trazo de canales comprende tres operaciones principales siendo estas:

- a) reconocimiento del terreno
- b) trazo preliminar.
- c) trazo definitivo.

En el caso de zonas de riego estas operaciones se reducen a dos:

- a) Trazo preliminar de la red de canales de distribución y la -- red de canales de drenaje.
- b) Trazo definitivo que se hace sobre el terreno con los datos - del proyecto, datos que en general se modifican ligeramente - por algunos motivos locales.

El trazo del canal puede hacerse por cualquier método, generalmente se usa el de deflexiones. Estas pueden ser derechas o - izquierdas con un valor angular siempre menor de 180°.

#### 2.5.4. Instrucciones generales para la localización y diseño de canales.

El sistema de distribución de un proyecto de riego consta de la serie de canales y sus estructuras que se requieren para conducir el agua de las fuentes de abastecimiento o derivación a todos los puntos de la zona regable.

Los canales que forman el sistema de distribución se clasifican de la siguiente manera:

- a) canal principal.
- b) canales laterales, sublaterales, ramales, subramales y regaderas.
- c) cauces naturales o arroyos.

El canal principal es el que domina toda el área regable y abastece el sistema de canales laterales. Generalmente se localiza a lo largo de las curvas de nivel tratando de dominar la mayor superficie posible de tierras.

El sistema de distribución está formado por una red compuesta de lo siguiente:

- 1.- Los laterales, que son aquellos que dominan las divisiones principales del área regable y abastecen a los sublaterales.
- 2.- Los sublaterales, que son necesarios, para ramificar un lateral en dos o más canales.
- 3.- Los ramales que son abastecidos por los sublaterales y que a su vez abastecen a las regaderas. En algunos casos es necesario subdividir los ramales y en esos casos se construyen los subramales, antes de llegar a las regaderas, que en todos los casos son las últimas ramificaciones de la red de distribución.

Desde luego los canales laterales y sublaterales también tienen bocatomas para el riego directo de los lotes, y en algunas ocasiones también el canal principal.

Los cauces naturales o arroyos se utilizan en ocasiones, -- aunque no con mucha frecuencia, como canales de conducción de -- aguas para riego, invirtiendo su función básica de servir para -- el desagüe, ya sea de las aguas pluviales o de las aguas exceden -- tes de los riegos.

Para conducir aguas de riego deben emplearse con mucha preo -- cupación, debiendose en todos los casos consultar a la autoridad correspondiente para su aprobación.

Para finalizar y concluir diremos que, la finalidad de un -- sistema de canales es proporcionar agua, en cantidades y presio -- nes adecuadas, a todas las propiedades agrícolas que se encuen -- tran en la zona servida, como anteriormente se ha citado, siendo este sistema de riego más propicio para grandes extensiones y -- por lo tanto más económico a comparación de los otros sistemas -- de riego.

**CAPITULO 3 ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CANALES**

La finalidad de las prácticas de riego es asegurar que las plantas tengan un suministro adecuado de agua en la zona de sus raíces, para producir rendimiento óptimos. El diseño y la administración del riego se ocupan de dos problemas principales.

Los suelos pueden retener una cantidad limitada de agua y, de ella, solo una parte se encuentra a disposición de las plantas. Se debe aplicar agua, antes de que esa porción del agua retenida se agote por completo.

El problema del tiempo implica el cálculo de la humedad disponible y el ritmo al que se agota. El problema de las cantidades de agua que se deben aplicar consiste en determinar la cantidad que hará que las condiciones de humedad del suelo sean más favorables para las plantas. Esto, por lo común, es el máximo -- que puede retener el suelo en la zona de las raíces.

Los suelos son masas complejas de partículas minerales y orgánicas, dispuestas en una estructura que contiene aire, agua y solutos, que afectan al crecimiento de las plantas.

Las partículas minerales de tierra del suelo se forman mediante la intemperización y la erosión de las rocas. Se componen -- en gran parte de silicio y silicatos que incluyen otros elementos químicos, tales como el potasio, calcio y fósforo.

La materia orgánica se forma a partir de residuos de plantas y animales. Aunque los suelos de un clima húmedo pueden contener grandes cantidades de materia orgánica, los de los climas áridos tienen en general muy poca, debido a lo dispersa que es -- la vida animal y la vegetal.

Las principales funciones de la materia orgánica consiste -- en proporcionar nutrición y microorganismos para la vida, además de mejorar y estabilizar la estructura del suelo.

La adición de materia orgánica hace mejorar la capacidad de retención de agua de las arenas y las características de drenaje de las arcillas y los limos.

Las plantas necesitan agua en pequeñas cantidades para su metabolismo y el transporte de los nutrientes vegetales y, en cantidades mucho mayores, en el proceso fisiológico de la transpiración, que efectúa como protección contra los efectos perjudiciales de las temperaturas elevadas.

Debe haber aire presente para la respiración de los microorganismos, para proporcionar un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces y la absorción de los nutrientes.

Para que las plantas crezcan, debe haber agua, aire y nutrientes en la masa del suelo, en cantidades dadas. Las prácticas de riego deben asegurar que estas cantidades se encuentren disponibles en las proporciones correctas, o sea, que la adición de agua debe llevarse a cabo de tal modo que no se produzcan deficiencias de otros elementos esenciales.

### 3.1 Tipo de suelo

#### 3.1.1 Humedad

Cuando se agrega agua al suelo, por medio de las lluvias o el riego, la superficie se satura: se llenan los poros del suelo y el aire sale. A continuación el agua se desplaza hacia abajo, - bajo la gravedad y la capilaridad.

Si se cierra el suministro de agua, esta tiende todavía a - descender a través del suelo, de tal modo que se produce un drenaje.

Examinando la masa del suelo, se descubrirá que ciertas cantidades de agua permanecen en la tierra, ocupando gran parte del espacio de los poros. La implicación de esto es que la matriz -- del suelo puede ejercer una fuerza que se opone a la gravedad, - impidiendo en esa forma que tenga lugar un drenaje completo. Esta fuerza se debe principalmente a la tensión superficial.

En el suelo, los poros forman un sistema de tubos capilares de diámetros variables. Existen experimentos que demuestran la - altura a la que se eleva una columna de agua en un tubo capilar, es inversamente proporcional al diámetro del tubo.

Por consiguiente, para extraer agua del suelo, se debe aplicar una fuerza de succión: una fuerza pequeña vacía solamente -- los poros mayores; pero al aumentar la fuerza, los poros peque--ños sueltan también el agua que contienen.

La facilidad con la que la planta puede extraer agua varía por consiguiente, con el contenido de humedad y la forma del sistema capilar de la masa del suelo. La textura y la estructura (- la composición mecánica y las condiciones en que se encuentra) - del suelo, determinan el sistema.

### 3.1.2 Textura de los suelos minerales

La textura de un suelo se define por la distribución de los tamaños de las partículas que, en los terrenos agrícolas, van de las partículas de arcilla, de menos de 0.002 mm a las piedras de hasta 50 mm de diámetro.

No obstante, en general, la mayor parte de los materiales del suelo se componen de arena, limo y arcilla, las proporciones de los diversos tamaños de partículas en la muestra se determinan por dos métodos: el análisis mecánico y el de la humedad.

La distribución de las partículas mayores pueden determinarse mediante pruebas de cedazo o tamiz y la de las partículas más pequeñas, realizando pruebas basadas en la ley de Stokes. Cuando se determina la distribución de tamaños de partículas, resulta útil clasificar el suelo en uno o varios tipos.

Las características de retención de agua en el suelo se determina por las partículas menores presentes: las partículas grandes forman un compuesto inerte. La fracción de arcilla de un suelo natural consiste principalmente en partículas minerales en forma de copos, que tienen ciertas propiedades eléctricas y, dependiendo de los cationes proporcionados por la humedad del suelo, se atraen o se rechazan entre sí.

La aplicación de presión, el retiro de agua de un suelo arcilloso, hace que las partículas se acerquen unas a otras. Parte de la energía necesaria para la consolidación se consume en el trabajo realizado en contra de las fuerzas de retención entre las partículas. Al volver a mojar el suelo, se produce una dilatación que representa el trabajo realizado por las fuerzas de re pulsión, al separar las partículas.

La dilatación y la contracción de muchos suelos arcillosos se observa en campos que sufren alternativamente la humectación y el secado.

## Clasificación Internacional de Suelos

Fracción	Diámetro efectivo de partículas (mm)
Arena gruesa	2 -0.2
Arena fina	0.2 -0.02
Limo	0.02-0.002
Arcilla	0.002

Clasificación del Departamento de Agricultura  
de Estados Unidos (USDA)

Fracción	Diámetro efectivo de partículas (mm)
Arena muy gruesa	2 -1
Arena gruesa	1 -0.5
Arena mediana	0.5 -0.25
Arena fina	0.25-0.1
Arena muy fina	0.1 -0.05
Limo	0.05-0.002
Arcilla	0.002

### 3.1.3 Estructura de los suelos

Hay grupos de partículas individuales de tierra que se pueden adherir unas a otras, para formar agregados. La estructura de un suelo se distingue por la disposición de las partículas individuales y los agregados, en relación unos a otros. Por consiguiente, las formaciones de sistemas capilares que se ven afectadas por la estructura.

El ambiente de las plantas se ve afectado por la estructura porque el sistema poroso influye en la capacidad de retención de agua, la ventilación, el drenaje y las propiedades de erosión -- del suelo. Se necesitan poros grandes para la ventilación y la -- facilidad de admisión del agua, poros de tamaño mediano para el desplazamiento del agua en el suelo y poros pequeños para el almacenamiento de la humedad.

La estructura del suelo se mantiene y mejora mediante prácticas sanas de cultivo y riego, y pueden destruirse con rapidez, mediante un manejo poco adecuado.

El análisis de suelos con varios regímenes de riego debe -- preceder siempre al desarrollo en gran escala, para evitar el de -- terioro de las tierras de buena calidad.

La estructura puede clasificarse básicamente como SIMPLE, -- donde no hay planos de deposición, o COMPUESTA, donde se distinguen claramente esos planos. La estructura de los granos simples tales como las arenas, con pocas cantidades de materias orgánicas, y las estructuras masivas, tales como las arcillas de caolinita, son buenos ejemplos de lo anterior. Las arcillas de montmorillonita son representativas de las estructuras compuestas.

### 3.2 Datos hidrológicos

El abastecimiento mundial de agua dulce, casi se obtiene en teramente en forma de precipitación pluvial que se produce por - la evaporación del agua del mar. Los procesos involucrados en el intercambio de humedad del mar hacia la tierra y de ésta nueva-- mente de regreso al mar, forman lo que se le conoce como ciclo - hidrológico.

#### 3.2.1. Ciclo hidrológico

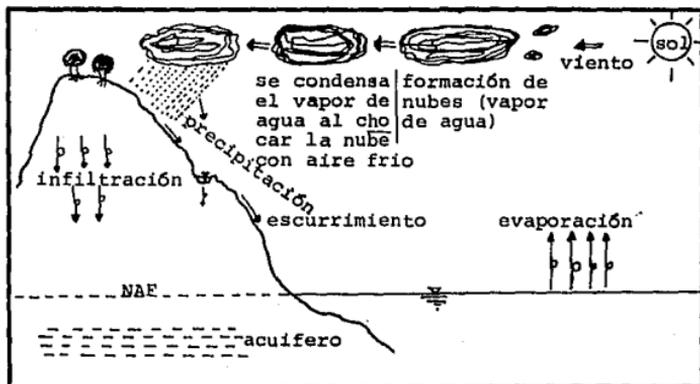
La primera etapa en el ciclo hidrológico es la evaporación del agua de los océanos. Este vapor de agua es llevado sobre los continentes por las masas de aire en movimiento. Si el vapor es enfriado hasta un punto de rocío se condensa en gotitas visibles que forman nubes o neblina.

En condiciones metereológicas favorables, las pequeñas goti tas se agrandan lo suficiente para caer en la tierra en forma de precipitación. El enfriamiento de grandes masas de aire se produ ce por el ascenso de las mismas. La disminución resultante de la precipitación va acompañada por una disminución de temperatura, - de acuerdo con las leyes de los gases.

La ascensión orográfica ocurre cuando el aire es forzado a subir sobre una barrera montañosa. Por esta razón, las laderas - expuestas de las montañas usualmente son regiones con alta preci pitación. El aire puede también subir sobre una masa de aire más fría.

Aproximadamente dos terceras partes de la precipitación que llega a la superficie del terreno regresan a la atmósfera por -- evaporación de las superficies del agua, del suelo y la vegeta-- ción, además de la transpiración de las plantas. La porción restante de la precipitación regresa finalmente al océano a través de conductos superficiales o subterráneos.

Sólo una porción pequeña de la humedad ( menos del 10% ),-- que pasa sobre cualquier punto determinado de la superficie de la tierra se precipita. Por lo tanto, la humedad evaporada de -- las superficies de la tierra, es sólo una parte pequeña de la hu medad total atmosférica.



ESQUEMA DEL CICLO HIDROLOGICO

### 3.2.2. Cuenca pluvial

Una cuenca pluvial es el área tributaria hasta un punto determinado sobre una corriente, y está separada de las cuencas ad yacentes por una divisoria o parteaguas que puede trasarse sobre mapas o planos topográficos. Toda el agua superficial que se forma en el área circundada por la divisoria o parteaguas descarga a través del punto más bajo del parteaguas por el cual pasa la corriente principal de la cuenca. Generalmente el movimiento del agua en el subsuelo sigue la misma forma o arreglo que el que de finen los parteaguas superficiales, pero en ocasiones se pueden transportar grandes cantidades de agua de una cuenca a otra como aguas del subsuelo.

### 3.2.3 Precipitación

La precipitación es la caída del agua de la atmósfera en cual quiera de sus tres estados físicos: puede ser; lluvia, nieve o grnizo. Para que se origine la precipitación es necesario que una -- parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico, como consecuencia resulta la lluvia, que escurre inmediatamente hacía las corrientes después que llega al terreno y es la causa de - las avenidas.

#### 3.2.3.1 Aparatos de medición

La precipitación se mide en altura de lámina de agua en mm. - los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el - cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura los aparatos de medición, estos - se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones; pluviómetros y pluviógrafos.

El pluviómetro consiste en un recipiente cilíndrico de lámina de aproximadamente de 20 cm de diámetro y de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que el de la tapa.

Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta con una aproximación hasta décimos de mm. Ya que cada cm medido en la probeta corresponde a un mm de altura de lluvia, para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada con la cual se toma - la lectura. Generalmente se acostumbra hacer las lecturas cada 24 horas.

El pluviógrafo es un aparato en el cual se lleva un registro de altura de lluvia contra tiempo, los más comunes son de forma - cilíndrica. Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, se define como:

$$i = \frac{h_p}{T} \text{ (altura de precipitación)}$$

(tiempo de duración)

Para determinar las cantidades de lluvia en periodos cortos de tiempo, se utilizan pluviómetros de autoregistro llamados pluviógrafos. El tipo más común es el pluviógrafo para lluvia, gravimétrico, en el cual un depósito va apoyado por un resorte o palanca de balanceo. El movimiento del depósito es transmitido a una pluma que registra o traza un record del peso en aumento del depósito y de su contenido sobre una hoja implusada con una maquinaria de relojería.

El pluviómetro de depósito de volteo consiste en un par de depósitos unidos a un embudo de modo que cuando uno de ellos recibe 0.01 plg. (0.254 mm) de pulgada de precipitación, se voltee descargando su contenido a uno de los depósitos y haciendo que el otro quede abajo del embudo. Un mecanismo de registro indica el tiempo en que sucede cada volteo.

El pluviógrafo de depósito de volteo se adapta bien a la medida de la intensidad de la lluvia en periodos cortos de tiempo, pero la construcción más sólida del tipo de pluviógrafo gravimétrico y su capacidad para registrar también las nevadas, lo hacen preferible para muchos propósitos.

### 3.2.3.2. Cálculo de la precipitación promedio anual

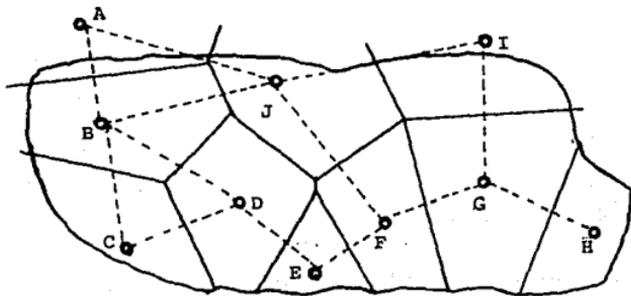
El método más simple para estimar la precipitación es calcular el promedio aritmético de los valores de la precipitación registrada en las estaciones dentro o cerca del área en estudio. Si la precipitación no es uniforme y las estaciones no están bien distribuidas dentro del área, el promedio aritmético puede ser muy incorrecto. Para corregir este error, la precipitación en cada estación puede ponderarse en proporción al área que se considera que la estación representa.

El método común para determinar los factores de ponderación es mediante el empleo de la red de THIESEN, esta red se construye sobre un plano uniendo o ligando las estaciones adyacentes con líneas rectas y trazando luego bisectores perpendiculares a cada línea de conexión. El polígono formado por los bisectores perpendiculares alrededor de una estación, incluye un área que es siempre la más cercana a la estación que cualquiera otra de ellas.

Se considera que esta área queda o estará mejor representada por la precipitación de la estación correspondiente a la que incluye o rodea. Como las perpendiculares bisectan los lados de los triángulos con estaciones en cada vértice, tres bisectores deben encontrarse en un punto. Con frecuencia, ésta es una consideración razonable, pero no siempre es correcta.

Para calcular la lluvia promedio, el área representada por cada estación se expresa como un porcentaje del área total. La lluvia promedio es la suma de los productos obtenidos por multiplicar los valores individuales de lluvias en las estaciones, -- por sus porcentajes del área total.

Para comprender mejor este método haremos un ejemplo, pero debemos de considerar que las precipitaciones citadas son solo representativas para nuestro ejemplo.



Estación	Area de Thiessen (km <sup>2</sup> )	Precipitación milímetros	Productos (km <sup>2</sup> -mm)
A	7	3.70	25.90
B	70	4.00	280.00
C	40	4.10	164.00
D	60	4.23	253.80
E	32	4.93	157.76
F	69	5.13	353.97
G	87	5.29	460.23
H	36	4.91	176.76
I	50	4.28	214.00
J	67	4.17	279.39
TOTAL	518	44.74	2365.81

$$\text{Precipitación media o promedio} = \frac{\text{total de productos}}{\text{área total}}$$

$$\text{entonces la precipitación es} = \frac{2365.81}{518} = 4.567 \text{ mm.}$$

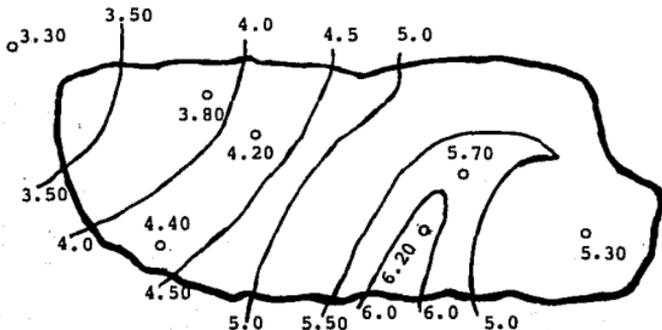
La única base del método de Thiessen es la consideración que una estación es la mejor representativa del área que tiene más - cercana a ella. Si la precipitación es regulada por la topografía o se produce una convección intensa, quizás esta consideración - puede no ser válida. Existe otro método simple para calcular lluvia media, siendo éste método más exacto.

El método de Isoyetas muestra las curvas de igual precipitación para tener además otra información adecuada sobre los datos de la precipitación, y entonces presentar así una imagen o idea más precisa de la distribución de la lluvia.

Como la precipitación pluvial generalmente aumenta con la elevación o altura del terreno, las isoyetas pueden trazarse de manera que sigan aproximadamente las curvas de nivel.

Para calcular la precipitación media de un mapa de isoyetas-- se miden las áreas comprendidas entre dos isoyetas sucesivas y se multiplican por la precipitación media entre las isoyetas. La suma de estos productos, dividida entre el área total, es la precipitación promedio. Si las isoyetas se interpolan linealmente entre las estaciones, la precipitación promedio calculada no diferirá considerablemente de la calculada por el método de los polígonos de --- Thiessen, o red de Thiessen.

Ejemplificaremos éste método para su mejor entendimiento y manejo, además de que si comparamos los resultados de la página 48 - con los obtenidos por éste método, veremos que la diferencia es minima.



Isoyetas	Area entre las isoyetas km <sup>2</sup>	Precipitación media milímetros	Producto A x P km <sup>2</sup> -mm
3.0	8	4.20	33.60
3.5	100	3.10	310.00
4.0	90	4.15	373.50
4.5	75	4.75	356.25
5.0	160	5.10	816.00
5.5	70	5.50	385.00
6.0	15	5.70	85.50
6.5			
<b>Total</b>	<b>518</b>	<b>-----</b>	<b>2359.85</b>

$$\begin{aligned} \text{Precipitación media} &= \frac{\text{total de A x P}}{\text{área total}} \\ &= \frac{2359.85}{518} = 4.555 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Comparando éste resultado obtenido de 4.555 mm con el de la página 48 de 4.567 mm, notamos que la diferencia es mínima, porque la variación es de centecimas de milímetros.

### 3.2.3.3. Variaciones de la precipitación

Generalmente, la precipitación disminuye con el aumento de la latitud porque las temperaturas en disminución reducen a la humedad atmosférica. La importancia de las montañas como un factor en la producción de la precipitación por el ascenso orográfico, es evidente en el arreglo o distribución de las curvas isoyetas.

Desde el punto de vista de la ingeniería, las variaciones de la precipitación en el tiempo pueden ser más importantes que las variaciones regionales. Las variaciones en la precipitación de año en año, hacen importante el diseño de vasos de almacenamiento que sean adecuados durante los años de lluvias bajas.

### 3.2.4. Evapotranspiración

La evapotranspiración también llamado uso consuntivo o evaporación total, describe la cantidad total de agua extraída de una determinada área o zona por los procesos de transpiración y evaporación desde el suelo y de las superficies del agua. Las estimaciones de la evapotranspiración real desde una determinada área, generalmente se hacen restando el escurrimiento aforado de salida de la superficie en estudio (escurrimiento superficial y subsUPERficial) del abastecimiento total de agua (incluyendo la lluvia, el escurrimiento superficial, subsuperficial y el agua importada) las variaciones o cambios en el almacenamiento superficial y subterráneo deben incluirse cuando tengan significación.

La relación de la evapotranspiración con los datos climatológicos se puede expresar de la siguiente manera;

$$U_c = 0.9 + 0.00015 \sum (T_{\text{máx}} - 32)$$

donde  $U_c$  es el uso consuntivo y  $\sum(T_{\text{máx}} - 32)$  es la suma de las temperaturas máximas durante el ciclo de crecimiento menos 32°F. Dichas fórmulas concuerdan bastante bien con los valores medios de la evapotranspiración anual en un periodo largo de años, pero es claro que el proceso de evaporación es demasiado complejo para ser definido por una función simple como la temperatura.

La evapotranspiración potencial desde cualquier área puede estimarse con la evaporación de la superficie libre del agua. La evapotranspiración real iguala al valor potencial  $E_{\text{pot}}$  limitado por la humedad aprovechable. En una cuenca o área de drenaje natural con muchas especies vegetales, es razonable considerar que las velocidades de transpiración variarían con la humedad del suelo, ya que las especies poco enraizadas dejarán de transpirar antes que las especies de mayor profundidad de raigambre. Para calcular  $E_{\text{real}}$  se utiliza la siguiente expresión:

$$E_{\text{real}} = E_{\text{pot}} \frac{M_{\text{real}}}{M_{\text{máx}}}$$

donde  $M_{\text{real}}$  es la humedad del suelo almacenada y que se calcula para cualquier fecha, y  $M_{\text{máx}}$  es un contenido de humedad del suelo considerado como máximo. Un procedimiento de contabilidad de la humedad como el tipo antes descrito, puede utilizarse para calcular el valor de la evapotranspiración.

### 3.2.5. Infiltración

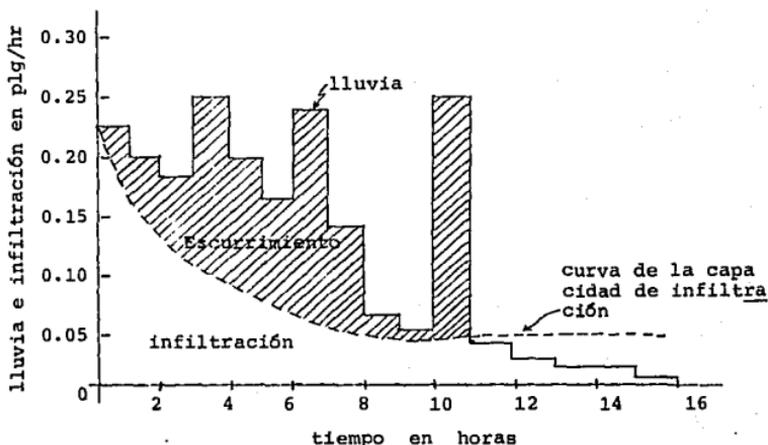
La infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo y dentro del mismo. La capacidad de infiltración de un suelo, es la velocidad máxima con la cual el agua entrará al mismo para una determinada condición.

La capacidad de infiltración depende de muchos factores. Un suelo permeable suelto tendrá una mayor capacidad que un suelo ar cilloso apretado. Si muchos de los espacios porosos están llenos de agua, la capacidad de infiltración generalmente es menor que cuando el suelo está relativamente seco. Si el espacio poroso de la superficie del suelo está ocupado totalmente por el agua, el movimiento hacia abajo de la humedad posterior está controlado -- por la permeabilidad del subsuelo. Una lluvia tormentosa puede em pacar basuras y partículas de la superficie en los poros del suelo y reducir la infiltración. Una buena cubierta vegetal proporciona protección contra el impacto de las gotas de lluvia y, además, las raíces de las plantas y el mantillo orgánico ayudan a au mentar la permeabilidad del suelo.

Si la capacidad de infiltración de un suelo fuera conocida, el volumen del escurrimiento resultante de una lluvia determinada podría calcularse, restando la infiltración y la retención superficial (interceptación más almacenamiento en depresiones), de la lluvia.

La velocidad de infiltración es el ritmo con el cual el agua entra efectivamente al suelo durante una tormenta o chubasco, y debe ser igual a la capacidad de infiltración o al ritmo de la -- lluvia, si cualquiera de los dos es el valor mínimo. Las velocida des de infiltración o capacidades, pueden determinarse experimentalmente si se mide el escurrimiento superficial de una pequeña -- parcela testigo sujeta a lluvia natural o artificial.

Si la parcela queda sujeta a ritmos de lluvia en exceso o mayores de la capacidad de infiltración, la capacidad variará con la época y en la forma que se muestra en la grafica de abajo. Las curvas para diferentes capacidades se obtendrán para valores diferentes de la humedad inicial del suelo. Esas curvas ofrecen un medio para calcular el escurrimiento para el drenaje de aeropuertos o en otros proyectos que tratan con áreas de características homogéneas de infiltración. En tanto las velocidades de la lluvia excedan a la capacidad de infiltración.



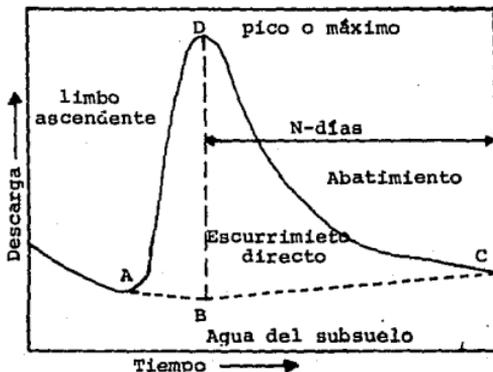
Curva típica de infiltración superpuesta sobre un diagrama de lluvia para ilustrar el método de cálculo del escurrimiento.

