



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**“ESTUDIOS Y PROYECTOS PARA  
UNA ZONA DE RIEGO”**

**T E S I S  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA: ROMÁN MORALES GUTIERRÉZ**

**ASESOR: ING. GERARDO TOXKY LÓPEZ**

*m340205*

**San Juan de Aragón, Edo de Méx.**

**Enero 2005**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo académico.

NOMBRE Bomán Macías  
Gutierrez

FECHA: 09/06/2004

FIRMA: [Firma]



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

ROMAN MORALES GUTIERREZ  
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"ESTUDIOS Y PROYECTOS PARA UNA ZONA DE RIEGO"

ASESOR: Ing. GERARDO TOXKY LÓPEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 8 de marzo de 2004.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIRA



### **A MI MADRE**

Eusebia Gutiérrez Alva

Gracias por haberme dado la vida y hacer de mí lo que soy ahora. A ella por sus sacrificios, desvelos y ayunos, durante mi formación profesional. Sus esfuerzos no han sido en vano. "Que Dios te bendiga". Te quiero mucho mamita.

### **A MI PADRE**

Román Morales Hernández +

A quien con sus palabras que siempre me brindó, durante el tiempo que pudimos disfrutar, me ayudaron a ser mejor día con día. Gracias Guinyas, siempre estarás presente en mi corazón. "Que Dios te bendiga donde quiera que te encuentres".

### **A MIS HERMANOS**

Cecilia y Juan

Por todos los momentos alegres que hemos pasado, por su amor, cariño y ayuda. A ellos que son mi gran orgullo. A mi cuñado Francisco, por compartir este momento.

### **A MI FAMILIA**

A la familia Jacobo Gutiérrez y a todos sus descendientes, a mi tía Emilia y mi tío Serafín, por todas sus palabras y apoyo durante toda mi vida. Gracias por estar siempre conmigo. "Que Dios los cuide siempre".

---



### **A LA FAMILIA**

A la familia Villegas Servín, al Sr. Víctor Hugo y a la Sra. Teresa, gracias por brindarme su casa y apoyo, muy en especial a Lupe con quien he compartido estos ocho años, a quien le debo parte de mi formación. A ella que siempre ha estado en las buenas y en las malas, no se cómo poder expresarle mi mayor agradecimiento. "Que Dios bendiga su hogar".

### **A MI ASESOR**

Al Ing. Gerardo Toxky López, a quien agradezco sus enseñanzas y sabios consejos, que me llevaron a concluir este proyecto.

### **A MIS AMIGOS**

Al Sr. Teodomiro Barrera Rafael, Ejecutivo sindical S.N.T.A.S., y a mi amigo y compañero Esteban Rentería, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, que sin ellos no hubiera logrado esta meta Gracias.

### **A TODA LA COMITIVA**

Al Ing. Pantoja, que con sus veinte ha logrado muchas cosas; al Ing. Ricardo, que con su cara de malo espanta; al Ing. Saavedra, él y sus ojos mentirosos.

Al "Pepsi" que siempre entonaba "La cucaracha...", al "Asrael", al "Guapo Bens", al "Tacaño", a "La vieja", a "Cristian" y a toda la bola de "ojos alegres" que contribuyeron para que los momentos más estresantes se volvieran ligeros, gracias a nuestras copias, ¡salud! Y por compartirme su alegría y conbebencia.

---



### **A LA DEPENDENCIA**

Comisión Nacional del Agua, por la información proporcionada, y en especial a los señores Ignacio y Carlos, así como a la Srita. N, por su amabilidad y paciencia durante mi investigación.

### **A LA UNAM**

A mi Universidad, gracias por brindarme la oportunidad de lograr uno de mis sueños y ofrecerme sus rincones acogedores y hacerme sentir sus colores.

**¡MÉXICO, PUMAS, UNIVERSIDAD, GOOOYA.....!**

---



## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN.