### 3.2.6. Cálculo del volúmen del escurrimiento

La siguiente ecuación simple nos ayuda para este fin, siendo el planteamiento:

$$R = P - L - G$$

donde R es el escurrimiento directo, P es la precipitación, R es la realimentación de la cuenca y G es el incremento del agua del subsuelo, todos los términos expresados en altura de lámina en milímetros o pulgadas sobre el área drenada. El cálculo de la precipitación media P ya se citó con anterioridad. El volúmen de escurrimiento R es el área ABCD de la figura ilustrada en esta pagina y en consecuencia dos de los factores de nuestra ecuación pueden evaluarse por los datos observados. Las estimaciones precisas de R en consecuencia dependen de las estimaciones de la realimentación de la cuenca L y del incremento del agua del subsuelo G.



#### 3.2.6.1 Coeficientes de escurrimiento

Para el diseño de drenes de tormenta y para pequeños proyectos de control de agua, comúnmente se considera que el volúmen de escurrimiento es un porcentaje de la lluvia.

podemos considerar la siguiente ecuación:

$$R = kP$$

pero puede no ser racional, por que el coeficiente de escurrimien to k debe variar con la realimentación y con la precipitación. La aproximación y seguridad que proporciona esta ecuación se mejora conforme el porcentaje del área impermeable aumenta y k se aproxima al valor de la unidad.

El porcentaje o aproximación por medio de coeficiente es más útil para problemas de drenaje urbano. La aproximación por medio de coeficiente debe evitarse en las áreas rurales y para los análisis de tormentas.

VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO k  
PARA DIVERSAS SUPERFICIES

Area residencial urbana:	
sólo casa habitación .....	0.30
Apartamientos con espacios verdes .....	0.50
Areas de edificios comerciales e industriales .....	0.90
Areas boscosas, dependiendo del suelo .....	0.05-0.20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales .....	0.05-0.30
Asfalto o pavimentos de concreto .....	0.85

Siendo los valores ordinarios de k para nuestra ecuación y así poder calcular el volumen de escurrimiento, pero como se dijo anteriormente este tipo de aproximación no debe ser utilizado para áreas rurales.

### 3.3. Tipos de canales

Un canal abierto es un conducto en el que el agua fluye a superficie libre. Clasificados de acuerdo a su origen, un canal puede ser natural o artificial.

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen naturalmente sobre la tierra, variando en tamaño desde pequeños arroyitos o corrientes, ríos pequeños y grandes hasta estuarios de mares. Las corrientes subterráneas que lleven agua con superficie libre se consideran también canales abiertos.

Las propiedades hidráulicas de los canales naturales son generalmente muy irregulares. En algunos casos se pueden hacer hipótesis empíricas razonablemente consistentes con las observaciones actuales y la experiencia se puede hacer de tal forma que las condiciones de flujo en estos canales sean adecuadas al tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados por el esfuerzo humano: Canales de navegación, de irrigación y canaletas, zanjias de drenaje, etc. así como canales modelados que son construidos en el laboratorio para propósitos experimentales.

Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas en la extensión deseada o proyectada para cumplir con los requerimientos establecidos. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá, así, resultados aproximados a las condiciones actuales y por lo tanto, razonablemente seguros para propósitos de diseño práctico. Concluyendo, el canal es un trazado largo y de pendiente suave construido en la tierra y que puede ser revestido en un momento dado con mampostería, cemento, madera, hormigón, etc. o también puede ser sin revestimiento.

### 3.3.1. Geometría del canal

Las secciones de los canales naturales son en general muy irregulares, variando normalmente de una parábola a un trapecoide aproximadamente. Para cursos de agua sujetos a frecuentes crecidas, el canal puede consistir de una sección principal del canal llevando caudales normales y una o más secciones laterales del canal para acomodar las crecidas.

Los canales artificiales se proyectan usualmente con sección de formas geométricas regulares, la forma trapezoidal es la más común para canales con terraplenes de tierra sin revestir, pues suministra pendientes laterales para la estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecoide. Ya que el rectángulo tiene lados verticales, se usa comúnmente para canales construidos con materiales estables tales como mampostería revestida, roca, metal o madera. La sección triangular es utilizada para pequeñas zanjas.

Dentro de la amplia gama de canales artificiales, los canales abiertos tienen la siguiente subdivisión:

- 1.- Prismáticos: un canal prismático es el que tiene constantes tanto la forma transversal como la pendiente del fondo. Los canales que no entran en este criterio son los llamados no-prismáticos.
- 2.- Canal: el término canal se refiere a un conducto abierto de pendiente suave. Estos conductos abiertos pueden ser no revestidos o revestidos con concreto, cemento, pasto, madera, materiales bituminosos, o una membrana artificial.
- 3.- Medidor de régimen crítico: en la práctica, el término medidor de régimen crítico se refiere a un canal construido sobre la superficie del terreno para conducir un flujo a través de la depresión. Estos medidores usualmente se construyen de madera, metal, mampostería o concreto. Este término también es aplicado a canales construidos en el laboratorio para estudios básicos y de aplicación.

- 4.- Caída y disipadores: una caída es un canal de pendiente fuerte. Un canal disipador también tiene una pendiente fuerte pero mucho menor que la caída.
- 5.- Alcantarilla: una alcantarilla fluye sólo parcialmente llena, y se trata de un canal abierto principalmente utilizado para drenar carreteras, caminos y calles.
- 6.- Sección del canal: es referido a la sección transversal del canal tomada en dirección normal del flujo.
- 7.- El salto: es similar a la caída, pero el cambio de nivel se hace a una distancia corta.
- 8.- Túnel de escurrimiento abierto: es un canal cubierto, comparativamente largo, usado para llevar agua a través de una colina o cualquier obstrucción en el terreno. Y finalmente
- 9.- El acueducto: es un canal de madera, metal, hormigón o mampostería, normalmente soportado sobre o arriba de la superficie del terreno, para llevar agua a través de una depresión.

### 3.3.2 Elementos geométricos de una sección

Los elementos geométricos son propiedades hidráulicas de una sección del canal que puede ser definida enteramente por la geometría de la sección y la profundidad del flujo. Estos elementos son muy importantes y son utilizados en cálculos de escurrimiento.

Para secciones simples de canales rectangulares, los elementos geométricos se pueden expresar matemáticamente en función de la profundidad del escurrimiento y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, ninguna fórmula simple se puede escribir para expresar estos elementos.

Las definiciones de algunos elementos geométricos de básica importancia se describen a continuación.

1. Tirante del flujo ( $y$ ): éste es la distancia vertical desde el punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua. En varios casos, esta terminología se usa intercambiandola con el término tirante del flujo de la sección ( $d$ ), que es el tirante del flujo medido perpendicularmente al fondo del canal. La relación entre ( $y$ ) y ( $d$ ) es:

$$y = \frac{d}{\cos \alpha} \quad (\text{fig. de la página 31})$$

en donde  $\alpha$  es el ángulo de la pendiente del fondo del canal con una línea horizontal. Si es pequeño el valor de  $\alpha$  entonces:

$$y = d$$

Únicamente en el caso de canales con inclinación (pendiente) pronunciada, es en donde hay una diferencia significativa entre ( $y$ ) y ( $d$ ).

2. Nivel del agua: el nivel del agua de un flujo es la elevación de la superficie libre del agua relativa a un plano de referencia si el punto más bajo de la sección de un canal se toma como el -- plano de referencia, entonces el nivel del agua y el tirante del flujo coinciden.

3. Ancho superficial (T): el ancho superficial de un canal es el ancho de la sección del canal en la superficie libre del agua.

4. Área hidráulica (A): el área hidráulica es el área de la sección transversal del flujo, tomada normal a la dirección del flujo del canal.

5. Perímetro mojado (P): el perímetro mojado es la longitud de -- la línea que es la interfase entre el fluido y el contorno del canal.

6. Radio hidráulico (R): el radio hidráulico es la relación del área hidráulica entre el perímetro mojado;

$$R = \frac{A}{P}$$

7. Tirante hidráulico (D): el tirante hidráulico es la relación del área hidráulico entre el ancho de la superficie libre del agua;

$$D = \frac{A}{T}$$

el tirante hidráulico también se le denomina como profundidad hidráulica.

8. El factor de la sección para cálculos de escurrimiento o flujo crítico (Z): es el producto del área mojada por la raíz -- cuadrada de la profundidad hidráulica;

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

9. El factor de la sección para los cálculos de escurrimiento -- uniforme  $AR^{2/3}$ : es el producto del área mojada y la potencia a los dos tercios del radio hidráulico.

### 3.3.3. Secciones de canales aplicables al riego

En los años recientes, los proyectos de recursos de agua y trabajos de ingeniería hidráulica se han desarrollado rápidamente a través del mundo. El conocimiento de la hidráulica de canales abiertos, que es esencial al diseño de muchas estructuras hidráulicas, ha avanzado así a grandes saltos. Por lo tanto veremos las secciones más comunes que se utilizan para el riego.

#### 3.3.3.1. Sección rectangular

$$\text{Area (A)} = by$$

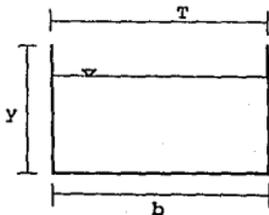
$$\text{Perímetro mojado (P)} = b + 2y$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{by}{b + 2y}$$

$$\text{Ancho superficial (T)} = b$$

$$\text{Tirante hidráulico (D)} = y = \frac{A}{T}$$

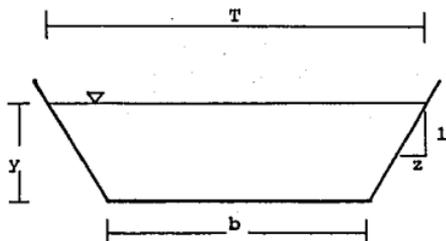
$$\text{Factor de sección (Z)} = by^{1.5}$$



La sección rectangular es utilizada solamente para pequeñas zanjias, cunetas y trabajos de laboratorio.

## 3.3.3.2. Sección trapecial

Este tipo de sección se utiliza más para conducir si no gran caudales si para considerables gastos, se utilizan también pa ra que riego grandes extensiones, además de ser el más utilizado porque su forma trapezoidal en canales con terraplenes de tierra sin revestir, pues suministra pendientes laterales para su estabi lidad.



$$\text{Area (A)} = (b + zy)y$$

$$\text{Perímetro mojado (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$$

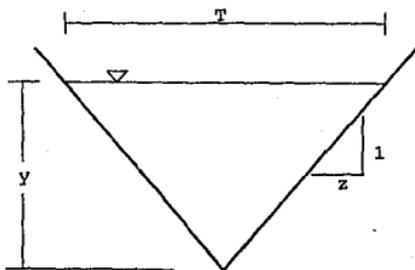
$$\text{Ancho superficial (T)} = b + 2zy$$

$$\text{Tirante hidráulico (D)} = \frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$$

$$\text{Factor de sección (Z)} = \frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$$

## 3.3.3.3. Sección triangular

Esta sección es un caso especial del trapezoide, esto referido a sus dos costados. El triángulo de fondo redondeado es una aproximación de la parábola; es una forma normalmente creada esta excavación por una pala mecánica.



$$\text{Area (A)} = zy^2$$

$$\text{Perímetro mojado (P)} = 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$$

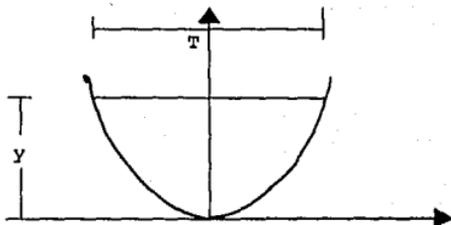
$$\text{Ancho superficial (T)} = 2zy$$

$$\text{Tirante hidráulico (D)} = (1/2)y$$

$$\text{Factor de sección (Z)} = \frac{\sqrt{2}}{2} zy^{2.5}$$

## 3.3.3.4. Sección parabólica

La sección parabólica es usada como una aproximación de secciones de canales naturales de tamaño pequeño y mediano, de aquí que su utilidad sea para riego pequeño o drenaje de pequeñas extensiones.



$$\text{Area (A)} = \frac{2}{3} Ty$$

$$\text{Perímetro mojado (P)} = T + \frac{8}{3} \frac{y^2}{T}$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$$

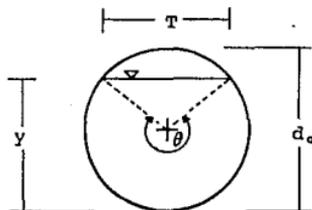
$$\text{Ancho superficial (T)} = \frac{3}{2} \frac{A}{y}$$

$$\text{Tirante hidráulico (D)} = \frac{2}{3} y$$

$$\text{Factor de sección (Z)} = \frac{2}{9} \sqrt{6Ty}^{1.5}$$

## 3.3.3.5. Sección circular

El círculo es la sección más utilizada para colectores además de las alcantarillas de tamaño pequeño y mediano, esta sección en el riego tiene la utilidad en el drenaje.



$$\text{Area (A)} = \frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) d_o^2$$

$$\text{Perímetro mojado (P)} = \frac{1}{2} \theta d_o$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right) d_o$$

$$\text{Ancho superficial (T)} = 2 \sqrt{y(d_o - y)}$$

$$\text{Tirante hidráulico (C)} = \left( \frac{1}{8} \frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } 1/2 \theta} \right) d_o$$

$$\text{Factor de sección (Z)} = \frac{\sqrt{2} (\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{32 \text{ sen } 1/2 \theta} d_o^{2.5}$$

**CAPITULO 4 CIRCULACION DEL AGUA EN CANALES**

Los canales son conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. Cuando en un tubo circula agua ocupando parte de la sección se dice que el tubo está trabajando como canal. Puede darse el caso que un canal esté cerrado, como en el caso de los conductos -- que sirven de alcantarillas para que circule el agua de desecho y que eventualmente se produzca alguna presión debida a la formación de gases por la descomposición de las materias en solución y en suspensión, pero ó es pequeña o tiene manera de escapar, por lo que el conducto se sigue considerando como canal. Concluyendo, la sección transversal de un canal puede tener cualquier forma; -- siendo las más comunes la forma trapecial y la circular.

La forma trapecial siendo abierta a la atmósfera es utilizada para el riego, de aquí que, la línea del gradiente hidráulico coincida con la superficie libre del agua, porque el canal se conserva a la presión atmosférica.

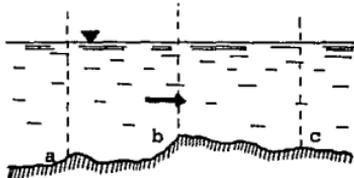
Podemos hacer la siguiente clasificación en cuanto a los modos de circulación: el régimen continuo o permanente, el régimen variado, el régimen uniforme, el régimen ondulatorio y el régimen creciente, además de los tipos de régimen existen varias formas -- para calcular el caudal para estos tipos de regímenes, como son; la fórmula de Chezy, La fórmula de Manning, la fórmula de Bazin y la fórmula de Kennedy.

Como podemos apreciar este capítulo es de vital importancia para poder lograr nuestro objetivo, el cual es el aprender el diseño de sistemas de canales para un mejor panorama y amplio en la Ingeniería Civil.

#### 4.1 Tipos de régimen

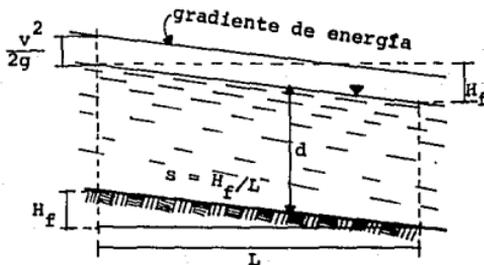
Como mencionamos anteriormente existen varios tipos de régimen, los cuales nos van a dar la pauta para saber como analizar cada caso de circulación de agua.

##### 4.1.1. Régimen Continuo o Permanente



Si en cada sección del canal, en los puntos a, b y c pasa el mismo gasto, se dice que el régimen es continuo o permanente; si NO se cumple esta condición el régimen es VARIABLE o variado.

##### 4.1.2. Régimen Uniforme



Si en el caso anterior sucede que la sección hidráulica del canal sea constante y por lo tanto las velocidades son las mismas en todos los puntos a lo largo del canal, en tal caso se dice que el régimen es UNIFORME. En este caso la pendiente ( $s$ ) del canal es exclusivamente la necesaria para vencer la fricción en el escurrecimiento; la superficie del agua y la rasante son paralelas.

## 4.1.3. Régimen Acelerado y Retardado

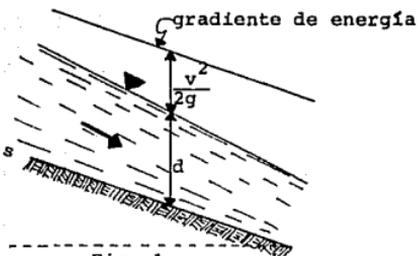


Fig. 1

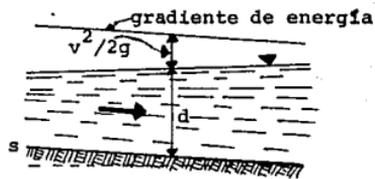


Fig. 2

Puede suceder que la pendiente del canal sea muy fuerte y en tonces el agua va adquiriendo mayor velocidad y el tirante va disminuyendo (fig. 1) o bien que el desnivel del canal sea muy pequeño y entonces las velocidades sean cada vez menores con el consi-guiente aumento del tirante (fig. 2). En ambos casos se dice que el régimen es variado; ACELERADO Y RETARDADO respectivamente.

## 4.1.4. Régimen Ondulatorio y Creciente

En el régimen variable puede suceder que las variaciones de gastos sean a pequeños intervalos de tiempo y rítmicas, alcanzando valores máximos y mínimos determinados, es decir, que el gasto esté oscilando continuamente, se dice entonces que el régimen es Ondulatorio.

Si el gasto aumenta o disminuye de una manera irregular, es decir sin seguir una ley, se dice que el régimen es CRECIENTE. Ge-neralmente las corrientes naturales son crecientes, es decir, no tienen gasto constante.

#### 4.2. Fórmulas para canales abiertos

En las fórmulas para canales abiertos se emplea la nomenclatura siguiente. Los coeficientes y otros símbolos especiales se describen con las fórmulas a las que se aplican.

$v$  = velocidad media del agua en metros por segundo

$r$  = radio hidráulico medio en metros,  $A/P$ , siendo  $A$  el área de la sección transversal de la corriente y  $P$  el perímetro mojado

$s$  = pérdida media de carga, debida al rozamiento, por metro =  $H_1/l$ , siendo  $H_1$  la pérdida de carga total en un tramo de longitud  $l$ . Por lo tanto, es la pendiente del gradiente de energía y, si la corriente es uniforme, es también la pendiente de la superficie libre del agua y la pendiente del canal.

Las fórmulas para canales abiertos expresan corrientemente  $v$  en función de  $r$  y  $s$ , y toman por lo general la siguiente forma básica:

$$v = K'' r^y s^z$$

los valores del coeficiente  $K''$  y los exponentes  $y$  y  $z$  se seleccionan para que la fórmula concuerde con los datos experimentales disponibles. Los experimentos sobre canales abiertos contienen muchas discrepancias, y los diversos investigadores, al seleccionar los valores de los exponentes que creyeron más probables, dedujeron -- muchas fórmulas diferentes. Por lo general, se asignan valores -- constantes a  $y$  y  $z$ , y toda la variación se toma en cuenta por el coeficiente  $K''$ .

## 4.2.1 F6rmula de Chezy

La f6rmula m1s antigua para canales abiertos fue sugerida -- por Chezy en 1775. La f6rmula de Chezy se escribe generalmente en la forma siguiente:

$$v = c \sqrt{rs}$$

Est1 f6rmula, por lo limitado de los datos disponibles en -- ese tiempo, Chezy crey6 que "c" era constante. Investigadores pos teriores hallaron que "c" es funci6n de "r" y "s", as1 como de un coeficiente cuyo valor depende del grado de rugosidad del canal. Tambien var1a con las unidades empleadas.

## 4.2.1.1 F6rmula del coeficiente "c" de Kutter

La f6rmula siguiente para determinar "c" de la f6rmula de -- Chezy, dada a conocer por Gangillet y Kutter en 1869, esta f6rmula es la siguiente:

$$c = \frac{23 + \frac{0.00155}{s} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{r}} \left( 23 + \frac{0.00155}{s} \right)}$$

## 4.2.2 F6rmula del coeficiente "c" de Manning

Da el valor de "c" para la f6rmula de Chezy:

$$c = \frac{1}{n} r^{1/6} \quad , \text{ sustituyendo en la f6rmula de Chezy obtenemos:}$$

$$v = c \sqrt{rs} \quad , \text{ siendo } c = \frac{1}{n} r^{1/6} \quad , \text{ entonces resulta;}$$

$$v = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2} \quad , \text{ siendo esta f6rmula la expresi6n general de Manning.}$$

La expresi6n  $1/n$  de la f6rmula de Manning fue ideada para ha cer que se correspondan los valores de "n" con los de la f6rmula de Kutter.

En la siguiente tabla se dan los valores de  $n$ , para la fórmula de Kutter, en diferentes tipos de canales, dados por los autores de dicha fórmula.

$n = 0.009$	para madera bien cepillada
$n = 0.010$	para cemento puro
$n = 0.011$	para mortero de cemento con un tercio de arena
$n = 0.012$	para madera sin cepillar
$n = 0.013$	para sillería y obra de ladrillo bien colocado
$n = 0.015$	para obra basta de ladrillo
$n = 0.017$	para mampostería concertada
$n = 0.020$	para canales hechos en grava firme
$n = 0.025$	para canales y ríos en buenas condiciones
$n = 0.030$	para canales y ríos con piedras y yerbas
$n = 0.035$	para canales y ríos en malas condiciones

Estos valores no cubren el intervalo práctico actual y en muchos casos no concuerdan con los resultados experimentales posteriores.

Horton preparó una lista más completa de valores de  $n$  a partir de un estudio de los mejores experimentos disponibles. Estos valores se determinaron sólo para su empleo en la fórmula de Kutter, pero se aplican igualmente a la fórmula de Manning. La lista de coeficientes dada por Horton comprende prácticamente todo el intervalo de experimentos para cada clase de canal.

## 4.2.2.1 Aplicación de la fórmula de Manning

Para un mejor entendimiento primeramente describiremos la no menclatura que se utiliza, además de sus unidades.

$a$  = área de la sección del agua en el canal,  $m^2$

$p$  = perímetro mojado,  $m$

$r$  =  $a/p$  = radio hidráulico medio,  $m$

$l$  = longitud del tramo,  $m$

$v$  = velocidad media del agua,  $m/seg$

$Q$  =  $av$  = gasto total del canal,  $m^3/seg$

$H_1$  = pérdida de carga debida al rozamiento en el tramo,  $m$

$s$  =  $H_1/l$  = pérdida media de carga por metro, o sea, en  $m/m$

$D$  = profundidad máxima del agua,  $m$

$b$  = ancho en el fondo de un canal de fondo plano,  $m$

$T$  = ancho superior, o sea, ancho del canal en la superficie libre del agua,  $m$

$d$  = diámetro de un canal circular,  $m$

$n$  = coeficiente de rugosidad en la fórmula de Manning

$K$  y  $K'$  = factores de gasto.

Para la solución de problemas con la fórmula de Manning, ve remos que para determinar la velocidad, se emplea la fórmula en su forma original:

$$v = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

La pérdida de carga por metro en función de la velocidad es

$$s = \frac{n^2 v^2}{r^{1/3}}$$

La pérdida de carga total en un tramo de longitud  $l$  es

$$H_1 = \frac{ln^2 v^2}{r^{1/3}}$$

Para los canales de sección transversal irregular y los no tomados en cuenta en lo especificado para las fórmulas siguientes, el gasto se determina por la fórmula

$$Q = \frac{1}{n} ar^{2/3} s^{1/2}$$

Las fórmulas anteriores permiten la resolución simple y directa de los problemas en que interviene el gasto.

#### 4.2.3. Fórmula de Bazin

La siguiente fórmula fue propuesta por Bazin, al igual que la fórmula de Kutter determina el valor de  $c$  en la fórmula de Chezy.

$$c = \frac{87}{1 + \frac{m}{r}}$$

entonces la fórmula de Chezy quedaría de la siguiente manera

$$v = \frac{87}{1 + \frac{m}{r}} \frac{rs}{r}$$

en donde  $v$  es la velocidad, en metros por segundo,  $r$  es el radio hidráulico en metros, y  $m$  es el valor abstracto que depende de las características de rugosidad en las paredes. Bazin da los siguientes valores:

$m = 0.0602$  para cemento liso o madera cepillada

$m = 0.161$  para entablonado, sillería y ladrillo

$m = 0.46$  para mampostería concertada

$m = 0.85$  para canales de tierra de superficie muy regular

$m = 1.30$  para canales de tierra ordinarios

$m = 1.75$  para canales excepcionalmente bastos embarzados con yerbas y cantos rodados.

Tabla de valores de  $c$  calculados por la fórmula de Kutter para ser usados en la fórmula de Chezy  $v = c\sqrt{rs}$ .

$r \backslash s$	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060	0.065	0.070
Pendiente $s = 0.00005 = 1$ en 20 000 = 0.05 metro por kilómetro														
0.05	52	45	39	35	32	29	26	22	18	15	13	10	8.7	7.4
0.10	65	57	50	45	41	37	34	29	23	20	18	14	12	10
0.15	73	64	57	51	46	42	39	33	27	24	21	17	14	12
0.20	79	70	62	56	51	47	43	37	30	26	23	19	16	13
0.25	84	74	66	60	54	50	46	40	33	29	25	20	17	15
0.30	88	78	69	63	57	53	49	42	35	30	27	22	18	16
0.40	93	83	75	68	62	57	53	46	38	34	30	24	21	18
0.50	98	87	79	72	66	61	56	49	41	36	32	26	22	19
0.60	101	91	82	75	69	63	59	52	43	38	34	28	24	21
0.75	106	95	86	79	72	67	62	55	46	41	37	30	26	22
1.0	111	100	91	83	77	71	67	59	50	44	40	33	28	25
1.5	118	107	97	90	83	78	73	64	55	49	45	37	32	29
2.0	123	111	102	94	88	82	77	68	59	53	48	41	35	31
3.0	129	117	108	100	93	87	82	74	64	58	53	45	39	35
5.0	136	124	114	106	100	94	89	80	70	64	58	51	45	40
15.0	147	135	125	118	111	105	100	91	81	75	70	61	55	51
30.0	152	140	131	123	116	110	105	97	87	80	75	67	61	57
Pendiente $s = 0.0001 = 1$ en 10,000 = 0.1 metro por kilómetro														
0.05	59	51	45	40	36	32	29	25	20	17	15	12	9.5	8.0
0.10	71	62	55	49	45	41	37	32	26	22	19	15	16	11
0.15	79	69	62	55	50	46	42	36	29	26	22	18	16	13
0.20	84	74	66	60	54	50	46	39	32	28	25	20	17	14
0.25	88	78	70	63	58	53	49	42	35	30	27	22	18	15
0.30	92	81	73	66	60	55	51	44	37	32	28	23	19	17
0.40	97	86	77	70	64	59	55	48	40	35	31	25	21	18
0.50	100	90	81	74	67	62	58	50	42	37	33	27	23	20
0.60	103	92	84	76	70	65	60	53	44	39	35	29	24	21
0.75	107	96	87	80	73	68	63	55	47	41	37	31	26	23
1.5	116	105	96	88	82	76	71	63	54	48	44	37	32	28
2.0	120	109	99	92	85	80	75	66	57	51	47	39	34	30
3.0	125	113	104	96	89	84	79	71	61	55	50	43	38	33
5.0	129	118	109	101	94	88	83	75	66	60	55	47	42	37
15.0	137	126	117	109	102	96	91	83	74	68	63	55	50	45
30.0	141	129	120	112	106	100	95	87	78	72	67	59	54	49

\* Los valores de  $c$  son iguales para todas las pendientes cuando  $s = 1$  metro.

Tabla de valores de  $c$  calculados por la fórmula de Kutter para ser usados en la fórmula de Chezy  $v = c \sqrt{rs}$  (continúa)

$\frac{1}{n}$	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.017	0.020	0.025	0.03	0.04	0.05	0.06
Pendiente $s = 0.0002 = 1$ en 5 000 = 0.2 metro por kilómetro														
0.05	63	55	48	43	39	35	32	27	21	18	16	12	10	8.6
0.10	76	66	59	53	47	43	40	34	27	23	20	16	13	11
0.15	83	73	65	58	53	48	44	38	31	27	24	19	16	13
0.20	88	77	69	62	57	52	48	41	34	29	26	21	17	13
0.25	91	81	72	66	60	55	51	44	36	31	28	22	19	16
0.30	94	84	75	68	62	57	53	46	38	33	29	24	20	17
0.40	99	88	79	72	66	61	56	49	41	36	32	26	22	19
0.50	102	91	82	75	69	63	59	51	43	38	34	28	23	20
0.60	104	94	85	77	71	66	61	53	45	40	35	29	25	21
0.75	107	96	87	80	74	68	63	56	47	42	37	31	26	23
1.5	115	104	95	88	81	76	71	63	54	48	43	36	31	28
2.0	118	107	98	90	84	78	73	65	56	50	46	39	34	30
3.0	122	111	102	94	87	82	77	69	60	54	49	42	36	32
5.0	126	115	106	98	91	86	81	72	63	57	53	45	40	36
15.0	132	121	112	104	98	92	87	79	70	64	59	52	46	42
30.0	135	124	114	107	100	95	90	82	72	67	62	55	49	45
Pendiente $s = 0.0004 = 1$ en 2 500 = 0.4 metro por kilómetro														
0.05	66	58	51	45	40	36	33	28	22	19	17	13	11	8.9
0.10	78	69	61	54	49	45	41	35	28	24	21	17	14	12
0.15	85	75	67	60	55	50	46	39	32	28	24	19	16	14
0.20	89	79	71	64	58	53	49	42	35	30	27	21	18	15
0.25	93	82	74	67	61	56	52	45	37	32	28	23	19	16
0.30	96	85	76	69	63	58	54	47	39	34	30	24	20	17
0.40	100	89	80	73	67	62	57	50	41	36	32	26	22	19
0.50	103	92	83	76	69	64	59	52	44	38	34	28	24	20
0.60	105	94	85	78	71	66	61	54	45	40	36	29	25	22
0.75	108	97	88	80	74	69	64	56	47	42	38	31	26	23
1.5	115	104	95	87	81	75	70	62	53	48	43	36	31	28
2.0	118	106	97	90	83	78	73	65	56	50	45	38	33	29
3.0	121	110	101	93	86	81	76	68	59	53	48	41	36	32
5.0	124	113	104	96	90	84	79	71	62	56	51	44	39	35
15.0	130	118	109	102	95	90	85	77	67	62	57	50	44	40
30.0	132	121	112	104	98	92	87	79	70	64	60	52	47	43

Tabla de valores de  $c$  calculados por la fórmula de Kutter (termina)

$\frac{r}{s}$	0.009	0.010	0.011	0.012	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050		
Pendiente $s = 0.001 = 1$ en 1 000 = 1.0 metro por kilómetro														
0.05	60	59	52	46	42	38	34	29	23	20	17	13	11	9.2
0.10	80	70	62	56	50	46	42	36	29	25	22	17	14	12
0.15	86	76	68	61	56	51	47	40	33	28	25	20	16	14
0.20	91	80	72	65	59	54	50	43	35	31	27	22	18	15
0.25	94	83	75	68	62	57	52	45	37	33	29	23	19	17
0.30	97	86	77	70	64	59	54	47	39	34	30	25	21	18
0.40	100	90	81	73	67	62	58	50	42	37	33	27	22	19
0.50	103	93	84	76	70	64	60	52	44	39	35	28	24	21
0.60	105	95	86	78	72	66	62	54	45	40	36	30	25	22
0.75	108	97	88	81	74	69	64	56	47	42	38	31	27	23
1.5	115	104	95	87	80	75	70	62	53	47	43	36	31	27
2.0	117	106	97	89	83	77	72	64	55	50	45	38	33	29
3.0	120	109	100	92	86	80	75	67	58	52	48	40	35	32
5.0	123	112	103	95	89	83	78	70	61	55	50	43	38	34
15.0	128	117	108	100	94	88	83	75	66	60	56	49	43	39
30.0	130	119	110	102	96	90	85	77	68	63	58	51	46	42
Pendiente $s = 0.01 = 1$ en 100 = 10 metros por kilómetro														
0.05	69	60	53	47	43	38	33	30	24	20	17	14	11	9.4
0.10	81	71	63	57	51	47	43	36	30	25	22	18	14	12
0.15	87	77	69	62	56	51	47	41	33	29	25	20	17	14
0.20	91	81	73	66	60	55	50	43	36	31	27	22	18	16
0.25	95	84	75	68	62	57	53	46	38	33	29	23	20	17
0.30	97	87	78	71	64	59	55	48	40	35	31	25	21	18
0.40	101	90	81	74	68	62	58	50	42	37	33	27	23	19
0.50	104	93	84	76	70	65	60	53	44	39	35	28	24	21
0.60	106	95	86	78	72	67	62	54	46	40	36	30	25	22
0.75	108	97	88	81	74	69	64	56	48	42	38	31	27	23
1.5	115	103	94	87	80	75	70	62	53	47	43	36	31	27
2.0	117	106	96	89	82	77	72	64	55	49	45	38	33	29
3.0	120	108	99	92	85	80	75	67	58	52	47	40	35	31
5.0	123	111	100	93	88	83	78	70	61	55	50	43	38	34
15.0	127	116	107	99	93	87	82	74	65	59	55	48	43	39
30.0	129	118	109	101	95	89	84	76	67	62	57	50	45	41

Nota. Para pendientes mayores de 0.01,  $c$  permanece prácticamente constante.

Tabla de valores de m para la fórmula de Bazin.

	Óptimo	Bueno	Regular	Malo
Tubería de tubo vitrificado para albañal . . . . .	0.055	0.22	0.33	0.50
Tubería de arcilla, común, para drenaje . . . . .	0.11	0.17	0.28	0.50
Fábrica de ladrillo vidriada . . . . .	0.055	0.14	0.22	0.33
Ladrillo en mortero de cemento . . . . .	0.14	0.22	0.33	0.50
Superficies de cemento puro . . . . .	0.000	0.055	0.14	0.22
Superficies de mortero de cemento . . . . .	0.055	0.11	0.22	0.33
Tubería de hormigón . . . . .	0.138	0.22	0.33	0.41
Conductos de entablado cepillado . . . . .	0.000	0.14	0.22	0.28
Conductos de entablado sin cepillar . . . . .	0.055	0.22	0.20	0.33
Conductos de entablado, con listones . . . . .	0.138	0.33	0.41	0.55
Canales revestidos de hormigón . . . . .	1.38	0.28	0.41	0.55
Mampostería concertada . . . . .	0.50	0.69	1.05	1.38
Mampostería en seco . . . . .	1.05	1.38	1.60	1.74
Obra de sillería . . . . .	0.22	0.28	0.36	0.50
Conductos metálicos lisos . . . . .	0.055	0.14	0.22	0.33
Conductos metálicos ondulados . . . . .	0.893	1.05	1.21	1.38
Canales de tierra en buenas condiciones . . . . .	0.50	0.69	0.78	1.05
Canales de tierra con maleza, rocas, etc. . . . .	1.05	1.38	1.74	2.10
Canales excavados en roca . . . . .	1.38	1.74	2.04	2.32
Corrientes naturales en buenas condiciones . . . . .	1.05	1.30	1.74	2.10
Corrientes naturales con maleza, rocas, etc. . . . .	1.74	2.43	3.48	4.86

Tabla de valores de c calculados por la fórmula de Bazin para ser usados en la fórmula de Chezy  $v = c \sqrt{rs}$ .

Radio hidráulico, r, en metros	$\frac{m}{0.002}$	$\frac{m}{0.121}$	$\frac{m}{0.460}$	$\frac{m}{0.850}$	$\frac{m}{1.50}$	$\frac{m}{1.75}$
0.025	67.8	43.1	22.3	13.6	9.43	7.21
0.050	68.5	50.6	20.5	18.1	12.8	9.86
0.075	71.3	54.8	32.5	21.2	15.1	11.8
0.100	73.1	57.6	35.4	23.6	17.0	13.3
0.125	74.3	59.8	37.8	25.6	18.6	14.6
0.15	75.3	61.5	39.8	27.2	20.0	15.8
0.20	76.7	64.0	45.3	30.0	22.3	17.7
0.25	77.7	65.8	42.9	32.2	24.2	19.3
0.30	78.4	67.2	47.3	34.1	25.8	20.7
0.40	79.4	69.4	50.4	37.1	28.5	23.1
0.50	80.2	70.9	52.7	39.5	30.7	25.0
0.60	80.7	72.0	54.6	41.5	32.5	26.7
0.70	81.2	73.0	56.1	43.2	34.1	28.1
0.80	81.5	73.7	57.5	44.6	35.5	29.4
0.90	81.8	74.4	58.6	45.9	36.7	30.6
1.0	82.1	74.9	59.6	47.0	37.8	31.6
1.5	82.9	76.9	63.2	51.4	42.2	35.8
2.0	83.4	78.1	65.6	54.3	45.3	38.9
2.5	83.8	79.0	67.4	56.6	47.7	41.3
3.0	84.1	79.6	68.7	58.4	49.7	43.3
4.0	84.5	80.5	70.7	61.0	52.7	46.4
5.0	84.7	81.2	72.2	63.0	55.0	48.8
10.0	85.4	82.0	75.9	68.6	61.6	56.0
12.0	85.5	83.1	76.8	69.9	63.3	57.8
15.0	85.7	83.5	77.8	71.3	65.1	59.9

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## 4.2.4. Fórmula de Kennedy

En el proyecto de canales es muy conveniente tener en cuenta el efecto de depósito de azolves, que aparte de la naturaleza de las aguas de cada caso particular (más o menos cargadas de material en suspensión) se fomenta por ser muy pequeña la velocidad de circulación, esto origina mayores gastos de conservación y a veces obliga a construir los canales con una capacidad doble o triple para preveer efectos de azolve.

Si por el contrario, se proyectan canales con una velocidad de circulación muy grande, entonces el agua erosiona el fondo y las paredes, modificando tanto la sección como las rasantes de -- proyecto originando a veces un incorrecto funcionamiento de las -- estructuras en los canales; hay una cierta relación entre clase -- de material, tirante y velocidad del agua, en la cual los efectos de depósito de azolves y erosión son prácticamente nulos. Robert G. Kennedy estudio el efecto de depósito de los limos en canales de riego, y como resultado de sus experimentos llegó a la siguiente fórmula empírica:

$$v = 0.548 d^{0.64}$$

En la cual  $v$  es la velocidad en metros por segundo que no -- produce erosión ni depósitos de azolves, y  $d$  es el tirante del -- agua en metros. En realidad los coeficientes que da Kennedy tienen los siguientes valores:

Arena liviana, de poco peso .....	0.535
Suelo arenoso .....	0.587
Marga, limo arenoso .....	0.641
Azolve más pesado .....	0.700

Sin embargo, en la práctica, se ha adoptado generalmente el coeficiente 0.548 y como velocidad mínima, la de un 80% de ésta:

$$v = 0.437 d^{0.64}$$

y en algunos casos particulares de material más abundante y pesado en suspensión, una velocidad máxima de 20% más:

$$v = 0.658 d^{0.64}$$

#### 4.2.4.1 Velocidades medias máximas que NO erosionan

Tierra arenosa muy fina ó limo suelto .....	0.15 m/seg
Arena .....	0.30 m/seg
Tierra arenosa ligera, 15% de arcilla .....	0.37 m/seg
Barro arenoso ligero, 40% de arcilla ....	0.55 a 0.61 m/seg
Arena gruesa .....	0.46 a 0.61 m/seg
Tierra suelta con grava .....	0.76 m/seg
Barro .....	0.76 m/seg
Tierra o barro compactados, 65% de arcilla ....	0.92 m/seg
Barro arcilloso estable .....	1.22 m/seg
Arcilla con grava, compactadas .....	1.52 a 2.14 m/seg
Arcilla compactada, jaboncillo .....	1.83 m/seg
Conglomerados, esquistos, pizarras .....	1.98 m/seg
Rocas estratificadas .....	2.44 m/seg
Guijarros, cantos rodados chicos .....	2.44 a 4.57 m/seg
Roca dura .....	4.07 m/seg
Concreto .....	4.57 a 6.10 m/seg

Esta tabla nos muestra varios tipos de materiales para la -- construcción de canales, con sus velocidades medias máximas que -- no erosionan , ya que si sobrepasamos el intervalo indicado podre mos tener problema por el azolve.

### 4.3 Capacidad de canales de riego

Aunque no se pueden emplear rigurosas ecuaciones para el cálculo de la capacidad de canales, en función de la superficie que va a ser regada, puesto que son tantos y tan variados los factores que afectan dicha capacidad. En la planeación de algunos proyectos de riego, se sigue el siguiente criterio;

Una toma tiene la capacidad para derivar un gasto de  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$

Una toma doble su capacidad para derivar es:  $Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$

Una toma triple su capacidad para derivar es:  $Q = 0.35 \text{ m}^3/\text{s}$

como el riego se efectúa por tanteos, al proyectar canales se considera que:

Una toma simple riega una superficie de 25 hectáreas

Una toma doble riega una superficie de 50 hectáreas

Una toma triple riega una superficie de 75 hectáreas.

Para regar de 300 a 700 hectáreas, el gasto requerido es: ---  
 $Q = 0.002 S$ , o bien  $S = 500 Q$ .

Para regar más de 1 400 hectáreas:  $Q = 0.001 (S - 1)$  o bien  
 $S = 1 000 (Q - 1)$ .

Para los dos casos anteriores,  $Q$  = gasto en metros cúbicos - por segundo y  $S$  = superficie regada, en hectáreas.

En cada región se puede modificar la capacidad de los canales, en atención a diferentes factores locales, tales como clase de suelo y cultivos de la región, pues por ejemplo, para terrenos muy arenosos y permeables, puede justificarse un aumento de 10% o 20% y en el caso de estarquinamientos, este aumento puede llegar hasta el 50% e inclusive al 100%.

#### 4.4 Salto hidráulico

El salto hidráulico ocurre cuando hay un conflicto entre los controles que se encuentran aguas arriba y aguas abajo, los cuales influyen en la misma extensión del canal. Por ejemplo, si el control de agua arriba causa un flujo supercrítico cuando el control de aguas abajo dicta un flujo subcrítico, entonces hay un -- conflicto que puede resolverse únicamente si existe algún medio -- por el cual el flujo pase de un régimen a otro. La evidencia experimental sugiere que el cambio del flujo de un régimen supercrítico a uno subcrítico puede ocurrir muy abruptamente mediante un fenómeno conocido como SALTO HIDRAULICO.

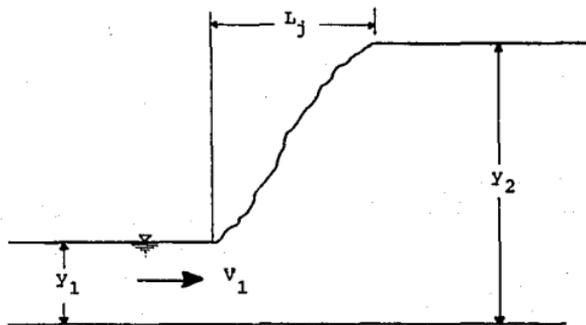
El salto hidráulico puede tener lugar ya sea, sobre la superficie libre de un flujo homogéneo o en una interfase de densidad de un flujo estratificado. En cualquiera de los casos, el salto hidráulico va acompañado por una turbulencia importante y una disipación de energía. En el campo del flujo en canales abiertos, -- el salto hidráulico suele tener muchas aplicaciones, entre las -- que se incluyen:

- 1.- La disipación de energía en flujos sobre diques, vertederos y otras estructuras hidráulicas.
- 2.- El mantenimiento de altos niveles de agua en canales que se utilizan para propósitos de distribución de agua.
- 3.- Incremento del gasto descargado por una compuerta deslizante al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta, esto -- aumenta la carga efectiva y con ella la descarga.
- 4.- La reducción de la elevada presión bajo las estructuras mediante la elevación del tirante del agua sobre la guarnición de defensa de la estructura.
- 5.- La mezcla de sustancias químicas usadas para la purificación o el tratamiento de agua.
- 6.- La aerificación de flujos y el desclorinado en el tratamiento de agua.

- 7.- La remoción de bolsas de aire con flujo de canales abiertos - en canales circulares.
- 8.- La identificación de condiciones especiales de flujo, como la existencia del flujo supercrítico o la presencia de una sección para la medición de la razón efectividad-costo del flujo.

#### 4.4.1 Longitud del salto hidráulico

Aunque la longitud de un salto hidráulico es un parámetro importante en el diseño, es general ésta no puede establecerse de - condiciones teóricas. La longitud del salto hidráulico  $L_j$  se define como la distancia que existe desde la cara frontal del salto hasta un punto inmediato sobre la superficie del flujo aguas aba- jo de la ola asociada con el salto.



Definición esquemática del salto hidráulico y longitud de la ola.

Los datos experimentales sobre la longitud del salto se pueden dibujar convenientemente con el número de Froude  $F_1$  contra la relación adimensionalada  $L/(y_2 - y_1)$ ,  $L/y_1$  o  $L/y_2$ . El dibujo de  $F_1$  contra  $L/y_1$  es probablemente el mejor, pues la curva resultante - puede ser definida mejor por los datos.

Para propósitos prácticos, sin embargo, es deseable el dibujo de  $F_1$  contra  $L/y_2$ , porque la curva resultante muestra regularidad o una ligera porción plana para el rango de saltos bien definidos.

#### 4.4.2 Tipos de salto hidráulico

Los saltos hidráulicos sobre piso horizontal son de varios tipos distintos, estos tipos se pueden clasificar convenientemente de acuerdo al número de Froude  $F_1$  del flujo proximo, como se describe a continuación:

Para  $F_1 = 1$ , el flujo es crítico, y de aquí, no se puede formar ningún salto.

Para  $F_1 = 1$  a 1.7, la superficie del agua muestra ondulaciones, y el salto es llamado SALTO ONDULAR.



Para  $F_1 = 1.7$  a 2.5 una serie de pequeños rollos se desarrollan sobre la superficie del salto, pero la superficie del agua, aguas abajo, permanece lisa. La velocidad a lo largo es ligeramente uniforme, y la pérdida de energía es baja. Este salto se denomina -- SALTO DEBIL.



Para  $F_1 = 2.5$  a  $4.5$ , hay un chorro oscilante entrando al salto del fondo a la superficie y atrás otra vez sin periodicidad. Cada oscilación produce una gran onda de periodo irregular, la cual comúnmente en canales, puede viajar por millas haciendo daño ilimitado a bancos de tierra y piedras sueltas. Este salto es llamado SALTO OSCILANTE.



Para  $F_1 = 4.5$  a  $9.0$ , la extremidad aguas abajo del rolo de la superficie y el punto en el cual el chorro de alta velocidad tiene a dejar el flujo ocurre a prácticamente la misma sección vertical. La acción y posición de este salto son menos sensibles a la variación en la profundidad aguas abajo, el salto está bien balanceado y el rendimiento es el mejor. La disipación de energía varía desde 45 a 70%. Este salto se le conoce como SALTO PERMANENTE.



Para  $F_1 = 9.0$  y más grande, el chorro de alta velocidad agarra golpes intermitentes de agua rodando hacia abajo de la cara del frente del salto, generando ondas aguas abajo.

La acción del salto es áspera pero efectiva ya que la disipación de energía puede alcanzar un 85%. Este salto se puede llamar un SALTO FUERTE.



Debemos de considerar que los rangos del número de Froude da dos arriba para los diversos tipos de salto no son cortes nítidos si no que se sobrelapan a una cierta extensión dependiendo de con diciones locales. Además debemos de recordar que;

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}$$

#### 4.4.3 Salto hidráulico en canales rectangulares

Para flujo supercrítico en un canal horizontal rectangular, la energía del flujo está disipada a través de resistencia friccional a lo largo de un canal, resultando una disminución en velo cidad y un aumento en profundidad en la dirección del flujo. Un salto hidráulico se formará en canal si el número de Froude  $F_1$  -- del flujo, la profundidad del flujo  $y_1$ , y una profundidad aguas abajo  $y_2$  satisfacen la siguiente ecuación:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

**CAPITULO 5 DISEÑO DE SISTEMAS DE CANALES**

Para un mejor entendimiento de diseño de sistemas de canales estudiaremos simultáneamente la teoría con la aplicación de ésta para una zona de riego.

## 5.1 Consideraciones preeliminares

Estas consideraciones ya fueron mencionadas en las páginas - 30, 33 y 34, , pero además existen otras, las cuales detallan como diseñar un sistema de canales para el riego, siendo estas las siguientes:

### 5.1.1 Trazado de canales

El trazado de canales se rige principalmente por la topografía; pero se ve afectado por las características agrícolas, económicas y de ingeniería de la zona de que se trate.

El canal principal sigue la elevación mayor y los canales laterales o de distribución se encuentran en las elevaciones menores, para la localización del canal principal debemos de considerar lo siguiente

1.- Debe trazarse siguiendo aproximadamente una curva de nivel de manera que se domine la mayor superficie posible de tierras.

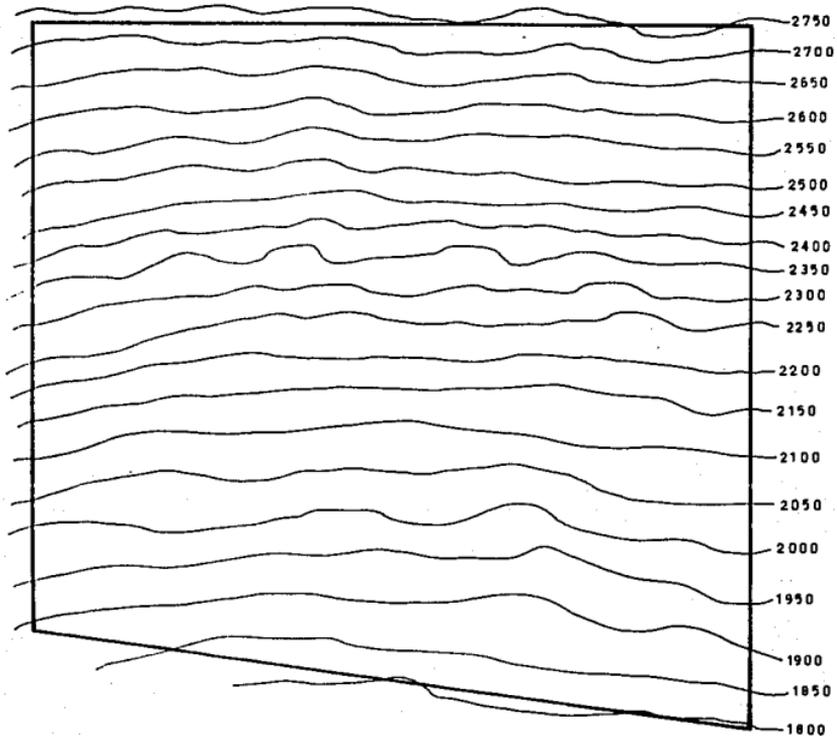
De este aspecto de pueden dar dos casos:

1.1 cuando el terreno tiene una topografía plana o ligeramente ondulada.

1.2 cuando el terreno presenta una topografía muy movida, llegando a ser en algunos casos extremadamente abrupta.

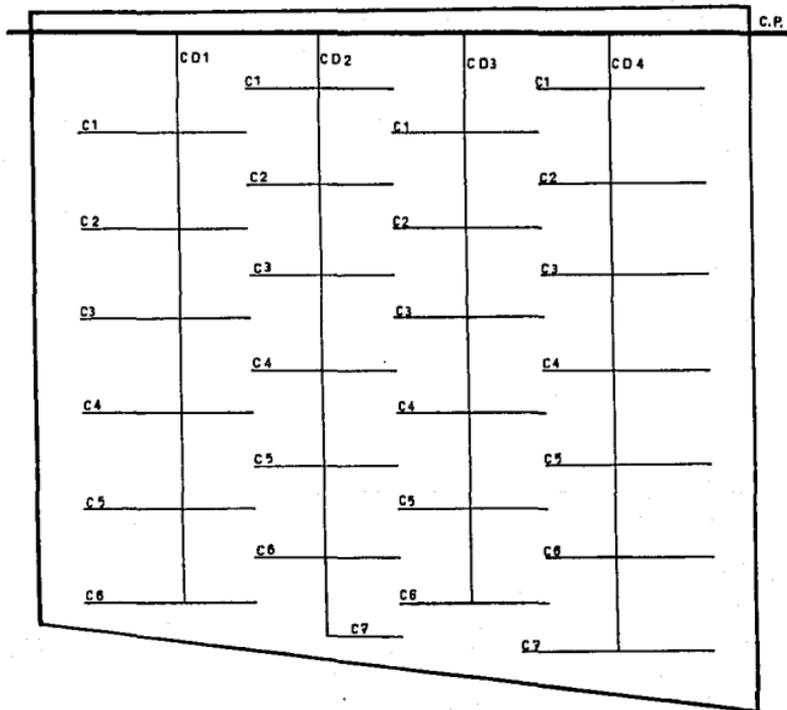
Si la superficie del terreno es esencialmente un plano inclinado, el canal principal se encauza para que descienda suavemente de la mayor elevación del contorno.

Los canales de distribución alimentan a los cursos de agua y estos últimos a los canales de suministro de las propiedades agrícolas.



4 Km<sup>2</sup>

Escala : 1:100 000



A continuación proporcionaremos los datos que podemos obtener del dibujo de la planicie destinada a zona de cultivo por riego - artificial (canales) y con el trazado de los canales, además de utilizar la misma nomenclatura y la fórmula de la pendiente en su expresión más simple;

CP = canal principal

longitud del canal = 16,000 metros

desnivel del canal = cero metros

pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)

CD1 = canal de distribución uno

longitud del canal = 12,000 metros

desnivel del canal = 810 metros

pendiente del canal = 0.067 milésimas

C1 = canal uno

longitud del canal = 3 500 metros

desnivel del canal = 10 metros

pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)

C2 = canal dos

longitud del canal = 3 500 metros

desnivel del canal = 30 metros

pendiente del canal = 0.008 milésimas

C3 = canal tres

longitud del canal = 3 500 metros

desnivel del canal = 40 metros

pendiente del canal = 0.011 milésimas

C4 = canal cuatro

longitud del canal = 3 500 metros

desnivel del canal = 35 metros

pendiente del canal = 0.01 milésimas

C5 = canal cinco

longitud del canal = 3 500 metros

desnivel del canal = 10 metros

pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)

- C6 = canal seis  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)
- CD2 = canal de distribución dos  
longitud del canal = 12 800 metros  
desnivel del canal = 850 metros  
pendiente del canal = 0.066 milésimas
- C1 = canal uno  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = cero metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)
- C2 = canal dos  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.005 milésimas
- C3 = canal tres  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.003 milésimas
- C4 = canal cuatro  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.003 milésimas
- C5 = canal cinco  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.005 milésimas
- C6 = canal seis  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 5 metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)

- C7 = canal siete  
longitud del canal = 1 600 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.006 milésimas
- CD3 = canal de distribución tres  
longitud del canal = 12000 metros  
desnivel del canal = 820 metros  
pendiente del canal = 0.068 milésimas
- C1 = canal uno  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.003 milésimas
- C2 = canal dos  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.005 milésimas
- C3 = canal tres  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 5 metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)
- C4 = canal cuatro  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 20 metros  
pendiente del canal = 0.006 milésimas
- C5 = canal cinco  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.005 milésimas
- C6 = canal seis  
longitud del canal = 3 000 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.003 milésimas

- CD4 = canal de distribución cuatro  
longitud del canal = 13 100 metros  
desnivel del canal = 845 metros  
pendiente del canal = 0.064 milésimas
- C1 = canal uno  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.004 milésimas
- C2 = canal dos  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = cero metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)
- C3 = canal tres  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 10 metros  
pendiente del canal = 0.002 milésimas (pendiente mínima)
- C4 = canal cuatro  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 35 metros  
pendiente del canal = 0.01 milésimas
- C5 = canal cinco  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 40 metros  
pendiente del canal = 0.011 milésimas
- C6 = canal seis  
longitud del canal = 3 500 metros  
desnivel del canal = 45 metros  
pendiente del canal = 0.012 milésimas
- C7 = canal siete  
longitud del canal = 4 000 metros  
desnivel del canal = 15 metros  
pendiente del canal = 0.003 milésimas.