### CAPÍTULO I.- GENERALIDADES.

**PÁG.**

1.- IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO.	1
2.- DEFINICIÓN.	12
3.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO.	12
4.- INFORMACIÓN NECESARIA PARA LOS PROYECTOS DE PLANEACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO.	18

### CAPÍTULO II.- ESTUDIOS.

2.1.- ESTUDIOS PREVIOS.	24
2.2.- ESTUDIOS DEFINITIVOS.	26
2.2.1.- PLANOS DE LOCALIZACIÓN.	27
2.2.2.- PLANOS TOPOGRÁFICOS.	27
2.2.3.- MOSAICOS FOTOGRÁFICOS.	29
2.2.4.- PLANOS AGROLÓGICOS.	29
2.2.5.- PLANOS DE USO DE LA TIERRA.	30
2.2.6.- PLANOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA PROPIEDAD.	30
2.2.7.- DATOS CLIMATOLÓGICOS.	31
2.2.8.- DATOS HIDROLÓGICOS.	31
2.2.9.- RELACIÓN DE CULTIVOS ADECUADOS.	32
2.2.10.- PLANOS GEOLÓGICOS.	32
2.2.11.- ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.	33
2.2.12.- ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS .	34

### CAPÍTULO III.- CONSIDERACIONES DEL PROYECTO.

3.1.- CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO DE LA ZONA DE RIEGO.	38
3.2.- CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO DE LA ZONA DE RIEGO.	40





<b>CAPÍTULO IV.- SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.</b>	<b>PÁG.</b>
4.1.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.	45
4.1.1.- RED DE DISTRIBUCIÓN CON CANALES ABIERTOS.	45
4.1.2.- RED DE DISTRIBUCIÓN CON TUBERÍA.	55
4.1.2.1.- SISTEMA ABIERTO O DE BAJA PRESIÓN.	58
4.1.2.2.- SISTEMA CERRADO O DE ALTA PRESIÓN.	59
4.1.2.3.- TIPOS DE TUBERÍA.	60
4.2.- CANAL PRINCIPAL.	65
4.3.- LOCALIZACIÓN DE LOS CANALES DE DISTRIBUCIÓN.	67
4.4.- RAMALES.	71
4.5.-REGADERAS.	76
4.6.-DRENES.	78
4.6.1.- SISTEMA DE DRENAJE BÁSICO O PRIMARIO.	79
4.6.2.- SISTEMA DE DRENAJE PARCELARIO.	79
4.6.3.- TIPOS DE DRENES.	79
4.6.4.- FUNCIÓN DE LOS DRENES.	82
4.7.- NORMAS GENERALES DE DISEÑO DE CANALES.	88
4.7.1.- CAPACIDAD DE LOS CANALES.	88
4.7.2.- DIMENSIONAMIENTO.	111
4.7.3.- VELOCIDAD.	113
4.7.4.- BORDO LIBRE.	114
4.7.5.- RELACIÓN PLANTILLA-TIRANTE.	114
4.7.6.- DETERMINACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA EN LAS TOMAS GRANJA.	115
4.7.7.- ESCURRIMIENTO DE AGUA EN CANALES.	116
4.8.- CANALES SIN REVESTIR.	122
4.9.- CANALES REVESTIDOS.	124
4.9.1.- CRITERIOS GENERALES.	124
4.10.- REVESTIMIENTO DE CANALES.	124
4.10.1.- PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS CANALES.	125
4.10.2.- TIPOS DE REVESTIMIENTO.	126
4.10.3.- SELECCIÓN Y TIPO DE REVESTIMIENTO.	127
4.10.4.- CANALES REVESTIDOS DE MAMPOSTERÍA EN CANALES.	127
4.10.5.- REVESTIMIENTO DE MAMPOSTERÍA EN CANALES.	129
4.11.- PLANEACIÓN GENERAL DE LA TOMA DE RIEGO.	132
<b>V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>147</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.</b>	<b>148</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>151</b>



## INTRODUCCIÓN

Mi trabajo de tesis tiene como objetivos proponer una serie de alternativas, para seleccionar el más adecuado método para una zona de riego con su respectivo análisis y evaluar el más confiable y el más económico.