Ahora definiremos algunos aspectos fundamentales para una adecuada planeación y diseño de el sistema de canales de riego, - después se tratara lo de la fuente de suministro.

### 5.1.2 Alzado de canales

El alzado es la elevación del nivel de agua del canal sobre el nivel de los terrenos adyacentes, es uno de los principales parámetros para el diseño de sistemas de canales, mientras que el otro la descarga que se requiere en cualquier punto para servir a la zona situada bajo ellos.

En un sistema típico de riego superficial, el agua sale del canal de distribución a través de una toma o una estructura de salida, pasa por un curso de agua por el sistema de canales agrícolas y llega a la tierra. El alzado en la salida de distribución, complementado por la inclinación del terreno al alejarse del punto de suministro, proporciona la energía para la conducción subsiguiente del agua a la tierra. Un aumento de alzado da como consecuencia lo siguiente:

- 1.- las alturas de los bordes de los canales y, por ende,
  - 1.1.-cantidades de tierra;
- 2.- los niveles de agua en relación al nivel freático y, por lo tanto
  - 2.1.- las filtraciones 0
  - 2.2.- medidas para evitar las infiltraciones;
- 3.- los daños que se pueden causar al producirse alguna rotura.

El punto crítico para el alzado es el de las zanjas de suministro del terreno. En la mayoría de los casos es razonable en valor de 150 mm. Dejando margen para las pérdidas de presión en el sistema de canales agrícolas y la estructura de salidas de distribución, una buena cifra de trabajo, para el alzado en los canales de distribución es de 250 a 300 mm.

### 5.1.3 Consideraciones agrícolas

En primer lugar se determina el tamaño unitario de las propiedades que deberá ser suficiente para resultar económicamente viable. Mediante un plano de contorno se muestra el trazado preliminar de los canales, se dividen las tierras en lotes del tamaño seleccionado. Después se trazan los canales alimentadores de las propiedades a distancias tan grandes como sea posible, de acuerdo con los contornos, dejando margen para una inclinación estándar de la superficie del agua. Se verifica que cada propiedad tenga una extensión apropiada bajo el nivel de alzado de su punto de suministro.

Es muy posible que haya zonas pequeñas de algunas propiedades agrícolas que no se puedan colocar en niveles más bajos que el del agua de suministro, a menos que se utilice un bombeo en el terreno, hay que verificar los lotes agrícolas sobre el mapa de suelos. Los cambios importantes de los suelos al interior de un terreno causan dificultades para el cultivo y la aplicación del agua de riego.

Es importante que el lote agrícola se pueda dividir en parcelas que no incluyan dos o más tipos de suelos completamente distintos y que, de todos modos, tengan un tamaño y una forma que -- permitan el empleo eficiente de las máquinas, a menos que el proyecto sea solo para la agricultura campesina manual.

Los terrenos deberán ser adecuados, asimismo, para la conformación de las parcelas en forma que vaya de acuerdo con los métodos de riego que se vayan a utilizar, sin desplazamientos de cantidades excesivas de tierra. El problema de la fijación de los límites entre propiedades agrícolas tiene probabilidades de resolverse por medio de una simple división geométrica de las tierras, cuando la topografía y los tipos de suelos sean excepcionalmente uniformes.

#### 5.1.4 Descarga del canal y derechos de agua

Los derechos de agua, las necesidades de agua para el riego, se expresan de maneras diversas, como la capacidad de flujo de un canal por unidad de superficie servida, el área servida por unidad de flujo o la profundidad del agua para el riego de algún cultivo dado. Hay dos enfoques distintos para efectuar esta evaluación.

El método deductivo, se utilizan datos de flujos de un sistema de riego que esté funcionando bien, para proporcionar flujos - de diseño por unidad de superficie para nuevos sistemas. Por ejemplo, mediante la observación y la medición de la descarga del drenaje y la aplicación de agua al terreno, los antiguos derechos de aguas de diseño se pueden ajustar para dar cabida a los mejoramientos esperados en la construcción y el funcionamiento del nuevo sistema.

El método inductivo se deriva de datos climatológicos y características de uso de agua por las plantas. Para evaluar el uso de consumo mensual (en mm de profundidad del agua) de los cultivos en perspectiva, a lo largo de todos los ciclos de crecimiento esos valores se ajustan para tomar en consideración las necesidades de lixiviación y las infiltraciones profundas inevitables.

Se pueden tomar en cuenta las precipitaciones pluviales; pero será preciso evaluar tanto el periodo de repetición de un patrón dado de precipitaciones mensuales como la distribución de -- las lluvias en el mes. Por ejemplo, si el uso estimado de agua para un cultivo es de 90 mm en el mes de julio, se producen precipitaciones pluviales de 80 mm o más en nueve de cada diez años y el intervalo de riego es de 10 días, las lluvias solo reducirán la - capacidad necesaria del sistema de canales, cuando estén distribuidas uniformemente durante el mes en cuestión.

En el caso de que los 80 mm caigan en una tormenta el día 1° de julio, se perderán 50 mm por escurrimientos superficiales o infiltraciones profundas y se deberá suministrar el total de las necesidades de agua para los cultivos durante los 20 últimos días - del mes.

Se pueden calcular los derechos de agua en términos de flujo del canal por unidad de superficie de cultivo, asumiendo inicialmente un flujo continuo para suministrar la profundidad requerida.

$$q_n = \frac{d}{255} \text{ litros/seg}$$

donde  $q_n$  = flujo promedio en el canal/hectárea de cultivo n  
 $d$  = profundidad bruta de riego por mes (mm), o sea, la profundidad neta ajustada a las pérdidas y las lluvias.

El flujo del canal en cualquier punto del sistema es la suma de los flujos que se requieren para cada cultivo en la zona servida, dividida por la eficiencia de la conducción en las propieda--des agrícolas.

$$q_{ave} = \frac{\sum q_n A_n}{n_f \sum A_n}$$

donde  $q_{ave}$  = flujo promedio de salida de distribución por -- unidad de área.  
 $q_n$  = flujo por unidad de área para el cultivo n (el barbecho se considera como un cultivo de uso nulo de agua)  
 $A_n$  = área bajo el cultivo n  
 $n_f$  = eficiencia de conducción en la propiedad agrícola.

En esta etapa no se deja margen para las pérdidas en los canales de distribución a para la naturaleza periódica de las necesidades de agua del terreno.

El diseño del sistema de canales se puede hacer sobre la base de:

- a) una rotación estricta
- b) a la demanda
- c) rotación con cierta flexibilidad para las fluctuaciones de la demanda.

Es conveniente que el flujo en el canal principal sea continuo, con variaciones lentas, debidas a los cambios de estaciones y los ciclos de crecimiento de las plantas. En el terreno, la necesidad de agua es periódica; la cantidad de agua por riego y el intervalo entre aplicaciones dependen del índice de evapotranspiración, la profundidad a que se encuentren las raíces de las plantas y la capacidad de retención de humedad del suelo.

La siguiente figura muestra un grupo de cuatro reguladores -adyacentes con dos tomas directas cercanas, que se prestarán a la rotación con dos o tres grupos. La rotación y el periodo de suministro en cada conjunto se escogen de tal modo que se ajusten a las necesidades agrícolas, excepto en las épocas de escasez de agua, cuando la rotación se convierte en un sistema de distribución equitativa de las existencias disponibles.

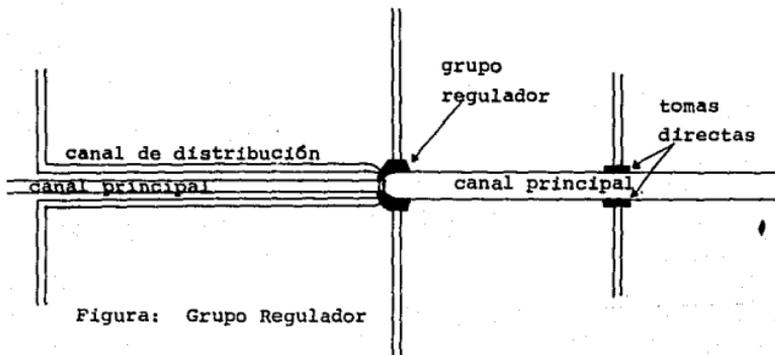


Figura: Grupo Regulador

Descarga. Por lo general, cada toma de distribución sirve a una superficie igual de tierras que tiene bajo su dominio. En el plano del canal se anotan todas las variaciones en función de las tomas o salidas.

El método deductivo para la estimación de los deberes del -- agua proporciona valores directos para los derechos de agua del -- canal principal y los de distribución, incluyendo todas las pérdi das. El método inductivo tiene la desventaja de que se deben calcular las pérdidas en los canales y las eficiencias de riego; pero tiene capacidad para enfrentarse a las nuevas situaciones y le permite al diseñador comprobar los efectos de distintos patrones de cultivo sobre el flujo del canal.

## 5.2 Diseño de canales

Existen varios factores que se deben tomar en consideración en el diseño de un canal para riego, siendo estos los que mencionamos a continuación.

- 1.- Las necesidades agrícolas básicas establecen la descarga y el perfil de la superficie del agua.
- 2.- Los taludes laterales están limitados por la resistencia de los materiales.
- 3.- La carga de lodo y la estabilidad del lecho del canal imponen limitaciones a la velocidad del flujo y la sección del canal.
- 4.- El diseño final toma en cuenta la economía y los medios de construcción.

Estos cuatro factores son de vital importancia para el diseño de el canal, en el segundo inciso podemos hacer lo siguiente.

### 5.2.1 Taludes laterales

Los canales suelen construirse con materiales de los suelos inmediatamente adyacentes, que tienden a tener características variables y, por ende, raramente se justifica el análisis detallado de la estabilidad de los taludes. En general, las pendientes deberán ser menos pronunciadas para los canales profundos.

Se pueden elegir pendientes menos pronunciadas que el máximo por consideraciones prácticas, tales como el peligro de que el ganado se caiga al canal.

En la siguiente tabla se muestran las pendientes máximas de taludes para los materiales más comunes.

pendientes máximas de los bordes del canal (Z)

---

Arcilla arenosa blanda .....	3:1 (hor-vert)
Arcilla arenosa, marga limosa .....	2:1
Arcilla fina, marga arcillosa .....	1 1/2:1
Asfaltado sobre marga arcillosa .....	1:1
Arcilla rígida con revestimiento .....	1/2 - 1:1
de concreto	
Roca .....	la pendiente depende de los planos de deposición y las fisuras, y es de hasta 90°.

---

La sección más económica, calculada bajo la suposición de - que corresponde al área mínima de sección transversal del flujo - para una descarga, una pendiente y un coeficiente de aspereza dados, es un semicírculo y la sección trapezoidal más económica es la mitad de un hexágono regular, o sea, pendiente =  $1\sqrt{3}$ .

Desde un punto de vista práctico, esas pendientes son raramente aplicables. Por lo común, la limitación de la estabilidad de los bordes del canal impide el uso de pendientes tan pronunciadas.

### 5.2.2 Franqueo superior y capacidad de escape

El franqueo superior, o sea, la altura del borde del canal sobre el nivel de agua de diseño, es superior como protección contra los desbordamientos debidos a las obras y las fluctuaciones inesperadas del nivel del agua.

Para la estimación del franqueo podemos dar la siguiente fórmula, la cual varía dependiendo del coeficiente "C".

$$F = Cy$$

donde F = franqueo superior en metros

y = profundidad de la corriente en metros

C = es un coeficiente que varía de 0.46 para una capacidad de canal de  $0.56 \text{ m}^3/\text{seg}$  a 0.76 para una capacidad de canal de  $85 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

La estimación preliminar se puede ajustar para los riesgos conocidos, tales como la entrada de agua de lluvia y la acción -- del viento.

### 5.2.3 Aspereza del canal

Deduciendo la fórmula de Manning para este fin, podemos hacer lo siguiente.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad \text{unidades métricas}$$

donde V = velocidad media (m/seg)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente del lecho (m/m)

n = coeficiente de aspereza de Manning.

Por lo tanto, la descarga, Q, está dada por:

$$Q = AV = \frac{AR^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

donde A = área de la sección transversal.

El valor del coeficiente "n" se ve afectado por varios factores como son:

- 1.- aspereza de la superficie.
- 2.- irregularidad de la sección.
- 3.- obstrucciones para el flujo.
- 4.- geometría del canal.
- 5.- altura y densidad de la vegetación.
- 6.- aplastamiento de la vegetación con flujos elevados.
- 7.- carga de sedimentos.

La aspereza varía durante el uso, desde un valor mínimo, poco después de la construcción o el mantenimiento, hasta un nivel máximo tolerado.

Coeficiente de aspereza de Manning "n"

Tipo de superficie	Gama de coeficientes de aspereza
Cemento neto	0.010 - 0.013
Mortero de cemento	0.011 - 0.015
Tablas aplanadas	0.010 - 0.014
Concreto	0.012 - 0.018
Escombros secos	0.025 - 0.035
Escombros de cemento	0.017 - 0.030
Tierra lisa y uniforme	0.017 - 0.025
Cortes de rocas, filosos e irregulares	0.035 - 0.045
Cortes de rocas, lisos y uniformes	0.025 - 0.035
Canales de tierra dragados	0.025 - 0.033
Canales con lechos pedregosos irregulares y vegetación en los bordes	0.025 - 0.040
Canales confondo de tierra y bordes de escombros	0.028 - 0.035

Estos coeficientes son los más utilizados para el diseño de canales para riego.

Casi siempre es posible encontrar canales existentes que sean similares a los propuestos para un nuevo sistema. Se pueden tomar mediciones sobre el terreno en canales representativos de las gamas de canales y las condiciones que se esperan. Si no existen canales de esa índole, se deberán utilizar en el diseño valores - conservadores de "n", comprobándose sobre el terreno en cuanto resulta posible.

Acontinuación se diseñará y calculará cuanta agua se necesita para un cultivo de algodón, para de ahí obtener el gasto de diseño. Aprovecharemos además la alternativa de utilizar un pozo -- profundo para la extracción del agua requerida para el riego del cultivo.

Todos los factores antes citados ( capítulo tres ) combinados influyen para determinar el uso consuntivo del agua y como todos ellos varían de unas condiciones a otras, también el uso consuntivo es de naturaleza variable.

El conocimiento de la evapotranspiración o uso consuntivo es un factor determinante en los sistemas de riego, incluyendo las - obras de almacenamiento, conducción, distribución, etc. , especialmente el volumen útil de una presa para abastecer alguna zona - de riego depende en gran medida del uso consuntivo.

Métodos utilizados en México para el cálculo del uso consuntivo:

- 1.- Método de Thorntwaite
- 2.- Método de Blaney - Criddle

- 1.- Thorntwaite: este método calcula el uso consuntivo mensual como una función de las temperaturas medias mensuales.

Por tomar en cuenta solo la temperatura media mensual arroja resultados estimativos que se usan en estudios preliminares;

$$U_j = 1.6 Ka \left( \frac{10 T_j}{I} \right)^a \dots\dots\dots (1)$$

donde:  $U_j$  = uso consuntivo en el mes  $j$  (cm)  
 $T_j$  = temperatura media en el mes  $j$  (°C)  
 $a, I$  = constantes  
 $Ka$  = constante que depende de la latitud y el mes del año.

La constante "I" (índice de eficiencia de temperaturas) y "a" se calcula de la siguiente manera:

$$I = \sum_{j=1}^{12} ij \dots\dots\dots (2) \quad , \quad ij = \left( \frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots (3)$$

$j$  = número de mes

$$a = ( 675 \times 10^{-9} I^3 ) - ( 771 \times 10^{-7} I^2 ) + ( 179 \times 10^{-4} I ) + 0.492 \dots\dots\dots (4)$$

2.- Blaney - Criddle; este método toma en cuenta además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración del ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona.

El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha. Si se desea estimar la evapotranspiración durante un ciclo vegetativo completo, se puede emplear la fórmula siguiente:

$$E_t = Kg F \dots\dots\dots (5)$$

donde;  $E_t$  = evapotranspiración durante el ciclo vegetativo (cm)  
 $F$  = factor de temperatura  
 $Kg$  = coeficiente global de desarrollo  
 0.5     $F$     1.2

El factor de temperatura y luminosidad se calcula de la siguiente manera:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \dots\dots\dots (6)$$

donde :  $n$  = número de meses que dura el ciclo vegetativo

$$f_i = p_i \left( \frac{T_i + 17.8}{21.8} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$p_i$  = porcentaje de horas de sol del mes  $i$  con respecto al año

$T_i$  = temperatura media del mes ( $^{\circ}C$ )

Cuando la zona en cuestión es árida los valores de  $f_i$  (ecuación 7) se multiplica por un factor de corrección ( $Kt_i$ ) que se calcula de la siguiente manera:

$$Kt_i = 0.03114 T_i + 0.2396 \dots\dots\dots(8)$$

Cuando se desea determinar valores de la evapotranspiración en periodos más cortos que un ciclo vegetativo (un mes), se emplea la siguiente fórmula:

$$Et_i = kC_i f_i \dots\dots\dots(9)$$

- donde:  $Et_i$  = evapotranspiración durante el periodo  $i$   
 $f_i$  = se calcula con la fórmula (7) con  $p_i$  correspondientes al periodo considerado y ( $T_i$ )  
 $kC_i$  = coeficiente de desarrollo parcial, se puede determinar valores medios

#### Extracción De Un Almacenamiento Para Riego

Los valores de la evapotranspiración (que se calcula con los métodos anteriores) representan la cantidad de agua que requieren las plantas para un desarrollo normal.

Esta cantidad es diferente a la que se debe extraer de un almacenamiento (acuifero, presa, etc.) , debido por una parte, la precipitación sobre la zona de riego disminuye el volumen de extracción necesario.

Ademas de las pérdidas por evaporación e infiltración en las conducciones y los desperdicios la aumentan. El volúmen "D<sub>i</sub>" que es necesario del almacenamiento durante el periodo "i" será:

$$D_i = E_{t_i} A_r - h_{p_i} A_r + h_{ev_i} A_{co} + W_i \dots\dots (10)$$

donde:

A<sub>r</sub> = área de riego

h<sub>p<sub>i</sub></sub> = altura de precipitación media de la zona de riego en el periodo i

A<sub>co</sub> = área superficial de las conducciones (presas derivadoras, tanques de almacenamiento, o canales como nuestro caso, etc. )

W<sub>i</sub> = volúmen de desperdicio

h<sub>ev<sub>i</sub></sub> = altura de evaporación media en la zona de riego - en el periodo i.

la eficiencia del sistema se calcula de la siguiente manera:

$$n = 100 \frac{(E_{t_i} - h_{p_i})}{D_i} A_r \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (11)$$

Considerando estos antecedentes matematicos entonces procede remos al cálculo de la extracción de agua para nuestro sistema de riego y por consiguiente para el cultivo.

Se calculara a continuación los volúmenes de extracción mensuales que es necesario hacer de nuestra fuente de abastecimiento para regar el área de la planicie en cuestión, cuya área es de 20,000 Ha., esta área es sembrada de algodón, se localiza en una zona arida, en latitud 25°30" norte.

La fecha de siembra es del 1° de abril. El área de las conducciones es de 100 000 m<sup>2</sup> y la experiencia nos dice que para esta área tendremos un desperdicio medio mensual de  $2 \times 10^6$  de m<sup>3</sup> los demas datos se muestran en la siguiente tabla.

mes	Temperatura (°C)	hp (cm)	$h_{ev}$ (cm)
Enero	13.0	0.0	68.0
Febrero	15.8	0.0	73.2
Marzo	18.8	0.0	75.4
Abril	22.6	0.0	85.2
Mayo	25.4	6.0	91.5
Junio	27.0	8.0	82.3
Julio	26.7	10.0	85.2
Agosto	26.1	7.0	80.1
Septiembre	24.2	0.0	75.9
Octubre	21.0	0.0	70.0
Noviembre	16.2	0.0	65.1
Diciembre	12.6	0.0	67.3

El análisis de este cálculo lo haremos por medio del método de Thornthwaite, siendo el periodo vegetativo de 6 meses.

Primeramente analizaremos, que toda la superficie representada en la página 90 no es aprovechable para el riego, por el estudio geológico nos damos cuenta que solo 20,000 ha. son aprovechables para el riego, éste último dato es que se utilizará para el cálculo de la extracción de agua.

Mostraremos a continuación todo el cuadro ya resuelto (con datos y resultados), pero después analizaremos columna por columna y renglón por renglón para que se vea con claridad en método de análisis.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
mes (j)	$i_j$	$v_j$ (cm)	$v_{et}$ ( $10^6 m^3$ ) bruto	$v_{et}$ ( $10^6 m^3$ ) neto	$D_i$ ( $10^6 m^3$ )
ENERO	4.25	0	0	0	0
FEBRERO	5.71	0	0	0	0
MARZO	7.19	0	0	0	0
ABRIL	9.81	9.92	19.84	19.93	21.93
MAYO	11.71	14.12	28.24	16.33	18.33
JUNIO	12.85	16.06	32.12	16.20	18.20
JULIO	12.63	16.063	32.12	12.21	14.21
AGOSTO	12.20	14.64	29.30	15.38	17.38
SEPTIEMBRE	10.88	11.19	22.38	22.46	24.46
OCTUBRE	8.78	0	0	0	0
NOVIEMBRE	5.93	0	0	0	0
DICIEMBRE	4.05	0	0	0	0

$\Sigma=106.01$

El analisis que haremos se basará en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, porque solo en estos meses tenemos el periodo vegetativo que va desde la siembra hasta la co secha.

Columna (2)

$$\begin{aligned}
 ij_1 &= \left(\frac{13}{5}\right) 1.514 = 4.25 \\
 ij_2 &= \left(\frac{15.8}{5}\right) 1.514 = 5.71 \\
 ij_3 &= \left(\frac{18.8}{5}\right) 1.514 = 7.19 \\
 ij_4 &= \left(\frac{22.6}{5}\right) 1.514 = 9.81 \\
 ij_5 &= \left(\frac{25.4}{5}\right) 1.514 = 11.71 \\
 ij_6 &= \left(\frac{27.0}{5}\right) 1.514 = 12.85 \\
 ij_7 &= \left(\frac{26.7}{5}\right) 1.514 = 12.63 \\
 ij_8 &= \left(\frac{26.1}{5}\right) 1.514 = 12.20 \\
 ij_9 &= \left(\frac{24.2}{5}\right) 1.514 = 10.88 \\
 ij_{10} &= \left(\frac{21.0}{5}\right) 1.514 = 8.78 \\
 ij_{11} &= \left(\frac{16.2}{5}\right) 1.514 = 5.93 \\
 ij_{12} &= \left(\frac{12.6}{5}\right) 1.514 = 4.05
 \end{aligned}$$

Algodon 6 o 7 meses  
 ciclo vegetativo - - seis meses  
 coef. global -----0.6 - 0.65

$$\begin{aligned}
 I &= \sum_{j=1}^{12} ij = 106.0 \\
 ij &= \left(\frac{T_j}{5}\right) 1.514
 \end{aligned}$$

Columna (3)

$$V_j = 1.6K_a \left( \frac{10 T_j}{I} \right)^a$$

siendo  $a = (675 \times 10^{-9} I^3) - (771 \times 10^{-7} I^2) + (179 \times 10^{-4} I) + 0.492$

si el valor de  $I = 106.01$ , entonces

$$a = 2.327$$

y  $K_a$  para los meses de abril a septiembre son:  
(obtenidos de tablas)

$K_a = 1.065$	(abril)	,	$K_a = 1.155$	(mayo)
$K_a = 1.140$	(junio)	,	$K_a = 1.170$	(julio)
$K_a = 1.125$	(agosto)	,	$K_a = 1.025$	(sep.)

entonces utilizando la fórmula para la obtención de  $V_j$  (de cada mes) los resultados son:

$T_j$  = temperaturas del mes  
(tabla de la pág. 112)

abril

$$V_j = 1.6 (1.065) \left( \frac{10(22.6)}{106.1} \right)^{2.327} = 9.92$$

mayo

$$V_j = 1.6 (1.155) \left( \frac{10(25.4)}{106.1} \right)^{2.327} = 14.12$$

junio

$$V_j = 1.6 (1.140) \left( \frac{10(27.0)}{106.1} \right)^{2.327} = 16.06$$

julio

$$V_j = 1.6 (1.170) \left( \frac{10(26.7)}{106.1} \right)^{2.327} = 16.063$$

$$\text{agosto} \\ V_j = 1.6 (1.125) \left( \frac{10(26.1)}{106.1} \right)^{2.327} = 14.65$$

$$\text{septiembre} \\ V_j = 1.6 (1.025) \left( \frac{10(24.2)}{106.1} \right)^{2.327} = 11.19$$

Columna (4)

Para la obtención de estos datos se requiere multiplicar la columna (3) por el área de riego (20 000 Ha.)

$$\text{abril} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.0992) = 19.84 \times 10^6$$

$$\text{mayo} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.1412) = 28.24 \times 10^6$$

$$\text{junio} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.1606) = 32.12 \times 10^6$$

$$\text{julio} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.16063) = 32.12 \times 10^6$$

$$\text{agosto} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.1465) = 29.30 \times 10^6$$

$$\text{septiembre} \\ V_{et} = (20,000 \times 10^4) (0.1119) = 22.38 \times 10^6$$

Columna (5)

abril

$$19.84 - 0 + (0.852)(0.1) = 19.93$$

mayo

$$28.24 - (0.06)(200) + (0.915)(0.1) = 16.33$$

junio

$$32.12 - (0.08)(200) + (0.823)(0.1) = 16.20$$

julio

$$32.12 - (0.10)(200) + (0.852)(0.1) = 12.21$$

agosto

$$20.30 - (0.07)(200) + (0.801)(0.1) = 15.38$$

septiembre

$$22.38 - 0 + (0.759)(0.1) = 22.46$$

Columna (6)

A todas las cantidades calculadas se le sumarán  $2 \times 10^6$  por concepto de desperdicio medio mensual.

abril	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 19.93 + 2$	$= 21.93$
mayo	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 16.33 + 2$	$= 18.33$
junio	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 16.20 + 2$	$= 18.20$

julio	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 12.21 + 2 = 14.21$
agosto	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 15.38 + 2 = 17.38$
septiembre	$D_i$	$(10^6 \text{ m}^3)$	$= 22.46 + 2 = 24.46$

Por lo que podemos apreciar, el mes de mayor demanda es septiembre, luego entonces, con esta cantidad de caudal se diseñará el sistema de canales, transformando el caudal de septiembre a la forma de  $\text{m}^3/\text{seg}$  tenemos:

tenemos un gasto mensual (septiembre) de  $24.46 \times 10^6 \text{ m}^3$   
 entonces si una hora tiene 3,600 segundos  
 por lo tanto si consideramos 10 horas diarias  
 entonces tenemos 36,000 segundos diarios. Y al mes  
 considerando 30 días de septiembre  
 por lo tanto septiembre tendrá 1'080,000 segundos.

Para terminar dividimos el caudal de septiembre entre los segundos efectivos de riego, resultando:

$$\frac{24.46 \times 10^6}{1.080 \times 10^6} = 22.64 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Por seguridad de la obra y terrenos aledaños se ampliará el caudal, siendo el gasto de diseño de:

$$Q = 23 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se diseñarán los 31 canales de la red en cuestión, para esto tomaremos en cuenta los siguientes parámetros, que son de vital importancia para el buen diseño.

- para canales de distribución se hará un alzado de 2.50 m.
- para todos los demás canales será un alzado de 1.50 .
- para todos los canales se construirán con una sección transversal trapecial.
- todos los taludes de las secciones tendrán un valor de 1.5 : 1
- todos los canales tendrán un terminado de tierra (uniforme y lisa) con un "n" = 0.017

Estos parámetros se determinan por la experiencia favorable en el diseño de sistemas de canales para riego.

Además si debemos de considerar que varios canales tienen la misma pendiente, caudal, esto es el mismo planteamiento de diseño y por lo tanto se omitirán estos casos (solo se diseñara una vez y se hará la nota correspondiente).

También se ilustrará con un dibujo todos los elementos de diseño, este dibujo rige todos los canales, excepto en sus dimensiones, ya que no se hace mención a tales. El dibujo se localiza al final del diseño del último canal.

## Diseño del canal principal

El canal principal debe conducir un gasto  $Q = 23 \text{ m}^3/\text{seg.}$  - teniendo como pendiente 2 milésimas, se supone un ancho de planta lla de 3.5 metros, un coeficiente de rugosidad  $n = 0.017$  y una re lación de pendientes laterales  $K = 1.5$ , determine los elementos de diseño necesarios para una óptima función del canal.

## Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} = \frac{A R^{2/3}}{b^{8/3}}, \text{ entonces } \frac{(23.0)(0.017)}{(0.002)^{1/2} (3.5)^{8/3}} =$$

$$= 0.309, \text{ por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.41, \text{ entonces } Y = (0.41)(3.5) = 1.435 \text{ m.}$$

## Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y, \text{ sustituyendo,}$$

$$A = (3.5 + (1.5)(1.435)) 1.435, \quad A = 8.11 \text{ m}^2$$

## Cálculo de la velocidad

$$Q = A V, \text{ entonces } V = Q/A, \text{ sustituyendo}$$

$$V = 23.0/8.11, \quad V = 2.83 \text{ m/seg.}$$

## Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo } C = 0.46 \quad \text{para } Q = 0.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 0.76 \quad \text{para } Q = 85.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

interpolando para este caso

$$C = 0.496, \text{ entonces}$$

$$F = (0.496)(1.435) = 0.71 \text{ m.} \quad \text{por seguridad}$$

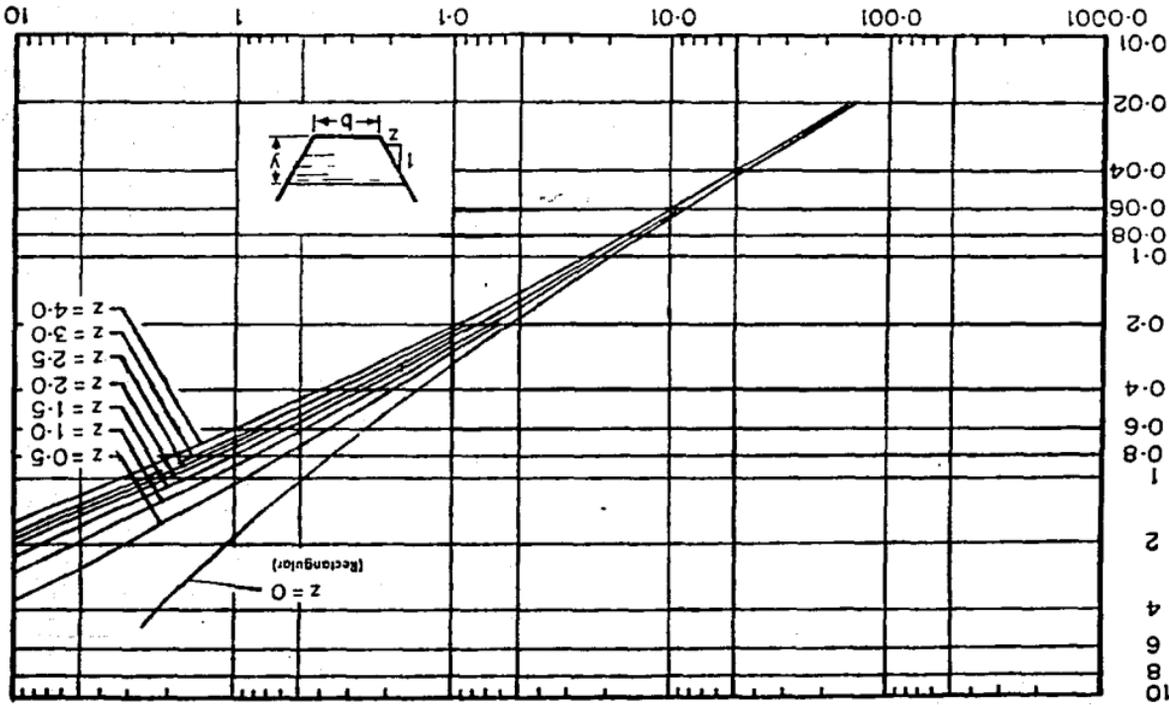
$$F = 0.80 \text{ metros}$$

## Cálculo de la corona

$$C = 2F, \text{ sustituyendo}$$

$$C = 2(0.80) = 1.60 \text{ metros.}$$

Valores de  $S^{1/2}/b^{2/3}$



122  
Valores de  $y/b$

### Canales de distribución

En el caso de los canales de distribución, el gasto que debe de conducir es de  $23/4 = 5.75 \text{ m}^3/\text{seg}$ , por seguridad se calculan con un gasto de  $Q = 6.0 \text{ m}^3/\text{seg}$ , para el canal de distribución -- uno (CD1), tenemos una pendiente de  $s = 0.067$ , un coeficiente de rugosidad  $n = 0.017$  y una relación de pendientes laterales  $K=1.5$  se propone un ancho de plantilla  $b = 2.5$  metros.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} = \frac{A R^{2/3}}{b^{8/3}}, \text{ entonces } \frac{(6.0)(0.017)}{(0.067)^{1/2} (2.5)^{8/3}} =$$

$$= 0.034, \text{ por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.14, \text{ entonces } Y = (0.14)(2.5) = 0.35 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y, \text{ sustituyendo}$$

$$A = (2.5 + (1.5)(0.35)) 0.35, \quad A = 1.058 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V, \text{ entonces } V = Q/A, \text{ sustituyendo}$$

$$V = 6.0/1.058, \quad V = 5.67 \text{ m/seg.}$$

Por lo que podemos apreciar la velocidad es muy fuerte, ya que la velocidad permisible varía de 0.6 a 3.0 m/seg. Por lo tanto se propone la pendiente mínima  $s = 0.002$ . Por otro lado si observamos las pendientes de los canales de distribución, nos daremos cuenta que son similares, por lo que esta caso rige a los cuatro canales de distribución

Los cuatro canales tienen los mismos datos, como son:  $K=1.5$ ,  $Q = 6.0$ ,  $n = 0.017$ ,  $s = 0.002$  (propuesta para los cuatro canales) y proponemos un ancho de plantilla  $b = 2.0$  metros.

Cálculo del tirante de CD1, CD2, CD3 y CD4

$$\frac{Q n}{b^{1/2} B^{3/2}} = \frac{(6.0)(0.017)}{(0.002)^{1/2} (2.0)^{3/2}} = 0.359 ,$$

por nomograma (pág. 122)  $Y/b = 0.50$  , entonces

$$Y = (0.50)(2) = 1.0 \text{ metros.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y , \text{ sustituyendo}$$

$$A = (2 + (1.5)(1.0)) 1.0 , \quad A = 3.5 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V , \text{ entonces} \quad V = Q/A , \text{ sustituyendo}$$

$$V = 6.0/3.5 , \quad V = 1.71 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = CY \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para} \quad Q = 0.56 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$C = 0.76 \quad \text{para} \quad Q = 85.0 \text{ m}^3/\text{s.}$$

interpolando para este caso

$$C = 0.477$$

$$F = (0.47)(1.0) = 0.47 , \text{ por seguridad}$$

$$F = 0.60 \text{ metros}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2F , \quad \text{sustituyendo}$$

$$C = (2.0)(0.60) = 1.20 \text{ metros}$$

Para el diseño de los canales C1, C2, C3, C4, C5 y C6 del canal de distribución CD1, se tendrán que diseñar con un gasto  $Q = 6/6$ , esto es,  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , por seguridad se analizará con un  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  para todos estos canales (incluyendo todos los demás canales) lo único que varía serán las pendientes para el C1 del CD1, tenemos los siguientes datos:  $n = 0.017$ ,  $K = 1.5$ ,  $s = 0.002$ ,  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  y se supone un ancho de plantilla  $b = 1$  metro.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{3/8}} , \text{ sustituyendo } , \frac{(1.3)(0.017)}{(0.002)^{1/2} (1.0)^{3/8}} =$$

$$= 0.49 , \text{ entonces por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.57 , \quad Y = (0.57)(1.0) = 0.57 \text{ metros.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y , \text{ sustituyendo } , \quad A = (1 + (1.5)(0.57))0.57$$

$$A = 1.05 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V , \text{ entonces } \quad V = Q/A , \text{ sustituyendo}$$

$$V = 1.3/1.05 \quad V = 1.23 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \quad \text{para } Q = 85.0$$

interpolando para este caso

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.57) = 0.26 \quad \text{por seguridad}$$

$$F = 0.35 \text{ metros.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F \quad , \quad \text{sustituyendo} \quad , \quad C = 2 (0.35)$$

$$C = 0.70 \text{ metros}$$

Para este caso podemos ver que estos datos son iguales a los siguientes casos:

del canal de distribución CD1 los canales: C1, C5 y C6

del canal de distribución CD2 los canales: C1, y C2

del canal de distribución CD3 los canales: C3

del canal de distribución CD4 los canales: C2 y C3

Esta conclusión se hace por que todos los canales antes cita dos tienen los mismos datos de diseño, esto es :

$$n = 0.017$$

$$K = 1.5$$

$$s = 0.002$$

$$Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg.} \quad \text{y}$$

$$b = 1.0 \text{ mts.}$$

Para el caso del canal C2 del CD1 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $n = 0.017$ ,  $s = 0.008$ ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0 \text{ mts.}$

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}}, \text{ sustituyendo, } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.008)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.24, \text{ por nomograma (pág 122)}$$

$$Y/b = 0.39, \quad y = (0.39)(1.0) = 0.39 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y, \text{ sustituyendo, } A = (1 + (1.5)(0.39))0.39$$

$$A = 0.62 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V, \text{ entonces } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.62, \quad V = 2.09 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para } Q = 0.56 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C = 0.76 \quad \text{para } Q = 85.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.39) = 0.18, \quad \text{por seguridad}$$

$$F = 0.20 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F, \quad C = 2(0.20) = 0.40 \text{ mts.}$$

Para el caso del canal C3 del CD1 tenemos los siguientes da  
tos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $K = 1.5$  ,  $s = 0.011$  y se  
propone un ancho de plantilla  $b = 1.0$  mts.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} \text{ , sustituyendo , } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.011)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.21 \text{ , por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.37 \text{ , } Y = (0.37)(1.0) = 0.37 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y \text{ , sustituyendo , } A = (1 + (1.5)(0.37))0.37$$

$$A = 0.58 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V \text{ entonces } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.58 \text{ , } V = 2.24 \text{ m/seg}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \text{ siendo } C = 0.46 \text{ para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \text{ para } Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.37) = 0.17 \text{ , por seguridad}$$

$$F = 0.20 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F \text{ , } C = 2(0.20) = 0.40 \text{ mts.}$$

nota: este caso tambien es valido para el canal C5 del CD4.

Para el caso del canal C4 del CD1 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $K = 1.5$  ,  $s = 0.01$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0 \text{ mts.}$

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} , \text{ sustituyendo } , \frac{(1.3)(0.017)}{(0.01)^{1/2}(1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.22 , \text{ por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.39 , \quad Y = (0.39)(1.0) = 0.39 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y , \text{ sustituyendo } , A = (1 + (1.5)(0.39))0.39$$

$$A = 0.62 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V , \text{ entonces } , V = Q/A$$

$$V = 1.3 / 0.62 , \quad V = 2.9 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para} \quad Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \quad \text{para} \quad Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.39) = 0.18 , \text{ por seguridad}$$

$$F = 0.20 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F , \quad C = 2 (0.20) = 0.40 \text{ mts.}$$

nota: este caso tambien es valido para el canal C4 del CD4.

Para el caso del canal C2 del CD2 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $s = 0.005$  ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0$  mts.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} , \text{ sustituyendo } , \frac{(1.3)(0.017)}{(0.005)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.31 , \text{ por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/h = 0.44 , \quad Y = (0.44)(1.0) = 0.44 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y , \text{ sustituyendo } , A = (1 + (1.5)(0.44))0.44$$

$$A = 0.73 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V , \text{ entonces } , V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.73 , \quad V = 1.78 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para} \quad Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \quad \text{para} \quad Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.44) = 0.20 \quad \text{por seguridad}$$

$$F = 0.25 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F , \quad C = 2 (0.25) = 0.50 \text{ mts.}$$

nota: este caso tambien es valido para los canales: C5 del CD2  
C2 del CD3 y C5 del CD3.

Para el caso del canal C3 del CD2 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $s = 0.003$  ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0 \text{ mts.}$

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} , \text{ sustituyendo , } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.003)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.40 , \text{ por nomograma}$$

$$Y/b = 0.50 , \quad Y = (0.50)(1.0) = 0.50 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y , \text{ sustituyendo , } A = (1 + (1.5)(0.5))0.50$$

$$A = 0.875 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V , \text{ entonces , } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.875 , \quad V = 1.48 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \quad \text{para } Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.50) = 0.23 \quad \text{por seguridad}$$

$$F = 0.28 \text{ mts}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F , \quad C = 2 (0.28) = 0.56 \text{ mts.}$$

nota: este caso tambien es valido para los canales: C4 del CD2  
C1 del CD3 , C6 del CD3 y C7 del CD4.

Para el caso del canal C7 del CD2 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $n = 0.017$ ,  $s = 0.006$ ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0$  mts.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}}, \text{ sustituyendo, } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.006)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.28, \text{ por nomograma (pág. 122)}$$

$$y/b = 0.39, \quad Y = (0.39)(1.0) = 0.39 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y, \text{ sustituyendo, } A = (1 + (1.5)(0.39))0.39$$

$$A = 0.62 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V, \text{ entonces } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.62, \quad V = 2.09 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \quad \text{siendo} \quad C = 0.46 \quad \text{para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \quad \text{para } Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.39) = 0.18 \quad \text{por seguridad}$$

$$F = 0.24 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F, \quad C = 2 (0.24) = 0.48 \text{ mts.}$$

nota: este caso tambien es valido para los canales: C4 del CD3

Para el caso del canal C1 del CD4 tenemos los siguientes datos:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $s = 0.004$  ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0$  mts.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} \text{ , sustituyendo , } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.004)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.35 \text{ , por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.38 \text{ , } Y = (0.38)(1.0) = 0.38 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y \text{ , sustituyendo , } A = (1 + (1.5)(0.38))0.38$$

$$A = 0.60 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V \text{ entonces } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.60 \text{ , } V = 2.16 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \text{ siendo } C = 0.46 \text{ para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \text{ para } Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

$$F = (0.462)(0.38) = 0.18 \text{ por seguridad}$$

$$F = 0.25 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F \text{ , } C = 2 (0.25) = 0.50 \text{ mts.}$$

Para este último caso tenemos que el canal C6 del CD4 los da tos de diseño son:  $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{seg}$  ,  $n = 0.017$  ,  $s = 0.012$  ,  $K = 1.5$  y se propone un ancho de plantilla  $b = 1.0$  mts.

Cálculo del tirante

$$\frac{Q n}{s^{1/2} b^{8/3}} \text{ , sustituyendo , } \frac{(1.3)(0.017)}{(0.012)^{1/2} (1.0)^{8/3}} =$$

$$= 0.20 \text{ , por nomograma (pág. 122)}$$

$$Y/b = 0.36 \text{ , } Y = (0.36)(1.0) = 0.36 \text{ mts.}$$

Cálculo del área

$$A = (b + KY) Y \text{ , sustituyendo , } A = (1 + (1.5)(0.36))0.36$$

$$A = 0.55 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad

$$Q = A V \text{ , } V = Q/A$$

$$V = 1.3/0.55 \text{ , } V = 2.36 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del franqueo

$$F = C Y \text{ siendo } C = 0.46 \text{ para } Q = 0.56$$

$$C = 0.76 \text{ para } Q = 85.0$$

para este caso interpolando

$$C = 0.462$$

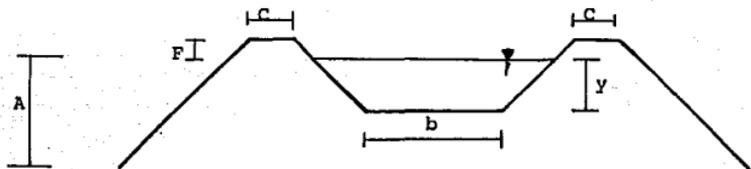
$$F = (0.462)(0.36) = 0.17 \text{ por seguridad}$$

$$F = 0.25 \text{ mts.}$$

Cálculo de la corona

$$C = 2 F \text{ , } C = 2(0.25) = 0.50 \text{ mts.}$$

El esquema que se encuentra en esta página ilustra los elementos que se diseñaron en las páginas anteriores, como son: el alzado, el franqueo, la corona, el ancho de plantilla y el tirante. Lo único que varía son las dimensiones para cada caso.



Para una mejor explicación se definirá cada elemento

- A = alzado** : distancia entre la superficie del agua del canal a la superficie a regar.
- F = franqueo**: distancia entre la superficie del agua del canal a la altura máxima del canal.
- C = corona** : distancia protectora del borde mas alto del canal
- b = ancho de plantilla**: longitud de la base del canal.
- Y = tirante** : distancia del fondo del canal a la superficie del agua del canal.

### 5.3 Recubrimientos de canales

Por supuesto, los canales construidos sobre materiales muy permeables deben recubrirse; sin embargo, si el material del lecho tiene un alto contenido de limo y una permeabilidad del orden de 0.8 m/día, los beneficios del revestimiento serán menos evidentes y puede que resulte conveniente un estudio económico. El costo del revestimiento se equilibra con el menor volumen de tierra que debe retirarse (puesto que disminuye la aspereza y, por ende, se reduce el área de sección transversal del flujo), el menor costo de mantenimiento, las necesidades menores de drenaje (puesto que las filtraciones son despreciables) y el menor desperdicio de agua.

Pavimentación de concreto. El pavimento se hace por placas - que, si es posible, no deberán ser de más de 5m x 5mts. para limitar el agrietamiento de contracción. Las uniones o juntas entre placas, en los grandes canales, se sellan con compuestos bituminosos y de caucho. Normalmente no se necesitan empaques. El espesor del concreto es de 75 a 100 mm.

Con este recubrimiento podemos darnos cuenta que es más duradero el canal (vida útil) lo único de cuidado radica en el cambio de coeficiente de rugosidad, pero comparando a los dos (el de diseño con el del concreto), podemos darnos cuenta que es mínima la diferencia, y por ende, el diseño es más seguro.

#### 5.4 Mantenimiento

El coeficiente de rugosidad de Manning, en los canales no revestidos, puede elevarse a un valor de 0.020 inmediatamente después de su construcción hasta 0.008 más o menos, cuando se vean infestados por crecimiento denso de hierbas. Y para nuestro caso, o sea, canales revestidos, la gama es de 0.015 para el concreto con acabado liso (por ejemplo) hasta 0.03 o más para las superficies agrietadas y deterioradas. La importancia del mantenimiento resulta evidente.

Las fugas provocadas por la erosión, la mala construcción o el crecimiento de hierbas, pueden dar como resultado la apertura de brechas en los bordes del canal. Es esencial la verificación de los canales y su mantenimiento mínimo cada seis meses.

## CAPITULO 6 CANALES TIPO

### 6.1 Nomogramas para el cálculo de canales tipo

Estos nomogramas construidos considerando un coeficiente de rugosidad  $n = 0.025$  que es el valor comunmente empleado para canales en tierra en buenas condiciones, sin embargo pueden usarse para otros coeficientes de rugosidad teniendo en cuenta que tanto la velocidad como el gasto varían en razón inversa de  $n$ , por ejemplo en un canal de 5.00 m de plantilla y una pendiente de 0.0004 circula un gasto de 6.00 m<sup>3</sup>/seg. con una velocidad 0.74 m/seg y - un tirante de 1.20, siendo el área de la sección de 8.16 m<sup>2</sup>. Supongamos que este canal fuera a ser revestido con concreto ( $n = 0.015$ ) y el mismo gasto de 6.00 m<sup>3</sup>/seg. circulará ahora con una velocidad permisible de 2.00 m/seg., queremos saber con que pendiente se construiría el canal y con qué tirante va a trabajar.

Si llamamos  $v$  y  $Q$  a los valores del nomograma y  $v_1$  y  $Q_1$  a los reales, como dijimos que:

$$\frac{v_1}{v} = \frac{Q_1}{Q} = \frac{0.0025}{n_1}$$

se entra al nomograma con un gasto  $Q = \frac{0.015}{0.025} 6.00 = 3.6 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$$\text{y velocidad } v = \frac{0.015}{0.025} 2.00 = 1.20 \text{ m/seg.}$$

obteniéndose la pendiente  $s = 0.0028$ , tirante  $d = 0.52$  con una área  $A = 3.00 \text{ m}^2$ .

Con la ayuda de estos nomogramas, también pueden calcularse canales cuyos anchos de plantilla sea diferente de las secciones tipo de esta colección, teniendo en cuenta que las características hidráulicas varían como sigue:

Para relaciones de las dimensiones lineales: variación en razón directa.

Para relaciones de las áreas: variación en razón directa de los cuadrados.

Para relaciones de las velocidades: variación en razón directa de las potencias 2/3.

Para relaciones de los gastos: variación en razón directa de -- las potencias  $8/3$ .

Por ejemplo, se desea conocer el gasto que puede conducir un canal con plantilla  $B_1 = 20.00$  m, pendiente  $s_1 = 0.0005$  y  $n = 0.025$  trabajando con un tirante máximo  $d_1 = 1.80$  m. Este canal está en relación lineal de 2.0 con el de 10.00 m., por lo tanto entrando a este nomograma con el tirante relativo

$$d = \frac{d_1}{2.0} = 0.90 \text{ m y } s = 0.0005 \text{ se obtiene}$$

$$A = 10.21 \text{ m}^2$$

$$v = 0.75 \text{ m/seg}$$

$$Q = 7.68 \text{ m}^3/\text{seg}$$

y el canal de  $B_1 = 20.00$  m se tendrá:

$$d_1 = 0.90 \times 2.0 = 1.80 \text{ m}$$

$$A_1 = 10.21 \times 2.0^2 = 40.86 \text{ m}^2$$

$$v_1 = 0.75 \times 2.0^{2/3} = 1.19 \text{ m/seg}$$

$$Q_1 = 7.68 \times 2.0^{8/3} = 48.77 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Supongamos ahora que se trata de calcular las características de un canal con  $B_1 = 15.00$  m,  $s = 0.0005$  y  $Q = 22.67 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

utilizando el nomograma de  $B = 10.00$  m con los datos de  $s$  y  $Q$

$$\text{siendo } Q = \frac{Q_1}{\frac{B_1}{B}} = \frac{22.67}{1.5^{8/3}} = 7.68 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

las características pedidas en el canal de 15.00 m serán:

$$d_1 = 0.90 \times 1.5 = 1.35 \text{ m}$$

$$A_1 = 10.21 \times 1.5^2 = 22.98 \text{ m}^2$$

$$v_1 = 0.75 \times 1.5^{2/3} = 0.99 \text{ m/seg}$$

$$Q_1 = 7.68 \times 1.5^{8/3} = 22.67 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

## CANALES DE 1.00m.



GASTO  $Q$  EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO

A vertical logarithmic scale labeled 'GASTO  $Q$  EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO' ranging from 0.05 to 6.

VELOCIDAD  $v$  EN METROS POR SEGUNDO

A vertical logarithmic scale labeled 'VELOCIDAD  $v$  EN METROS POR SEGUNDO' ranging from 0.2 to 1.6. The scale is marked with diagonal lines.

PENDIENTE

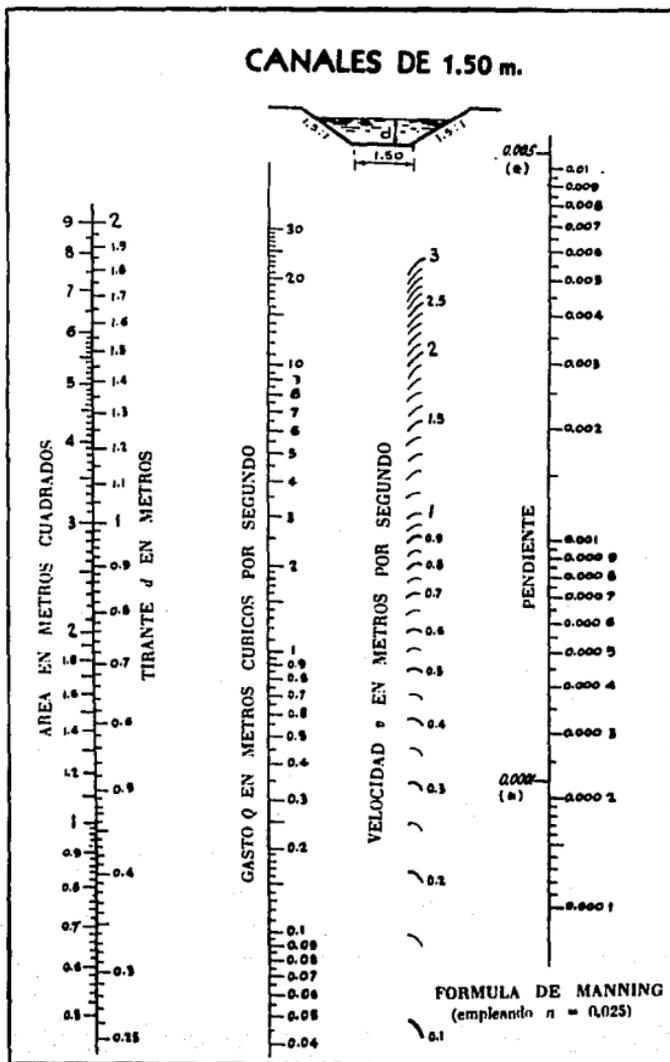
A vertical logarithmic scale labeled 'PENDIENTE' ranging from 0.0001 to 0.01. The scale is marked with diagonal lines.

0.005  
(%)

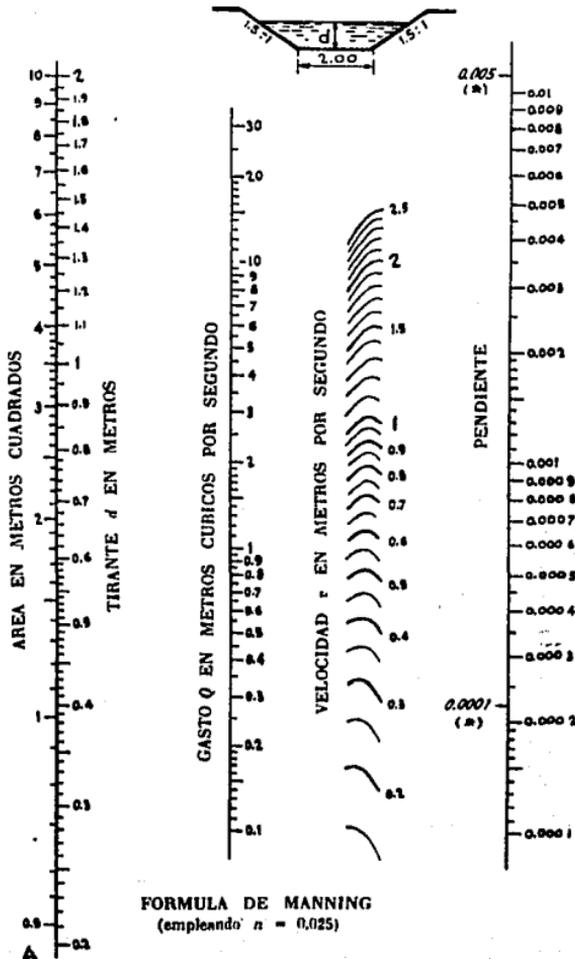
0.0001  
(%)

FORMULA DE MANNING  
(empleando  $n = 0.025$ )

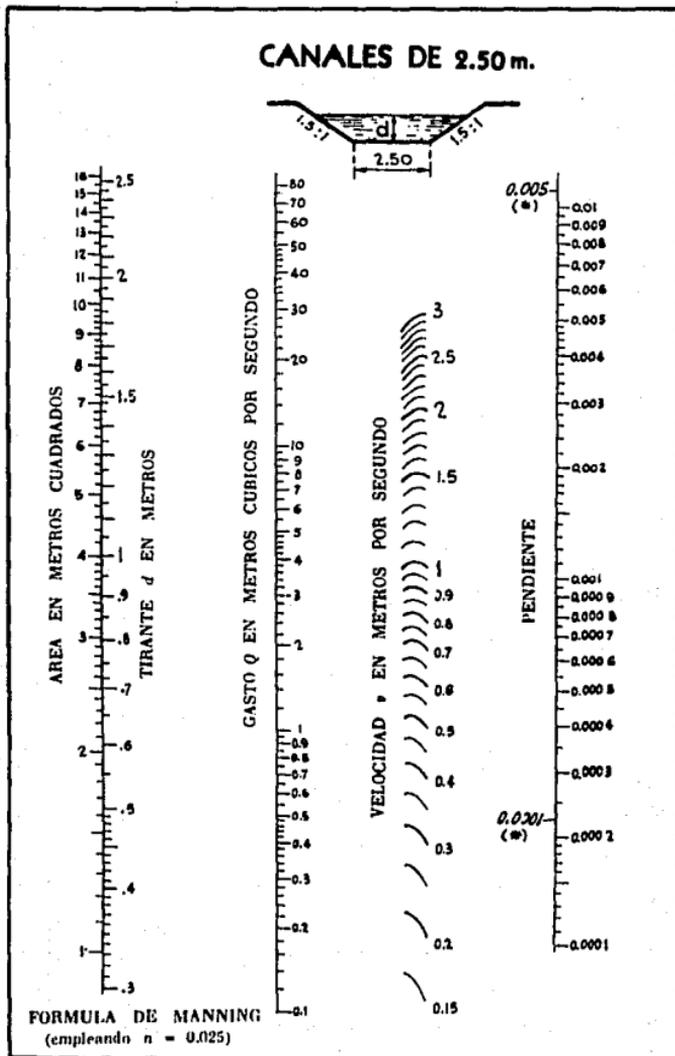
# CANALES DE 1.50 m.



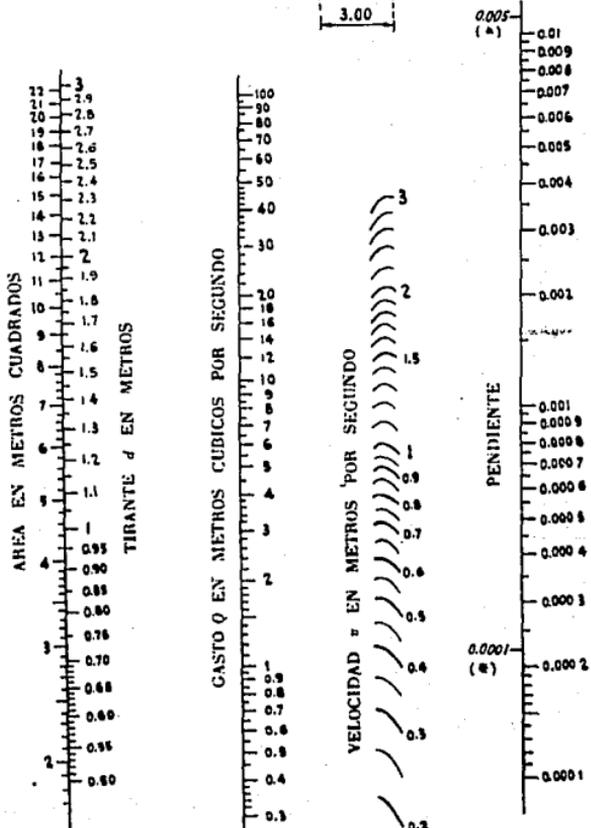
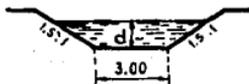
## CANALES DE 2.00m.



## CANALES DE 2.50 m.



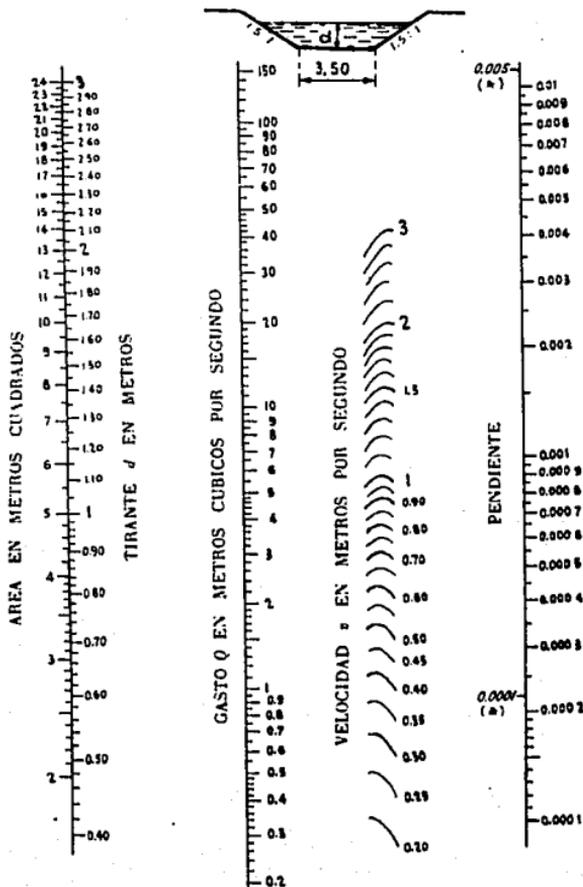
## CANALES DE 3.00 m.



FORMULA DE MANNING

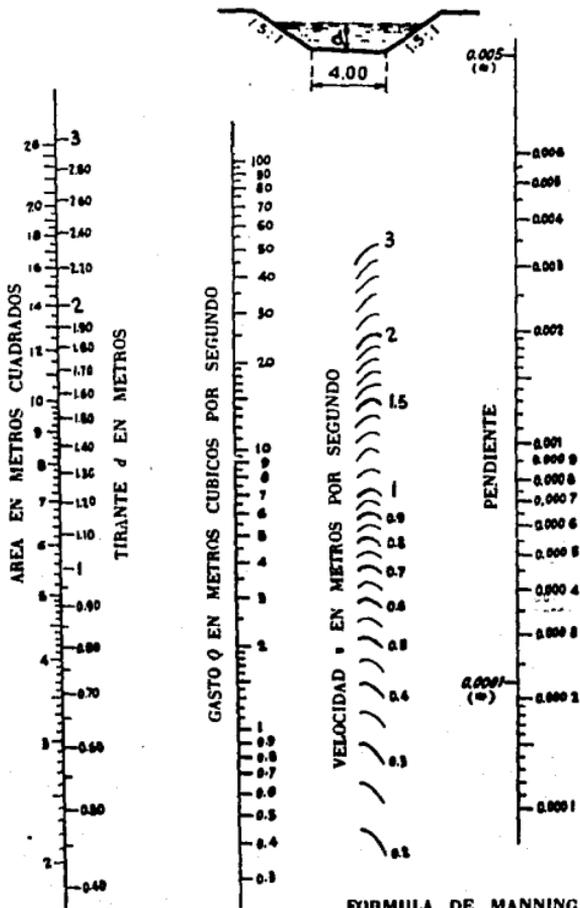
(empleando  $n = 0.025$ )

## CANALES DE 3.50m.



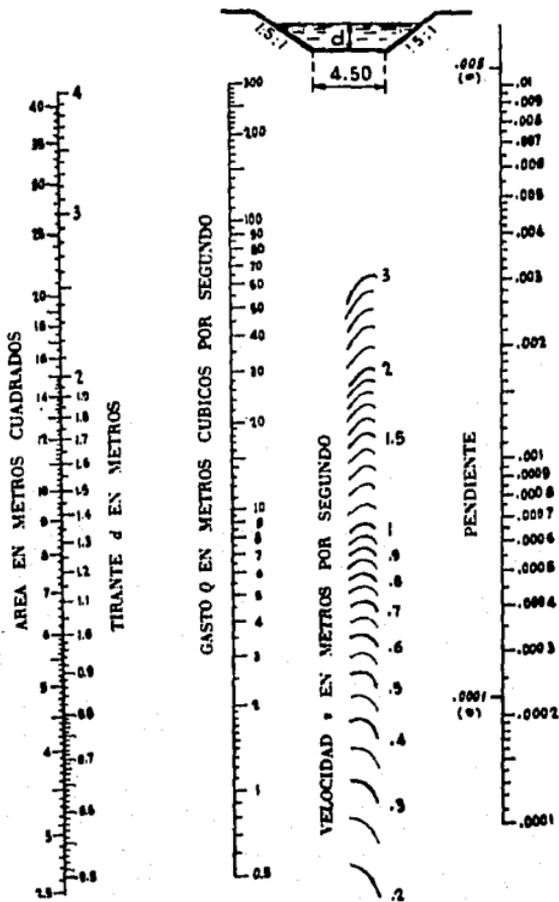
FORMULA DE MANNING  
(emplendo  $n = 0.025$ )

## CANALES DE 4.00m.

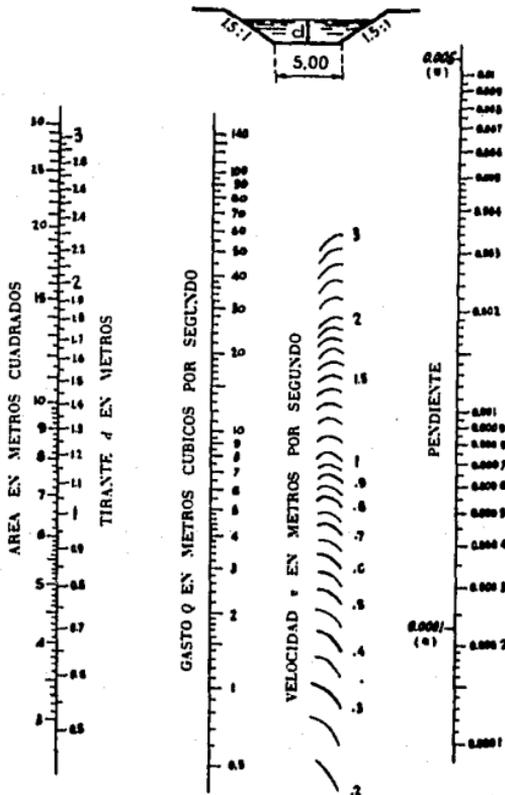


FORMULA DE MANNING  
(empleando  $n = 0.025$ )

## CANALES DE 4.50 m.

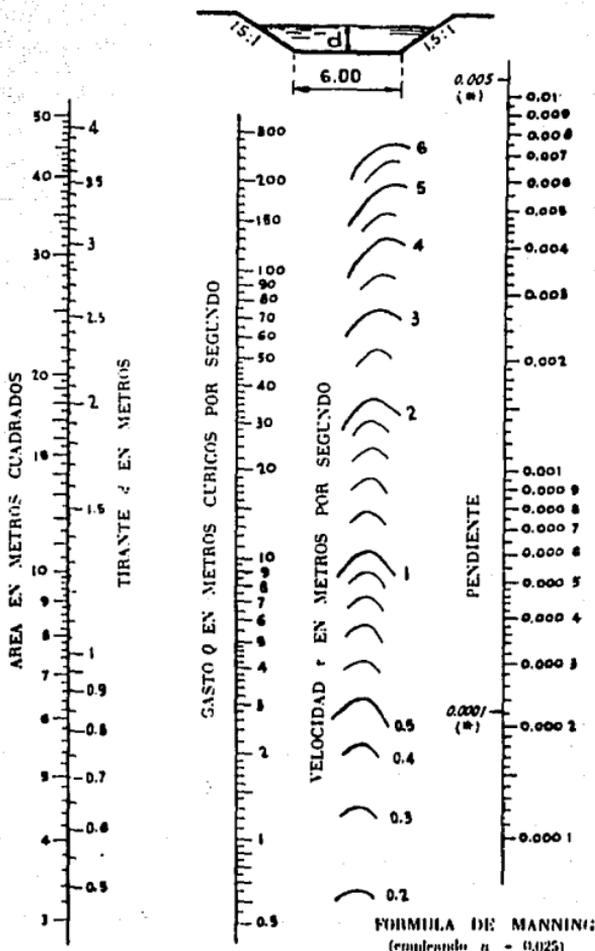


## CANALES DE 5.00m.

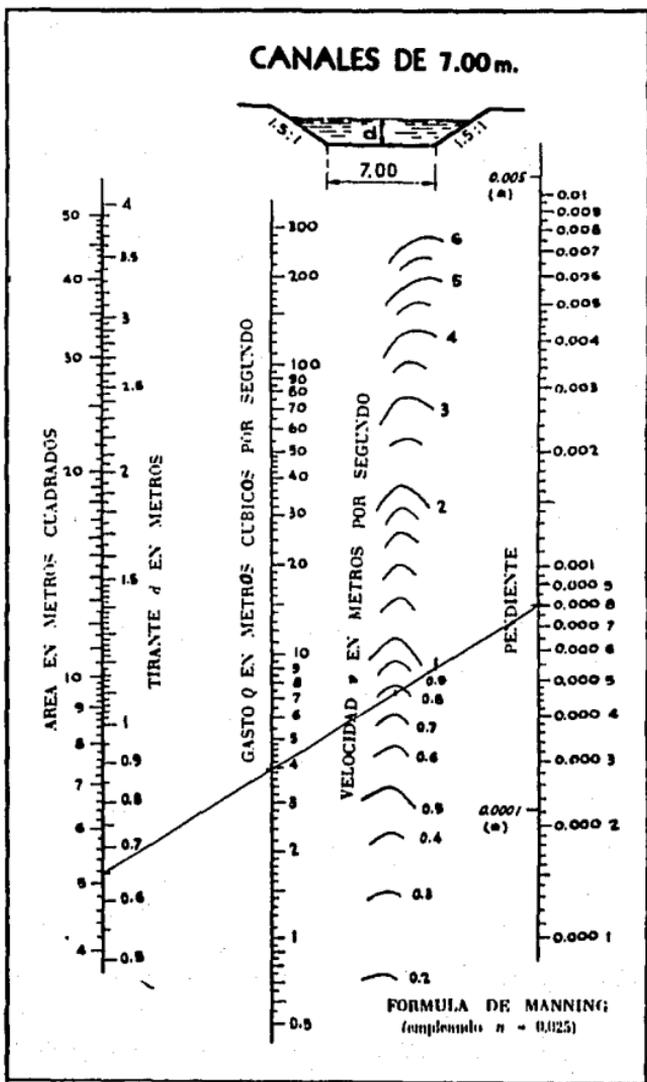


FORMULA DE MANNING  
(empleando  $n = 0.025$ )

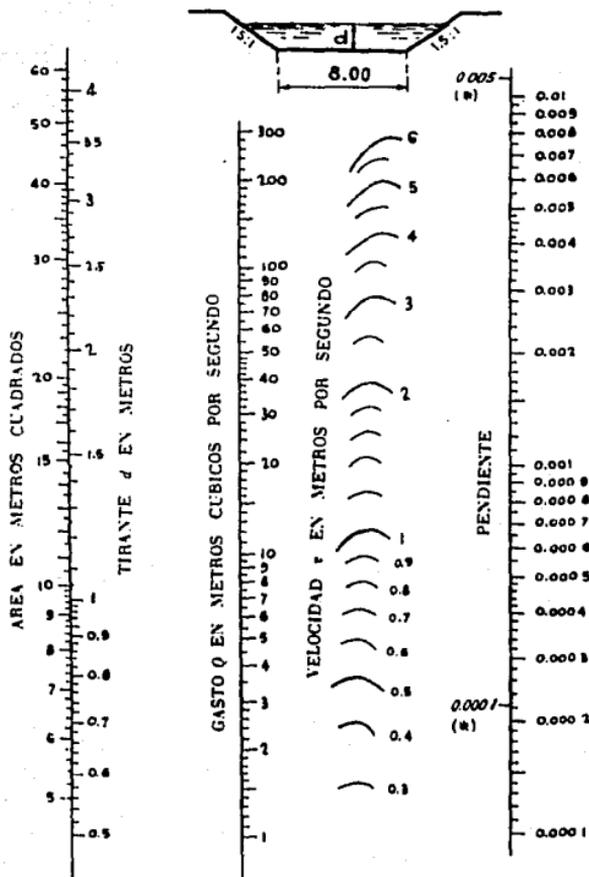
## CANALES DE 6.00m.



### CANALES DE 7.00m.

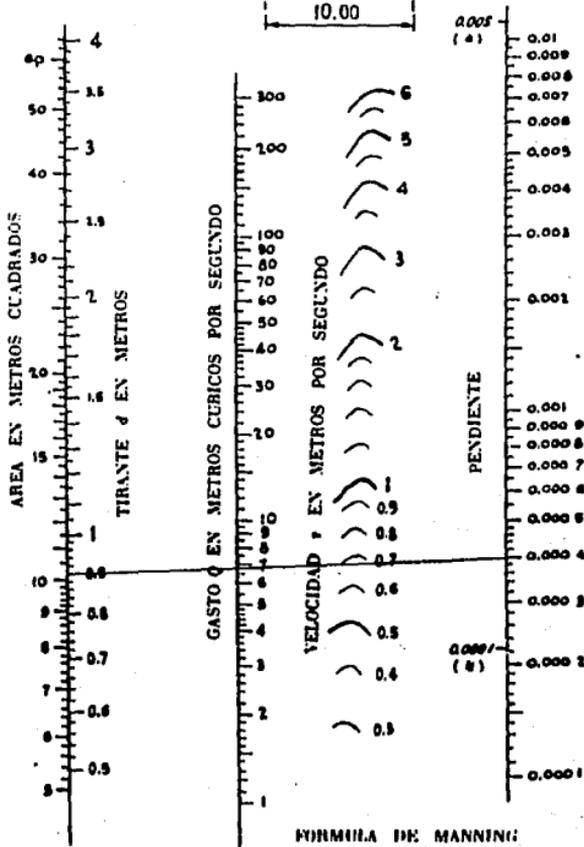
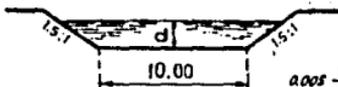


### CANALES DE 8.00m.



FORMULA DE MANNING  
(empleando  $n = 0.025$ )

### CANALES DE 10.00 m.



FORMULA DE MANNING:  
 (emplendo  $n = 0.025$ )

A continuación utilizaremos dos de los nomogramas en ejemplos similares a los primeros citados, lo importante es saber el manejo de estos nomogramas.

Ejemplo 1 .

Se tiene una canal con una plantilla de 30 m., una pendiente de 0.0004, con un tirante de 2.70 m., y un coeficiente de rugosidad  $n = 0.025$ . calculese el gasto con que trabaja.

como este canal está en relación lineal de 3 con el nomograma de 10 metros, entonces el tirante relativo será:

$$d = \frac{d_1}{3.0} = \frac{2.70}{3.00} = 0.90 \text{ m. y con } s = 0.0004 \text{ se entra al nomograma.}$$

del nomograma se obtiene

$$\begin{aligned} d &= 0.90 \text{ m.} \\ A &= 10.20 \text{ m}^2. \\ v &= 0.68 \text{ m/seg.} \\ Q &= 6.75 \text{ m}^3/\text{seg.} \end{aligned}$$

Pero siendo el canal  $B_1 = 30 \text{ m.}$ , entonces se obtiene:

$$\begin{aligned} d_1 &= 0.90 \times 3.0 = 2.7 \text{ m.} \\ A_1 &= 10.20 \times 3.0^2 = 91.80 \text{ m}^2. \\ v_1 &= 0.68 \times 3.0^{2/3} = 1.414 \text{ m/seg.} \\ Q_1 &= 6.75 \times 3.0^{8/3} = 126.36 \text{ m}^3/\text{seg.} \end{aligned}$$

Ejemplo 2

Determinar las características hidráulicas de un canal teniendo como ancho de plantilla  $B_1 = 14$  m., una pendiente  $s = 0.0008$  y un caudal de  $25 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

utilizando el nomograma de 7 m., teniendo como datos la pendiente  $s$  y el gasto  $Q$ , siendo éste último:

$$Q = \frac{Q_1}{\frac{B_1}{B}} = \frac{25.00}{\left(\frac{14}{7}\right)^{8/3}} = 3.937 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

entrando con un  $Q = 3.937$  y con una  $s = 0.0008$  en el nomograma, obtenemos:

$$d = 0.65 \text{ m}.$$

$$A = 5.19 \text{ m}^2$$

$$v = 0.77 \text{ m/seg}.$$

$$Q = 3.937 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

pero los datos solicitados son los siguientes:

$$d_1 = 0.65 \times 2 = 1.30 \text{ m}.$$

$$A_1 = 5.19 \times 2^2 = 20.76 \text{ m}^2$$

$$v_1 = 0.77 \times 2^{2/3} = 1.22 \text{ m/seg}.$$

$$Q_1 = 3.937 \times 2^{8/3} = 25 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Si podemos observar con detalle veremos que la aplicación de estos nomogramas para canales tipo es sencilla y sin ningún problema.

## 6.2 Secciones de máxima eficiencia

Como se trata de proyectar un canal para conducir cierta can tidad de agua, hay que excavar una cantidad de material que debe procurarse sea el menor volúmen posible.

En ciertas condiciones topograficas y de clase de suelo, pue de presentarse el problema: dada la sección y pendiente que debe tener un canal, determinar cuál es la forma que debe dársele para conducir el mayor gasto.

en la expresión: 
$$Q = A v = \frac{A}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

La condición de gasto máximo se reduce a la de radio hidráulico máximo puesto que A, n y s están dados.

Asu vez, en la ecuación  $r = A/p$ , veremos que el radio hidráulico será máximo cuando p sea mínimo. De todas las secciones que pueden obtenerse la semicircular es la que tiene el mínimo perímetro mojado e igualdad de área, pero no siempre se utiliza en la construcción de canales debido a que implica un costo grande.

En la práctica, los canales de tierra se construyen de sección trapecial; la inclinación de las paredes laterales depende en cada caso particular de varios factores, pero muy particularmente de la clase de terreno en donde están alojados, por ejemplo, en un material rocoso se podrán permitir taludes muy vertica les, en cambio en terrenos más deslabados se impondrá el construir con taludes más tendidos, para evitar derrumbes, etc., que ele ven los costos de conservación.

La siguiente tabla nos es indispensable para poder proyectar canales dependiendo de las características del suelo.

Características de los suelos	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca en buenas condiciones	vertical	1/4 : 1
Arcilla compactada o conglomerados	1/2 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1/2 : 1
Limos arenosos	1 1/2 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1

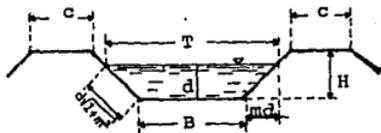
Esta tabla nos muestra los taludes más recomendables para el diseño de canales, considerando entre otros factores - la estabilidad.

En el canal mostrado a continuación; y de la ecuación de A-rea:  $A = Bd + md^2$  se tiene;

$$B = \frac{A - md^2}{d}, \text{ sustituyendo en}$$

$$p = B + 2d \sqrt{1 + m^2}, \text{ resulta}$$

$$p = \frac{A}{d} - md + 2d \sqrt{1 + m^2}$$



Suponiendo que el área de la vena líquida es constante, para determinar cual de todos los canales con los mismos taludes  $m$  es el de máxima eficiencia, derivamos la expresión anterior con respecto al tirante e igualamos con cero dicha derivada:

$$\frac{d p}{d d} = - \frac{A}{d^2} - m + 2 \sqrt{1 + m^2} = 0$$

sustituyendo el valor de  $A$  en:  $A = Bd + md^2$ , y despejando  $B$  nos resulta finalmente la expresión:

$$B = 2d (\sqrt{1 + m^2} - m)$$

de la SECCION DE MAXIMA EFICIENCIA PARA UN TALUD DADO

si en la ecuación:  $r = A/p$  sustituimos el valor de la ecuación anteriormente deducida, tenemos:

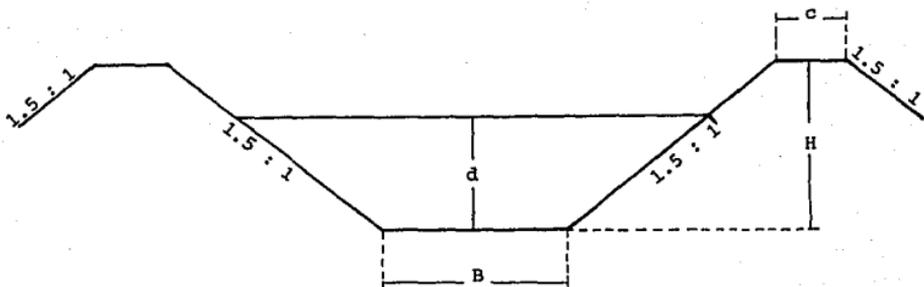
$$r = \frac{A}{p} = \frac{2d^2 (\sqrt{1+m^2} - m) + md^2}{4d \sqrt{1+m^2} - 2dm} = \frac{d (2d \sqrt{1+m^2} - md)}{2 (2d \sqrt{1+m^2} - md)}$$

o sea:

$$r = \frac{d}{2} \quad \text{CONDICION DE MAXIMA EFICIENCIA.}$$

### 6.3 Secciones tipo para canales laterales

Respecto a los canales laterales, su capacidad es desde luego menor que la del canal principal, y si para su construcción se adoptan taludes de 1.5 : 1 como se muestra a continuación en la presente figura, podremos utilizar la tabla de la siguiente página para su diseño.



Este tipo de canal es el utilizado comúnmente, debido a su gran estabilidad como consecuencia de sus taludes.

Como se observa en la tabla, a las secciones más pequeñas se les ha considerado una mayor rugosidad, pues eso se ha observado en la práctica como más conveniente, sin embargo, la tabla puede servir para otras condiciones de rugosidad si recordamos que tanto la velocidad como el gasto, son inversamente proporcionales al coeficiente de rugosidad  $n$ .

Ejemplo:

Un canal lateral con sección 4L y una pendiente de 0.0005, - fue revestido con mampostería, en donde se supone corresponde un coeficiente de rugosidad de 0.020, determinar la velocidad y el - gasto en esas condiciones.

Solución

utilizando la tabla de la pagina anterior, intersectando la columna de 4L con el renglon de  $s = 0.0005$  Obtenemos:

$$v = 0.431 \text{ m/seg}$$

$$Q = 0.543 \text{ m}^3/\text{seg}$$

estos valores obtenidos corresponden a  $n = 0.030$ , entonces para nuestro caso obtenemos la siguiente relación:

$$\frac{0.030}{0.020} = 1.500, \text{ entonces la velocidad y el gasto serán:}$$

$$v = (1.500)(0.431) = 0.6465 \text{ m/seg.}$$

$$Q = (1.500)(0.543) = 0.8145 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Cuando se tenga un coeficiente de rugosidad  $n$  diferente al - empleado en el cálculo de la tabla, se hará uso de un factor de - corrección  $F$  para  $v$  y  $Q$  que depende de  $n$ .

	Canal Tipo 1 L		Canal Tipo 2 L		Canal Tipo 3 L		Canal Tipo 4 L		Canal Tipo 5 L		Canal Tipo 6 L	
B	0.60		0.80		1.00		1.20		1.50		2.00	
d	0.30		0.40		0.50		0.60		0.70		0.80 (hasta 1.00)	
A	0.315		0.560		0.875		1.26		1.785		2.56	
P	1.68		2.24		2.80		3.36		4.02		4.88	
r	0.188		0.250		0.312		0.386		0.444		0.525	
n	0.030		0.030		0.030		0.0275		0.0275		0.025	
H	0.70		0.50		0.90		1.10		1.20		1.30 (hasta 1.50)	
C	0.80		0.80		1.00		1.20		1.20		1.50	
e	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
0.00020	0.155	0.040	0.187	0.105	0.217	0.190	0.272	0.343	0.299	0.534	0.368	0.943
0.00023	0.173	0.054	0.209	0.117	0.243	0.212	0.305	0.384	0.334	0.596	0.411	1.05
0.00030	0.190	0.060	0.229	0.128	0.260	0.233	0.334	0.421	0.366	0.653	0.451	1.15
0.00035	0.205	0.065	0.248	0.130	0.287	0.251	0.360	0.454	0.396	0.707	0.487	1.25
0.00040	0.219	0.069	0.265	0.148	0.307	0.269	0.386	0.486	0.423	0.756	0.521	1.33
0.00045	0.232	0.073	0.280	0.157	0.324	0.283	0.409	0.515	0.447	0.798	0.552	1.42
0.0005	0.245	0.077	0.296	0.160	0.344	0.301	0.431	0.543	0.473	0.845	0.582	1.49
0.0006	0.260	0.085	0.324	0.182	0.376	0.329	0.472	0.595	0.518	0.925	0.638	1.63
0.0007	0.290	0.091	0.350	0.196	0.406	0.355	0.510	0.642	0.560	1.000	0.690	1.76
0.0008	0.310	0.098	0.375	0.210	0.435	0.381	0.545	0.687	0.598	1.067	0.731	1.88
0.0009	0.320	0.104	0.397	0.222	0.461	0.404	0.578	0.728	0.635	1.133	0.781	2.00
0.0010	0.347	0.109	0.419	0.234	0.486	0.425	0.610	0.769	0.660	1.194	0.824	2.11
0.0011	0.363	0.114	0.439	0.245	0.510	0.446	0.639	0.805	0.701	1.250	0.864	2.21
0.0012	0.379	0.119	0.450	0.257	0.532	0.466	0.668	0.841	0.733	1.31	0.902	2.30
0.0013	0.395	0.124	0.477	0.267	0.554	0.484	0.695	0.875	0.762	1.36	0.939	2.40
0.0014	0.410	0.129	0.495	0.277	0.575	0.503	0.721	0.908	0.791	1.41	0.975	2.49
0.0015	0.425	0.134	0.513	0.287	0.595	0.521	0.746	0.914	0.820	1.46	1.008	2.56

## 6.3.1 Factor de corrección F

La presente tabla tiene como propósito obtener los factores de corrección para la velocidad y el gasto de la tabla anterior a esta, tomando en consideración únicamente el coeficiente de rugosidad  $n$ .

$n$	Canales tipo 1L, 2L y 3L	Canales tipo 4L y 5L	Canales tipo 6L
0.012	2.50	2.29	2.08
0.013	2.31	2.11	1.92
0.015	2.00	1.83	1.67
0.017	1.76	1.62	1.47
0.020	1.50	1.37	1.25
0.0225	1.33	1.22	1.11
0.025	1.20	1.10	1.00
0.0275	1.09	1.00	0.91
0.030	1.00	0.92	0.83
0.033	0.91	0.83	0.76
0.035	0.86	0.79	0.71

Esta tabla es de gran utilidad para el rápido y eficaz diseño de canales laterales, ya que nos muestra las correcciones que afectan directamente a la velocidad y el gasto.

Ejemplo:

Un canal con sección tipo 6L y pendiente de 0.00020, con un revestimiento de concreto ( $n = 0.015$ ), determine el gasto y velocidad en dichas condiciones.

Solución: de la tabla gastos y velocidades, con los datos -- proporcionados tenemos:

$$v = 0.368 \text{ m/seg.}$$

$$Q = 0.943 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

y de la tabla de correcciones, interseptando la columna de canal tipo 6L con el renglon de  $n = 0.015$ , obtenemos el factor de corrección.

$F = 1.67$  , entonces la velocidad y el gasto reales para este caso son:

$$v = (1.67)(0.368) = 0.615 \text{ m/seg.}$$

$$Q = (1.67)(0.943) = 1.575 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

**CAPITULO 7 CARACTERISTICAS DE CANALES TIPO**

### 7.1 Canales tipo

En las siguientes seis páginas se mostrarán las características de los canales tipo, estos, como por la gran gama de experiencias en estos estudios, se puede tipificar los canales de riego - en cuanto a sus elementos a diseñar, existen 24 canales tipo, en los cuales se puede apreciar la diversificación de estos. para un mejor entendimiento vamos a citar un ejemplo de estos canales tipo.

Por ejemplo, en la página 168 tenemos el canal tipo 7, en el cual podemos darnos cuenta (cuadro y dibujo), que tiene un ancho de plantilla de 2.0 mts. , tirante = 1.50 mts. franqueo = 0.50 m. corona = 2.0 mts, altura del bordo = 2.0 mts. todas estas características para un coeficiente  $n = 0.025$  . Entonces para estos elementos tenemos las siguientes características hidráulicas: con respecto al tirante , para un tirante de 1.50 mts. tendremos:

$$T = \text{ancho del espejo del agua} = 6.50 \text{ mts.}$$

$$A = \text{área} = 6.375 \text{ m}^2$$

$$P = \text{perímetro mojado} = 7.404 \text{ mts.}$$

$$r = \text{radio hidráulico} = 0.861$$

En este caso es para el canal tipo 7, y así es para todos los 24 canales, como se puede dar cuenta el lector, todo radica - en asimilar las condiciones reales a diseñar, con las características mostradas en estas páginas, comparando cual es el canal que mejor se ajuste a las exigencias naturales del terreno y diseño.

### CARACTERISTICAS DEL CANAL TIPO 1

- b=Ancho en plantilla = 1.00 m  
 d=Tronche = 1.00 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 1.50 m  
 c=Ancho en corona = 1.00 m  
 n=Coef de rugosidad = 0.025

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R	S <sub>0</sub>
0.72	3.80	1.4916	3.940	0.416	22.28
0.74	3.520	1.5474	3.872	0.429	22.64
0.76	3.280	1.6248	3.784	0.443	23.00
0.78	3.040	1.6970	3.676	0.444	23.28
0.80	2.800	1.7600	3.556	0.453	23.60
0.82	2.560	1.8248	3.424	0.462	23.92
0.84	2.320	1.8914	3.272	0.471	24.20
0.86	2.080	1.9600	3.104	0.480	24.52
0.88	1.840	2.0416	2.916	0.489	24.84
0.90	1.600	2.1160	2.700	0.498	25.12
0.92	1.360	2.1896	2.456	0.507	25.44
0.94	1.120	2.2654	2.192	0.516	25.72
0.96	0.880	2.3424	1.908	0.525	26.04
0.98	0.640	2.4206	1.604	0.534	26.32
1.00	0.400	2.5000	1.280	0.543	26.60
1.02	0.160	2.5810	0.936	0.552	26.92
1.04	0.080	2.6630	0.572	0.560	27.18
1.06	0.040	2.7450	0.288	0.569	27.48
1.08	0.020	2.8280	0.152	0.578	27.76
1.10	0.010	2.9120	0.076	0.587	28.04

### CARACTERISTICAS DEL CANAL TIPO 3

- b=Ancho en plantilla = 2.00 m  
 d=Tronche = 1.00 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 1.50 m  
 c=Ancho en corona = 1.00 m  
 n=Coef de rugosidad = 0.025

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R	S <sub>0</sub>
1.00	5.000	3.300	5.409	0.624	29.20
1.02	5.060	3.401	5.680	0.633	29.52
1.04	5.120	3.502	5.748	0.644	29.84
1.06	5.180	3.603	5.818	0.654	30.12
1.08	5.240	3.710	5.897	0.663	30.40
1.10	5.300	3.815	5.966	0.673	30.68

### CARACTERISTICAS DEL CANAL TIPO 2

- b=Ancho en plantilla = 1.50 m  
 d=Tronche = 1.00 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 1.50 m  
 c=Ancho en corona = 1.00 m  
 n=Coef de rugosidad = 0.025

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R	S <sub>0</sub>
1.00	4.500	3.000	5.107	0.588	28.04
1.02	4.560	3.091	5.171	0.597	28.36
1.04	4.620	3.182	5.249	0.606	28.68
1.06	4.680	3.275	5.325	0.615	28.92
1.08	4.740	3.370	5.392	0.625	29.24
1.10	4.800	3.465	5.465	0.634	29.52

### CARACTERISTICAS DEL CANAL TIPO 4

- b=Ancho en plantilla = 2.50 m  
 d=Tronche = 1.00 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 1.50 m  
 c=Ancho en corona = 1.00 m  
 n=Coef de rugosidad = 0.025

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R	S <sub>0</sub>
1.00	5.500	4.000	6.107	0.653	30.16
1.02	5.540	4.111	6.187	0.663	30.44
1.04	5.620	4.222	6.268	0.676	30.80
1.06	5.680	4.338	6.318	0.686	31.12
1.08	5.740	4.450	6.384	0.696	31.40
1.10	5.800	4.568	6.466	0.706	31.72



SECCION

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 5

- B=Ancho en plantilla = 3.00 m  
 d=Transte = 1.00 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 1.50 m  
 c=Ancho en corona = 1.00 m  
 n=Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R m	V <sub>cr</sub> m/s
1.00	0.900	4.500	6.606	0.661	30.36
1.02	0.940	4.620	6.677	0.662	31.30
1.04	0.980	4.742	6.748	0.663	32.22
1.06	1.020	4.865	6.824	0.664	33.12
1.08	1.060	4.989	6.894	0.664	34.02
1.10	1.100	5.115	6.969	0.664	34.93

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 7

- B=Ancho en plantilla = 2.00 m  
 d=Transte = 1.50 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 2.00 m  
 c=Ancho en corona = 2.00 m  
 n=Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R m	V <sub>cr</sub> m/s
1.50	0.500	6.375	7.424	0.661	36.20
1.52	0.540	6.506	7.478	0.670	36.44
1.54	0.580	6.637	7.531	0.678	36.68
1.56	0.620	6.770	7.584	0.686	36.92
1.58	0.660	6.903	7.638	0.694	37.16
1.60	0.700	7.040	7.700	0.706	37.40

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 8

- B=Ancho en plantilla = 1.50 m  
 d=Transte = 1.50 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 2.00 m  
 c=Ancho en corona = 2.00 m  
 n=Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R m	V <sub>cr</sub> m/s
1.42	5.740	5.155	6.520	0.779	33.07
1.44	5.820	5.270	6.607	0.780	34.13
1.46	5.880	5.387	6.704	0.781	34.26
1.48	5.940	5.506	6.806	0.803	34.47
1.50	6.000	5.625	6.908	0.812	34.68
1.52	6.040	5.746	6.980	0.823	35.12
1.54	6.120	5.867	7.052	0.832	35.36
1.56	6.180	5.990	7.124	0.841	35.64
1.58	6.240	6.115	7.196	0.850	35.88
1.60	6.300	6.240	7.268	0.859	36.12

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 8

- B=Ancho en plantilla = 2.50 m  
 d=Transte = 1.50 m  
 e=Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H=Altura del bordo = 2.00 m  
 c=Ancho en corona = 2.00 m  
 n=Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q m <sup>3</sup> /s	V m/s	A m <sup>2</sup>	P m	R m	V <sub>cr</sub> m/s
1.50	7.000	7.125	7.908	0.901	37.32
1.52	7.060	7.248	7.985	0.910	37.56
1.54	7.120	7.371	8.061	0.920	37.84
1.56	7.180	7.494	8.137	0.929	38.08
1.58	7.240	7.618	8.214	0.938	38.34
1.60	7.300	7.740	8.290	0.946	38.60



SECCION

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 9

- B-Ancho en plantilla = 3.00 m  
 d-Tirante = 1.50 m  
 e-Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H-Altura del bordo = 2.00 m  
 c-Ancho en coronación = 2.00 m  
 n-Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	Z en m
1.50	1.543	2.225	9.202	0.117	14.12
1.51	1.560	2.228	9.204	0.116	14.16
1.52	1.577	2.231	9.206	0.115	14.20
1.53	1.594	2.234	9.208	0.114	14.24
1.54	1.611	2.237	9.210	0.113	14.28
1.55	1.628	2.240	9.212	0.112	14.32
1.56	1.645	2.243	9.214	0.111	14.36
1.57	1.662	2.246	9.216	0.110	14.40

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 10

- B-Ancho en plantilla = 3.50 m  
 d-Tirante = 1.50 m  
 e-Altura del bordo libre = 0.50 m  
 H-Altura del bordo = 2.00 m  
 c-Ancho en coronación = 2.00 m  
 n-Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	Z en m
1.50	0.800	6.625	8.910	0.166	19.14
1.51	0.806	6.785	8.983	0.164	19.20
1.52	0.812	6.947	9.056	0.162	19.26
1.53	0.818	7.110	9.129	0.160	19.32
1.54	0.824	7.274	9.201	0.158	19.38
1.55	0.830	7.440	9.273	0.156	19.44

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 11

- B-Ancho en plantilla = 3.00 m  
 d-Tirante = 1.85 m  
 e-Altura del bordo libre = 0.65 m  
 H-Altura del bordo = 2.50 m  
 c-Ancho en coronación = 3.00 m  
 n-Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	Z en m
1.64	0.920	9.954	9.913	1.005	40.16
1.66	0.940	9.713	9.985	1.014	40.16
1.68	0.960	9.473	10.057	1.024	40.16
1.70	0.980	9.233	10.129	1.034	40.16
1.72	0.990	9.097	10.201	1.043	40.16
1.74	0.990	8.961	10.273	1.053	40.16
1.76	0.990	8.825	10.345	1.063	40.16
1.78	0.990	8.689	10.417	1.073	40.16
1.80	0.990	8.553	10.489	1.083	40.16
1.82	0.990	8.417	10.561	1.093	40.16
1.84	0.990	8.281	10.633	1.103	40.16
1.86	0.990	8.145	10.705	1.113	40.16
1.88	0.990	8.009	10.777	1.123	40.16
1.90	0.990	7.873	10.849	1.133	40.16
1.92	0.990	7.737	10.921	1.143	40.16
1.94	0.990	7.601	10.993	1.153	40.16
1.96	0.990	7.465	11.065	1.163	40.16
1.98	0.990	7.329	11.137	1.173	40.16
2.00	0.990	7.193	11.209	1.183	40.16

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 12

- B-Ancho en plantilla = 4.00 m  
 d-Tirante = 1.85 m  
 e-Altura del bordo libre = 0.65 m  
 H-Altura del bordo = 2.50 m  
 c-Ancho en coronación = 3.00 m  
 n-Coeff de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	Z en m
1.83	0.550	15.544	10.667	1.175	43.58
1.86	0.580	15.270	10.705	1.180	43.68
1.89	0.610	15.000	10.743	1.185	43.78
1.92	0.640	14.730	10.781	1.190	43.88
1.95	0.670	14.460	10.819	1.195	43.98
1.98	0.700	14.200	10.857	1.200	44.08
2.01	0.730	13.940	10.895	1.205	44.18
2.04	0.760	13.680	10.933	1.210	44.28
2.07	0.790	13.420	10.971	1.215	44.38
2.10	0.820	13.160	11.009	1.220	44.48
2.13	0.850	12.900	11.047	1.225	44.58
2.16	0.880	12.640	11.085	1.230	44.68
2.19	0.910	12.380	11.123	1.235	44.78
2.22	0.940	12.120	11.161	1.240	44.88



SECCION

**CARACTERISTICAS DEL  
CANAL TIPO 13**

b-Ancho en plantilla = 5.00 m  
d-Tirante = 1.85 m  
e-Altura del bordo libre = 0.65 m  
H-Altura del bordo = 2.50 m  
c-Ancho en corona = 3.00 m  
n-Coeff. de rugosidad = 0.025

**CARACTERISTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	D en m	R	$\frac{V^2}{R}$
1.85	10.350	14.384	11.866	1.233	46.00
1.86	10.680	14.489	11.704	1.230	36.12
1.88	10.640	14.707	11.700	1.248	46.34
1.90	10.700	14.915	11.647	1.259	46.64
1.92	10.764	15.120	11.593	1.268	46.88
1.94	10.828	15.324	11.539	1.279	47.12
1.96	10.892	15.528	11.484	1.290	47.40
1.98	10.949	15.731	11.429	1.300	47.64
2.00	11.000	15.934	11.374	1.310	47.88

**CARACTERISTICAS DEL  
CANAL TIPO 15**

b-Ancho en plantilla = 5.00 m  
d-Tirante = 2.25 m  
e-Altura del bordo libre = 0.75 m  
H-Altura del bordo = 3.00 m  
c-Ancho en corona = 3.00 a 7.00 m  
n-Coeff. de rugosidad = 0.025

**CARACTERISTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	D en m	R	$\frac{V^2}{R}$
2.28	11.75	18.824	13.113	1.437	50.84
2.28	11.78	18.981	13.149	1.442	51.04
2.28	11.84	19.198	13.224	1.452	51.28
2.30	11.90	19.432	13.293	1.462	51.62
2.32	11.98	19.676	13.365	1.472	51.78
2.34	12.02	19.914	13.437	1.482	52.00
2.36	12.04	20.154	13.508	1.492	52.24
2.38	12.14	20.397	13.580	1.502	52.44
2.40	12.20	20.643	13.651	1.512	52.68
2.42	12.26	20.891	13.722	1.522	52.92
2.44	12.32	21.141	13.801	1.532	53.18

**CARACTERISTICAS DEL  
CANAL TIPO 14**

b-Ancho en plantilla = 4.00 m  
d-Tirante = 2.25 m  
e-Altura del bordo libre = 0.75 m  
H-Altura del bordo = 3.00 m  
c-Ancho en corona = 3.00 a 7.00 m  
n-Coeff. de rugosidad = 0.025

**CARACTERISTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	D en m	R	$\frac{V^2}{R}$
2.24	10.740	16.584	12.112	1.370	49.34
2.26	10.780	16.701	12.148	1.375	49.44
2.28	10.840	16.910	12.224	1.384	49.64
2.30	10.900	17.135	12.292	1.394	49.88
2.32	10.960	17.352	12.360	1.403	50.12
2.34	11.020	17.570	12.431	1.413	50.36
2.36	11.080	17.784	12.501	1.423	50.60
2.38	11.140	18.017	12.574	1.433	50.80
2.40	11.200	18.240	12.648	1.442	51.04
2.42	11.260	18.469	12.726	1.451	51.28
2.44	11.320	18.696	12.801	1.460	51.48

**CARACTERISTICAS DEL  
CANAL TIPO 16**

b-Ancho en plantilla = 6.00 m  
d-Tirante = 2.25 m  
e-Altura del bordo libre = 0.75 m  
H-Altura del bordo = 3.00 m  
c-Ancho en corona = 3.00 a 7.00 m  
n-Coeff. de rugosidad = 0.025

**CARACTERISTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	D en m	R	$\frac{V^2}{R}$
2.22	12.73	21.054	14.110	1.483	57.30
2.24	12.78	21.221	14.147	1.486	57.40
2.26	12.84	21.410	14.220	1.493	57.64
2.28	12.90	21.594	14.294	1.497	57.84
2.30	12.96	21.784	14.368	1.501	58.08
2.32	13.02	21.974	14.442	1.505	58.32
2.34	13.08	22.164	14.516	1.509	58.56
2.36	13.14	22.354	14.590	1.513	58.80
2.38	13.20	22.544	14.664	1.517	59.04
2.40	13.26	22.734	14.738	1.521	59.28
2.42	13.32	22.924	14.812	1.525	59.52



### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL TIPO 17

- B-Ancho en plantilla = 700 m  
 d-Tronche = 2.25 m  
 e-Altura del bordo libre = 0.75 m  
 H-Altura del bordo = 3.00 m  
 c-Ancho en corona = 300 a 700 m  
 n-Coeff. de rugosidad = 0.025

CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS CONTENIDOS EN LAS TABLAS DE LAS HOJAS 8 Y 9

d en m/s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m/s	r	C <sub>h</sub>
2.25	11.25	23.244	15.009	1.545	51.41
2.25	11.25	18.481	11.143	1.545	51.56
2.25	11.25	13.718	7.276	1.545	51.71
2.25	11.25	9.000	3.410	1.545	51.86
2.25	11.25	4.282	-0.456	1.545	52.01
2.25	11.25	0.564	-6.600	1.545	52.16
2.25	11.25	-4.158	-12.744	1.545	52.31
2.25	11.25	-8.844	-18.888	1.545	52.46
2.25	11.25	-13.530	-25.032	1.545	52.61
2.25	11.25	-18.216	-31.176	1.545	52.76
2.25	11.25	-22.902	-37.320	1.545	52.91
2.25	11.25	-27.588	-43.464	1.545	53.06
2.25	11.25	-32.274	-49.608	1.545	53.21
2.25	11.25	-36.960	-55.752	1.545	53.36
2.25	11.25	-41.646	-61.896	1.545	53.51
2.25	11.25	-46.332	-68.040	1.545	53.66
2.25	11.25	-51.018	-74.184	1.545	53.81
2.25	11.25	-55.704	-80.328	1.545	53.96
2.25	11.25	-60.390	-86.472	1.545	54.11
2.25	11.25	-65.076	-92.616	1.545	54.26
2.25	11.25	-69.762	-98.760	1.545	54.41
2.25	11.25	-74.448	-104.904	1.545	54.56
2.25	11.25	-79.134	-111.048	1.545	54.71
2.25	11.25	-83.820	-117.192	1.545	54.86
2.25	11.25	-88.506	-123.336	1.545	55.01
2.25	11.25	-93.192	-129.480	1.545	55.16
2.25	11.25	-97.878	-135.624	1.545	55.31
2.25	11.25	-102.564	-141.768	1.545	55.46
2.25	11.25	-107.250	-147.912	1.545	55.61
2.25	11.25	-111.936	-154.056	1.545	55.76
2.25	11.25	-116.622	-160.200	1.545	55.91
2.25	11.25	-121.308	-166.344	1.545	56.06
2.25	11.25	-125.994	-172.488	1.545	56.21
2.25	11.25	-130.680	-178.632	1.545	56.36
2.25	11.25	-135.366	-184.776	1.545	56.51
2.25	11.25	-140.052	-190.920	1.545	56.66
2.25	11.25	-144.738	-197.064	1.545	56.81
2.25	11.25	-149.424	-203.208	1.545	56.96
2.25	11.25	-154.110	-209.352	1.545	57.11
2.25	11.25	-158.796	-215.496	1.545	57.26
2.25	11.25	-163.482	-221.640	1.545	57.41
2.25	11.25	-168.168	-227.784	1.545	57.56
2.25	11.25	-172.854	-233.928	1.545	57.71
2.25	11.25	-177.540	-240.072	1.545	57.86
2.25	11.25	-182.226	-246.216	1.545	58.01
2.25	11.25	-186.912	-252.360	1.545	58.16
2.25	11.25	-191.598	-258.504	1.545	58.31
2.25	11.25	-196.284	-264.648	1.545	58.46
2.25	11.25	-200.970	-270.792	1.545	58.61
2.25	11.25	-205.656	-276.936	1.545	58.76
2.25	11.25	-210.342	-283.080	1.545	58.91
2.25	11.25	-215.028	-289.224	1.545	59.06
2.25	11.25	-219.714	-295.368	1.545	59.21
2.25	11.25	-224.400	-301.512	1.545	59.36
2.25	11.25	-229.086	-307.656	1.545	59.51
2.25	11.25	-233.772	-313.800	1.545	59.66
2.25	11.25	-238.458	-319.944	1.545	59.81
2.25	11.25	-243.144	-326.088	1.545	59.96
2.25	11.25	-247.830	-332.232	1.545	60.11
2.25	11.25	-252.516	-338.376	1.545	60.26
2.25	11.25	-257.202	-344.520	1.545	60.41
2.25	11.25	-261.888	-350.664	1.545	60.56
2.25	11.25	-266.574	-356.808	1.545	60.71
2.25	11.25	-271.260	-362.952	1.545	60.86
2.25	11.25	-275.946	-369.096	1.545	61.01
2.25	11.25	-280.632	-375.240	1.545	61.16
2.25	11.25	-285.318	-381.384	1.545	61.31
2.25	11.25	-290.004	-387.528	1.545	61.46
2.25	11.25	-294.690	-393.672	1.545	61.61
2.25	11.25	-299.376	-399.816	1.545	61.76
2.25	11.25	-304.062	-405.960	1.545	61.91
2.25	11.25	-308.748	-412.104	1.545	62.06
2.25	11.25	-313.434	-418.248	1.545	62.21
2.25	11.25	-318.120	-424.392	1.545	62.36
2.25	11.25	-322.806	-430.536	1.545	62.51
2.25	11.25	-327.492	-436.680	1.545	62.66
2.25	11.25	-332.178	-442.824	1.545	62.81
2.25	11.25	-336.864	-448.968	1.545	62.96
2.25	11.25	-341.550	-455.112	1.545	63.11
2.25	11.25	-346.236	-461.256	1.545	63.26
2.25	11.25	-350.922	-467.400	1.545	63.41
2.25	11.25	-355.608	-473.544	1.545	63.56
2.25	11.25	-360.294	-479.688	1.545	63.71
2.25	11.25	-364.980	-485.832	1.545	63.86
2.25	11.25	-369.666	-491.976	1.545	64.01
2.25	11.25	-374.352	-498.120	1.545	64.16
2.25	11.25	-379.038	-504.264	1.545	64.31
2.25	11.25	-383.724	-510.408	1.545	64.46
2.25	11.25	-388.410	-516.552	1.545	64.61
2.25	11.25	-393.096	-522.696	1.545	64.76
2.25	11.25	-397.782	-528.840	1.545	64.91
2.25	11.25	-402.468	-534.984	1.545	65.06
2.25	11.25	-407.154	-541.128	1.545	65.21
2.25	11.25	-411.840	-547.272	1.545	65.36
2.25	11.25	-416.526	-553.416	1.545	65.51
2.25	11.25	-421.212	-559.560	1.545	65.66
2.25	11.25	-425.898	-565.704	1.545	65.81
2.25	11.25	-430.584	-571.848	1.545	65.96
2.25	11.25	-435.270	-577.992	1.545	66.11
2.25	11.25	-439.956	-584.136	1.545	66.26
2.25	11.25	-444.642	-590.280	1.545	66.41
2.25	11.25	-449.328	-596.424	1.545	66.56
2.25	11.25	-454.014	-602.568	1.545	66.71
2.25	11.25	-458.700	-608.712	1.545	66.86
2.25	11.25	-463.386	-614.856	1.545	67.01
2.25	11.25	-468.072	-621.000	1.545	67.16
2.25	11.25	-472.758	-627.144	1.545	67.31
2.25	11.25	-477.444	-633.288	1.545	67.46
2.25	11.25	-482.130	-639.432	1.545	67.61
2.25	11.25	-486.816	-645.576	1.545	67.76
2.25	11.25	-491.502	-651.720	1.545	67.91
2.25	11.25	-496.188	-657.864	1.545	68.06
2.25	11.25	-500.874	-664.008	1.545	68.21
2.25	11.25	-505.560	-670.152	1.545	68.36
2.25	11.25	-510.246	-676.296	1.545	68.51
2.25	11.25	-514.932	-682.440	1.545	68.66
2.25	11.25	-519.618	-688.584	1.545	68.81
2.25	11.25	-524.304	-694.728	1.545	68.96
2.25	11.25	-528.990	-700.872	1.545	69.11
2.25	11.25	-533.676	-707.016	1.545	69.26
2.25	11.25	-538.362	-713.160	1.545	69.41
2.25	11.25	-543.048	-719.304	1.545	69.56
2.25	11.25	-547.734	-725.448	1.545	69.71
2.25	11.25	-552.420	-731.592	1.545	69.86
2.25	11.25	-557.106	-737.736	1.545	70.01
2.25	11.25	-561.792	-743.880	1.545	70.16
2.25	11.25	-566.478	-750.024	1.545	70.31
2.25	11.25	-571.164	-756.168	1.545	70.46
2.25	11.25	-575.850	-762.312	1.545	70.61
2.25	11.25	-580.536	-768.456	1.545	70.76
2.25	11.25	-585.222	-774.600	1.545	70.91
2.25	11.25	-589.908	-780.744	1.545	71.06
2.25	11.25	-594.594	-786.888	1.545	71.21
2.25	11.25	-599.280	-793.032	1.545	71.36
2.25	11.25	-603.966	-799.176	1.545	71.51
2.25	11.25	-608.652	-805.320	1.545	71.66
2.25	11.25	-613.338	-811.464	1.545	71.81
2.25	11.25	-618.024	-817.608	1.545	71.96
2.25	11.25	-622.710	-823.752	1.545	72.11
2.25	11.25	-627.396	-829.896	1.545	72.26
2.25	11.25	-632.082	-836.040	1.545	72.41
2.25	11.25	-636.768	-842.184	1.545	72.56
2.25	11.25	-641.454	-848.328	1.545	72.71
2.25	11.25	-646.140	-854.472	1.545	72.86
2.25	11.25	-650.826	-860.616	1.545	73.01
2.25	11.25	-655.512	-866.760	1.545	73.16
2.25	11.25	-660.198	-872.904	1.545	73.31
2.25	11.25	-664.884	-879.048	1.545	73.46
2.25	11.25	-669.570	-885.192	1.545	73.61
2.25	11.25	-674.256	-891.336	1.545	73.76
2.25	11.25	-678.942	-897.480	1.545	73.91
2.25	11.25	-683.628	-903.624	1.545	74.06
2.25	11.25	-688.314	-909.768	1.545	74.21
2.25	11.25	-693.000	-915.912	1.545	74.36
2.25	11.25	-697.686	-922.056	1.545	74.51
2.25	11.25	-702.372	-928.200	1.545	74.66
2.25	11.25	-707.058	-934.344	1.545	74.81
2.25	11.25	-711.744	-940.488	1.545	74.96
2.25	11.25	-716.430	-946.632	1.545	75.11
2.25	11.25	-721.116	-952.776	1.545	75.26
2.25	11.25	-725.802	-958.920	1.545	75.41
2.25	11.25	-730.488	-965.064	1.545	75.56
2.25	11.25	-735.174	-971.208	1.545	75.71
2.25	11.25	-739.860	-977.352	1.545	75.86
2.25	11.25	-744.546	-983.496	1.545	76.01
2.25	11.25	-749.232	-989.640	1.545	76.16
2.25	11.25	-753.918	-995.784	1.545	76.31
2.25	11.25	-758.604	-1001.928	1.545	76.46
2.25	11.25	-763.290	-1008.072	1.545	76.61
2.25	11.25	-767.976	-1014.216	1.545	76.76
2.25	11.25	-772.662	-1020.360	1.545	76.91
2.25	11.25	-777.348	-1026.504	1.545	77.06
2.25	11.25	-782.034	-1032.648	1.545	77.21
2.25	11.25	-786.720	-1038.792	1.545	77.36
2.25	11.25	-791.406	-1044.936	1.545	77.51
2.25	11.25	-796.092	-1051.080	1.545	77.66
2.25	11.25	-800.778	-1057.224	1.545	

**CARACTERÍSTICAS DEL  
CANAL TIPO 21**

- b-Ancho en plantilla = 10.00 m  
d-Tirante = 2.60 m  
e-Altura del bordo libre = 0.90 m  
H-Altura del bordo = 3.50 m  
c-Ancho en corona = 3.00 a 7.00 m  
n-Coeff de rugosidad = 0.025

**CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	V <sub>cr</sub> m/s
1.90	17.00	36.120	19.370	1.865	60.60
2.62	17.96	34.475	19.600	1.877	60.64
2.64	17.93	34.625	19.620	1.880	61.75
2.96	17.89	37.275	19.880	1.893	61.34
2.95	18.04	37.870	19.940	1.911	61.60
2.70	16.10	37.835	19.737	1.927	61.64
2.72	16.18	38.090	19.813	1.933	62.09
2.74	16.27	38.345	19.877	1.945	62.33
2.78	16.20	39.570	19.957	1.958	62.56
2.78	16.40	39.215	19.927	1.971	62.76
2.60	16.40	39.765	20.101	1.976	63.45
2.62	16.46	40.770	20.185	1.989	63.76
2.64	16.52	40.480	20.250	2.002	63.52

**CARACTERÍSTICAS DEL  
CANAL TIPO 23**

- b-Ancho en plantilla = 12.00 m  
d-Tirante = 3.00 m  
e-Altura del bordo libre = 1.00 m  
H-Altura del bordo = 4.00 m  
c-Ancho en corona = 5.00 a 7.00 m  
n-Coeff de rugosidad = 0.025

**CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	V <sub>cr</sub> m/s
1.00	31.00	19.500	22.422	2.169	67.02
3.02	21.08	19.877	22.689	2.187	67.28
3.04	22.12	20.327	22.877	2.192	67.46
3.06	21.10	20.785	23.031	2.204	67.70
3.08	21.24	21.190	23.171	2.215	68.00
3.10	21.30	21.615	23.310	2.227	68.20
3.12	21.36	21.046	23.251	2.238	68.40
3.14	21.42	21.489	23.332	2.250	68.60
3.16	21.48	21.900	23.400	2.261	68.82
3.18	21.55	22.329	23.465	2.273	69.12
3.20	21.60	22.760	23.524	2.284	69.34
3.22	21.66	24.193	23.671	2.295	69.60
3.24	21.72	24.676	23.800	2.307	69.80
3.26	21.78	25.060	23.925	2.318	70.04
3.28	21.84	25.498	24.043	2.329	70.28
3.30	21.90	25.935	24.160	2.340	70.65



SECCION

**CARACTERÍSTICAS DEL  
CANAL TIPO 22\***

- b-Ancho en plantilla = 10.00 m  
d-Tirante = 3.00 m  
e-Altura del bordo libre = 1.00 m  
H-Altura del bordo = 4.00 m  
c-Ancho en corona = 5.00 a 7.00 m  
n-Coeff de rugosidad = 0.025

**CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	V <sub>cr</sub> m/s
2.66	16.64	41.245	20.284	2.029	64.00
2.90	16.70	41.670	20.250	2.034	64.70
2.92	16.78	41.990	20.326	2.048	64.84
2.94	16.82	42.365	20.400	2.057	64.80
2.96	16.88	42.765	20.475	2.068	64.82
2.98	16.94	43.171	20.549	2.079	64.78
3.00	17.00	43.500	20.613	2.090	65.39
3.02	17.08	43.861	20.686	2.101	65.60
3.04	17.12	44.245	20.755	2.112	65.64
3.06	17.18	44.650	20.820	2.124	66.04
3.08	17.24	45.030	20.901	2.134	66.70
3.10	17.30	45.415	20.982	2.144	66.72
3.12	17.36	45.807	21.054	2.155	66.72
3.14	17.42	46.197	21.126	2.166	66.96
3.16	17.48	46.578	21.195	2.177	67.16
3.18	17.54	46.968	21.267	2.188	67.40
3.20	17.60	47.360	21.337	2.199	67.64
3.22	17.66	47.753	21.408	2.210	67.60
3.24	17.72	48.148	21.481	2.220	68.72
3.26	17.78	48.545	21.554	2.231	68.84
3.28	17.84	48.938	21.626	2.242	68.88
3.30	17.90	49.335	21.697	2.253	69.72

**CARACTERÍSTICAS DEL  
CANAL TIPO 24**

- b-Ancho en plantilla = 14.00 m  
d-Tirante = 3.00 m  
e-Altura del bordo libre = 1.00 m  
H-Altura del bordo = 4.00 m  
c-Ancho en corona = 5.00 a 7.00 m  
n-Coeff de rugosidad = 0.025

**CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS  
COMPLEMENTARIAS PARA LOS CASOS  
CONTENIDOS EN LAS TABLAS  
DE LAS HOJAS 8 Y 9**

Q en m <sup>3</sup> /s	V en m/s	A en m <sup>2</sup>	P en m	R en m	V <sub>cr</sub> m/s
3.00	23.00	25.500	24.82	2.236	68.10
3.02	23.08	25.861	24.89	2.246	68.64
3.04	23.12	26.245	24.97	2.250	68.80
3.06	23.18	26.665	25.04	2.257	69.12
3.08	23.24	27.150	25.11	2.264	69.36
3.10	23.30	27.616	25.18	2.266	69.40
3.12	23.36	28.070	25.25	2.268	69.64
3.14	23.42	28.520	25.31	2.270	70.00
3.16	23.48	28.970	25.38	2.272	70.32
3.18	23.54	29.460	25.44	2.274	70.56
3.20	23.60	29.960	25.50	2.276	70.70
3.22	23.66	30.465	25.56	2.287	71.04
3.24	23.72	31.000	25.60	2.297	71.28
3.26	23.78	31.567	25.76	2.307	71.52
3.28	23.84	32.050	25.83	2.303	71.76
3.30	23.90	32.535	25.91	2.312	72.00

## 7.2 Canales revestidos

Los canales revestidos se construyen por las siguientes razones primordiales:

- 1.- Permite el transporte de agua a altas velocidades a través de terreno con excavaciones profundas o difíciles en forma económica.
- 2.- Permite el transporte de agua a alta velocidad con un costo - reducido de construcción.
- 3.- Disminuye la infiltración, conservando el agua y reduciendo - la sobrecarga en los terrenos adyacentes al canal.
- 4.- Reduce el costo anual de operación y mantenimiento.
- 5.- Asegura la estabilidad de la sección transversal del canal.

El diseño de canales revestidos desde el punto de vista de - la Ingeniería Hidráulica es un proceso bastante elemental que con siste generalmente en dimensionar un tipo supuesto de sección --- transversal del canal.

Para una clara visión mostrare un procedimiento general, pero no el unico, para el diseño de canales revestidos.

Paso 1 ... estimar el valor de  $n$  o  $C$  para el material de revestimiento dado.

Paso 2 ... calcular el factor de sección  $AR^{2/3} = \frac{n Q}{\phi \sqrt{s}}$

$\phi = 1.49$  para unidades inglesas y 1 en unidades SI

Paso 3 ... resolverse la ecuación del factor de sección para  $Y_n$  usando las expresiones para el área y radio hidráulico. Este paso puede requerir suposiciones sobre los taludes, ancho de fondo, etc.

Paso 4 ... si se requiere de una sección hidráulica óptima, calcular los parametros del canal con la tabla citada a continuación, si no, calcule el área, perímetro, etc.

- Paso 4 ... (continua) esto es, los elementos básicos, usando el  $y_n$  del paso 3.
- paso 5 ... verifique:
- a) la velocidad mínima permisible para -- agua que transporta sedimentos y para vegetación.
  - b) el número de Froude.
- Paso 6 ... estime:
- a) la altura requerida del revestimiento sobre la superficie del agua.
  - b) el borde libre requerido.
- Paso 7 ... resuma los resultados con un bosquejo dimensionado.

En la siguiente pagina se mostrara una tabla con los elementos geométricos de las secciones hidráulicas óptimas, está tabla es necesaria para resolver el paso 4.

Sección	perímetro	Radio	Ancho	Tirante	
Transversal	Area	mojado	Hidráulico	Superficial	Hidráulico
	A	p	r	T	D
Trapezoidal: 1/2 hexágono	$1.73y^2$	3.46y	0.500y	2.31y	0.750y
Rectángulo: 1/2 cuadrado	$2y^2$	4y	0.500y	2y	y
Triángulo: 1/2 cuadrado	$y^2$	2.83y	0.354y	2y	0.500y
Semicirculo	$0.500 y^2$	y	0.500y	2y	0.250 y
Parábola: T = 2 2y	$1.890y^2$	3.77y	0.500y	2.83y	0.667y
Catenaria hidráulica	$1.400y^2$	2.980y	0.468y	1.920y	0.728y

Tabla de elementos geométricos de las secciones hidráulicas óptimas

Un punto primordial en el diseño de canales revestido es el costo del material del revestimiento y el desarrollo de las dimensiones del canal que minimicen este costo. El costo del revestimiento está en función del volumen de material de revestimiento el cual es a su vez función del espesor del revestimiento y de la magnitud del perímetro mojado.

Si el canal se reviste con un material de espesor uniforme, entonces la solución que minimiza el costo de revestimiento para un canal de sección transversal de forma arbitraria está dada por la sección óptima hidráulica ( tabla anterior ). Aunque si el espesor del revestimiento cambia con el perímetro, entonces este problema se complica bastante.

Trout (1982) revisó el problema de la optimización del costo del revestimiento cuando éste no era el mismo en el fondo que en los taludes para canales triangulares, trapeziales y rectangulares. Su metodología no considera los costos de colocación ni de construcción a no ser que éstos se puedan valorar en función de la superficie del canal.

El procedimiento descrito a continuación es especialmente útil para largas secciones de canal donde los procedimientos de construcción se pueden orientar hacia la minimización de costos o en los casos en que los costos de mano de obra son relativamente menores que los del material de revestimiento.

Como se notó previamente en este tema, el parámetro de mayor importancia en el dimensionamiento de los canales revestidos es el factor de sección (  $Ar^{2/3} = nQ/\phi\sqrt{s}$  ). Para secciones trapeziales, rectangulares y triangulares el factor de sección está re presentado por la siguiente ecuación.

$$Ar^{2/3} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} = \frac{(by + zy^2)^{5/3}}{[b + 2y\sqrt{1+z^2}]^{2/3}} = \frac{Qn}{\phi\sqrt{s}}$$

donde

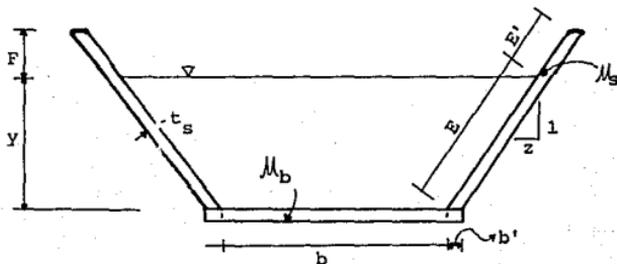
- $z$  = talud
- $b$  = ancho del fondo
- $y$  = tirante
- $s$  = pendiente del canal
- $n$  = coeficiente de rugosidad de Manning
- $Q$  = gasto de diseño
- $\phi$  = constante, que para el sistema ingles = 1.49 y para el sistema métrico = 1.00.

De la ecuación anterior podemos reordenar dando una solución implícita para el tirante como se demuestra a continuación.

$$y = \frac{[(b/y) + z \sqrt{1 + z^2}]^{1/4}}{[(b/y) + z]^{5/8}} \frac{Qn}{\phi \sqrt{s}}^{3/8}$$

En esta ecuación si  $b/y$  y el talud  $z$  son datos, entonces pue de resolverse en forma explícita  $b$  y  $y$ .

El costo del material usado en el revestimiento por lo común se da como una función del volumen de material usado. Por ejemplo si el espesor del revestimiento está especificado, el costo por u nidad de largo del canal es sólo función del perímetro mojado más el bordo libre y el material usado en las esquinas. Referente a - la siguiente figura.



donde

- $t_g$  = espesor del revestimiento de los taludes  
 $E$  = longitud del talud mojado  
 $E'$  = longitud del bordo libre sobre los taludes  
 $M_b$  = costo del revestimiento de fondo por unidad de volumen  
 $M_s$  = costo del revestimiento de los taludes por unidad de vo  
lumen  
 $B$  = costo del revestimiento de fondo para un espesor especi  
fico por unidad de área  
 $k$  = costo del material de las esquinas por unidad de largo  
 $\Gamma$  = costo del revestimiento de los taludes para un espesor  
F especificado por unidad de área  
 $F$  = requerimiento de bordo libre vertical.

### 7.3 Canales revestidos con hierba

La presencia de hierba o vegetación en los canales, resultará en una turbulencia considerable, lo cual significa pérdida de energía y retardo del flujo. Para canales en tierra usados para trasladar agua sobre terrenos de chacra, sin embargo, se encuentra a menudo un revestimiento de hierba el cual es ventajoso y de seable.

La hierba estabilizará el cuerpo del canal, consolidando la masa de suelo del lecho, y controla la erosión sobre la superficie del canal, y el movimiento de las partículas del suelo a lo largo del fondo del canal.

El coeficiente de rugosidad de Manning para canales con hierba es conocido específicamente como el coeficiente de retardo. De acuerdo a varias investigaciones, se encontró que el  $n$  de Manning para una clase de hierba que varía en un amplio rango depende de la profundidad del flujo, la forma y la pendiente del canal. Así, la selección de un valor de diseño para  $n$  sería casi imposible.

El coeficiente de retardo  $n$  mantiene una cierta relación con el producto de la velocidad media del flujo  $v$  y el radio hidráulico  $r$ . Esta relación es característica de la vegetación y prácticamente independiente de la pendiente y forma del canal. Hay cinco diferentes grados de retardo; muy alto, alto, moderado, bajo y -- muy bajo, la clasificación del grado de retardo se basa sobre la clase de vegetación y la condición de crecimiento.

La velocidad permisible del flujo en un canal revestido de hierba es la velocidad que prevendrá la erosión severa en el canal durante una longitud razonable de tiempo.. Velocidades permisibles para diferentes cubiertas vegetales, pendientes del canal, y condiciones del suelo, se ilustran a continuación con el siguiente cuadro.

Velocidades permisibles para canales revestidos con hierba

Cubierta	Variación de la pendiente %	Velocidad permitida, pies/seg.	
		Suelos resistentes a la erosión	Suelos fácilmente erosionables
Hierba bermuda	0-5	8	6
	5-10	7	5
	10	6	4
Hierba Buffalo, tallos altos y espinosos	0-5	7	5
	5-10	6	4
	10	5	3
Mezcla de hierbas	0-5	5	4
	5-10	4	3
	No usar en pendientes más pronunciadas que 10%		
Maleza de trébol, alfalfa	0-5	3.5	2.5
	Su uso en pendientes más pronunciadas que el 5% no excepto en pendientes laterales en un canal combinado		
Anuales-usadas en pendientes-suaves o como protección temporal hasta que se establezcan cubiertas permanentes.	0-5	3.5	2.5
	Su uso en pendientes más pronunciadas que el 5% No es recomendable.		

La selección de la hierba para el revestimiento del canal de pende principalmente del clima y del suelo en el cual la planta - crecerá y sobrevivirá bajo las condiciones dadas. Desde el punto de vista hidráulico, la estabilidad y otros factores deberían tam bién ser considerados.

En general, una descarga más lata requiere un revestimiento - más fuerte o mejor. Para pendientes pronunciadas, hierba en mont nes, tales como la alfalfa y maleza de trébol, desarrollarán una canalización del flujo y en consecuencia, son poco adecuadas para el revestimiento. Para pendientes más grandes que 5%, solo hier-- bas de formación turbosa fina y distribuidas uniformemente tales como la hierba Bermuda, lisas y altas espinosas, son recomendadas para revestimiento donde ocurre el flujo principal.

Debido a la objetable naturaleza de espaciarse de la hierba de formación turbosa, la porción superior de los costados pueden ser plantadas con hierbas que no se esparzan fácilmente.

El depósito de limo en los canales se puede controlar median te un revestimiento con grupos de hierbas, las cuales desarrollarán un flujo canalizado, velocidad incrementada, y por lo tanto - reducción en el limo depositado.

### 7.3.1 Canales revestidos con pasto

El revestimiento de un canal con pasto es un método común empleado para producir flujos intermitentes de irrigación y controlar la erosión en áreas agrícolas. El pasto sirve para estabilizar el cuerpo del canal, consolidar el suelo que compone el perímetro del canal, y restringir el movimiento de partículas de suelo en el lecho de éste. Sin embargo los canales revestidos con -- pasto no pueden por lo general resistir inundaciones prolongadas y humedad, y su diseño presenta un número de problemas que no se pueden resolver fácilmente, la variación estacional del coeficiente de fricción debido a la condición del revestimiento.

El coeficiente de retraso  $n$  se encuentra en función de la velocidad promedio, del radio hidráulico, y del tipo de vegetación. La selección del pasto para un uso específico depende principalmente del clima y las condiciones del suelo prevalectentes. Desde el punto de vista de la Ingeniería Hidráulica, la consideración principal debe ser la estabilidad del canal. Además se deben no--tar los siguientes lineamientos:

- 1.- Donde sólo se pueda establecer o mantener una cubierta vegetal escasa, las velocidades no deben exceder los 0.91 m/seg.
- 2.- Donde la vegetación se tenga que establecer por siembra, se permiten velocidades del orden de 0.91 a 1.20 m/seg.
- 3.- Cuando el césped puede desarrollarse rápidamente o cuando el flujo normal del canal se puede desviar hasta que se establezca una capa vegetal, se pueden tener velocidades de 1.2 a 1.5 m/seg.
- 4.- En césped bien establecido de buena calidad, se permiten velocidades entre 1.5 a 1.8 m/seg.
- 5.- En condiciones muy especiales, se permiten velocidades hasta de 1.8 a 2.1 m/seg.

En el diseño de canales revestidos de pasto debe, en la mayor parte de los casos, proceder en dos etapas. En la primera etapa, se supone un bajo grado de retraso, que corresponde a las estimaciones de poco crecimiento a periodos en los cuales se establece la vegetación. La segunda etapa da las dimensiones pertinentes con la suposición de un alto grado de retraso.

Las formas de sección comúnmente usadas son la trapecial, -- triangular, y parabólica, siendo las últimas dos las más populares. El diseñador debe estar consciente, al diseñar canales revestidos con pasto, de las consideraciones principales que pueden -- afectar el cruce fácil de la maquinaria hidráulica durante los periodos en que esté seco el canal. Esta consideración puede requerir que los taludes del canal se diseñen para este propósito en vez de la eficiencia hidráulica o la estabilidad del canal.

En muchos casos, el centro de los canales revestidos con pasto se reviste con grava o roca para mayor estabilización del canal y/o para producir un drenaje adecuado.

Los efectos del movimiento ondulatorio y doblado del pasto -- sobre las características del flujo en el canal, siendo los resultados pertinentes de este estudio:

- 1.- Los canales revestidos con pasto se caracterizan aparentemente por dos valores locales del factor de fricción: uno para pasto recto y ondulante y otro para pasto caído o doblado.
- 2.- Se encontró que el factor de fricción  $y$ , por lo tanto, la  $n$  de Manning estaban en función de la rugosidad relativa para los regímenes de flujo con pasto erecto u ondulante, pero estaban en función del número de Reynolds para el pasto caído o doblado.

Se examinarón los efectos de la densidad de la vegetación y el tirante sobre las características del flujo, las conclusiones fueron las siguientes:

- 1.- Las diferencias entre las fronteras del flujo sobre la vegetación que se encuentra parcialmente sumergidas es significativa y debe tomarse en cuenta.
- 2.- Recuérdese que para superficies lisas un número de Reynolds - de 2000 marca el límite del régimen laminar de flujo. Para el caso de flujo sobre pasto el número de Reynolds crítico es -- función del tirante.

Dada la complejidad de las superficies con vegetación, no es sorprendente que el diseño de estos canales sea empírico. Es claro que se necesita más investigación es esta área.

**CAPITULO 8 CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES GENERALES

- \* Primeramente, este presente trabajo tiene por objetivo, dar la pauta para la reflexión de la importancia de la materia de sistemas de riego. Ya que en la vida profesional podríamos tener una mejor visión de la ingeniería civil y su relación con otras disciplinas.

Ya que el estudio de esta materia da la pauta para un verídico apoyo de otras materias, como son: Hidrología, mecánica de suelos, Topografía, Hidráulica, etc. Como materia de octavo semestre sería una buena opción. Esta reflexión mía queda a disposición y crítica.

- \* Los estudios básicos para el diseño de sistemas de canales para riego son de vital importancia para una proyección de la obra satisfactoria, no debemos de olvidar que el reconocimiento en campo nos da el panorama más real de la situación en que encuentra el área en cuestión.
- \* Debemos de tener bien claro la relación beneficio-costos de el sistema de canales para saber cuan importante es la obra hidráulica en probable construcción, además de los ciclos de riego.
- \* En un sistema de canales proyectados para un riego debemos de relacionar muy bien el acoplamiento del canal con otro dispositivo. el cual regará físicamente el cultivo, para - el presente trabajo, se pudo haber acoplado el sistema de aspersión, pero está no es la finalidad de este trabajo.
- \* Los materiales para la construcción de el sistema de canales debemos de utilizar los que existen en sitio, para una mejor economía.

- \* El uso consuntivo para el diseño de los canales es muy importante, ya que depende mucho el gasto de diseño que se esta considerando.
- \* Los canales trapeziales y rectangulares son los más usuales y económicos para un sistema de canales, por su relativa facilidad para su construcción y mantenimiento, no debemos de olvidar la facilidad en el acoplamiento - con otro tipo de riego para un mejor resultado.
- \* El trazado de los canales deben de coincidir lo mejor - posible con las curvas de nivel, para una mejor facilidad en su construcción y operación hidráulica, tambien no debemos olvidar que este tipo de sistema de riego -- trabaja por la fuerza gravitacional.
- \* Las infiltraciones tienen una relación directa con el - recubrimiento del canal.
- \* En la práctica este tema es tan conocido que ya existen canales tipo, de aquí del porque la existencia de los últimos dos capítulos.
- \* El riego por sistemas de canales se desarrolla solamente cuando se tiene que satisfacer una necesidad grande de - hectáreas.

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

- 1.- Acosta A. Guillermo, de Azevedo J.M.  
Manual de Hidráulica  
México D.F. 1976, Editorial HARLA, sexta edición.
- 2.- Chow Ven Te  
Hidráulica de canales abiertos  
Editorial Mc Graw-Hill.
- 3.- French Richard H.  
Hidráulica de canales abiertos  
México D.F., 1988 Editorial Mc Graw-Hill, primera edición.
- 4.- Gurovich Luis A.  
Fundamentos y Diseño de sistemas de riego  
San José de Costa Rica 1985, Editorial I.I.C.A., 1<sup>a</sup> edición.
- 5.- King Horace Williams, F Brater Ernest  
Manual de hidráulica  
México D.F. 1976, Editorial Mc Graw-Hill, sexta edición.
- 6.- Linsley Ray K., Franzini Joseph B.  
Ingeniería de los recursos hidráulicos  
México D.F. 1978, Editorial C.E.C.S.A., novena edición
- 7.- Oriye Alba Adolfo  
LA irrigación en México  
México D.F. 1970, Editorial Grijalbo, primera edición.
- 8.- Russell George E.  
Hidráulica  
México D.F. 1981, Editorial C.E.C.S.A., novena edición.

- 9.- Silvestre Paschoal  
Fundamentos de hidráulica general  
México D.F. 1983, Editorial Limusa, primera edición.
- 10.- Trueba Coronel Samuel  
Hidráulica  
México D.F. 1980, Editorial C.E.C.S.A., 18<sup>a</sup> edición.
- 11.- Withers Bruce, Vipond Stanley  
El riego diseño y práctica  
México D.F. 1978, Editorial DIANA.