Tiene el interés también en convertirse en un trabajo de consulta para alumnos que cursan la materia de "Captaciones y conducciones", y a fin de que tengan la inquietud en conocer cuales son los estudios básicos y definitivos en un proyecto de zonas de riego.

El desarrollo de ésta información está distribuida en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

Capítulo I. Se mencionan las generalidades relacionadas con el Ciclo Hidrológico, así como las diferentes zonas de temporal, laborables y la integración de las regiones administrativas en la República Mexicana, definidas por la Comisión Nacional del Agua.

Capítulo II. Se describen los estudios preliminares, como son los de carácter social, económico y técnico.

Capítulo III. Se describen los diferentes sistemas para la aplicación del agua de riego.

Capítulo IV. Se describe el sistema de canales, como son el principal, lateral y ramal, así como el procedimiento para su ubicación en la zona de proyecto; también se describen el conjunto de drenes para eliminar los sobrantes del riego, como de las aguas pluviales. Finalmente se especifican las recomendaciones para el revestimiento de los canales en concreto y mampostería.

Capítulo V. Se mencionan algunas recomendaciones y conclusiones que se deben considerar para el diseño de los canales que integran una zona de riego.

---



## I.- GENERALIDADES.

### 1.- Importancia de los Sistemas de Riego en la Economía Nacional.

México como un país en vías de desarrollo debe poner atención a las actividades primarias de manera que logre una consolidación de ellas para brindar a la industria un mayor apoyo y estar en condiciones de tener un desarrollo económico importante en estas actividades. En el caso de la agricultura que en el país es del 70% bajo temporal, la cual para poder desarrollarla se deben considerar algunos recursos naturales como son el clima, suelo, agua, topografía, etc. teniendo en cuenta que estos recursos se obtienen de algunas de las fases que integran el ciclo hidrológico (figura 1.1). La República Mexicana con una superficie del orden de casi dos millones de kilómetros cuadrados esta ubicada entre las latitudes  $19^{\circ}$  y  $31^{\circ}$  que limitan la faja tanto en el hemisferio norte como en el sur, donde las lluvias son mínimas y donde se localizan los principales y más conocidos desiertos y zonas de mayor aridez del mundo.

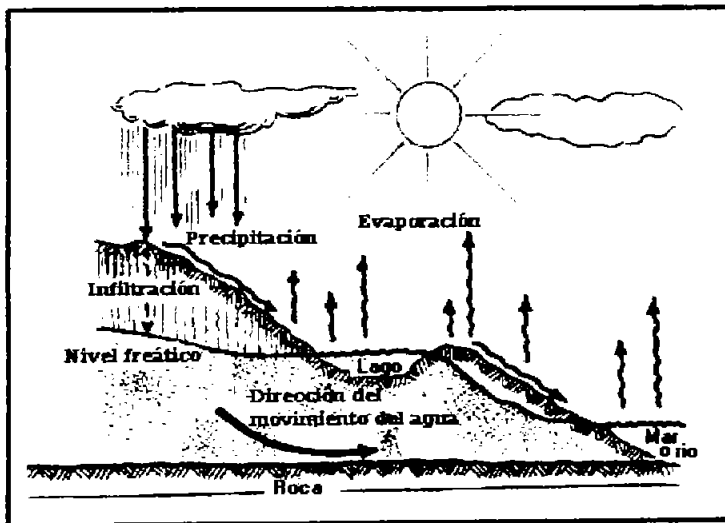


Figura 1.1 Ciclo Hidrológico



## Componentes del Ciclo Hidrológico Nacional.

### Valores anuales.

Precipitación media histórica 1941-2001 (772 mm)	1528 km <sup>3</sup>
Evapotranspiración media	1109 km <sup>3</sup>
Escorrentamiento superficial virgen medio	394 km <sup>3</sup>
Recarga media de acuíferos	75 km <sup>3</sup>
Disponibilidad natural media por habitante	4685 m <sup>3</sup>

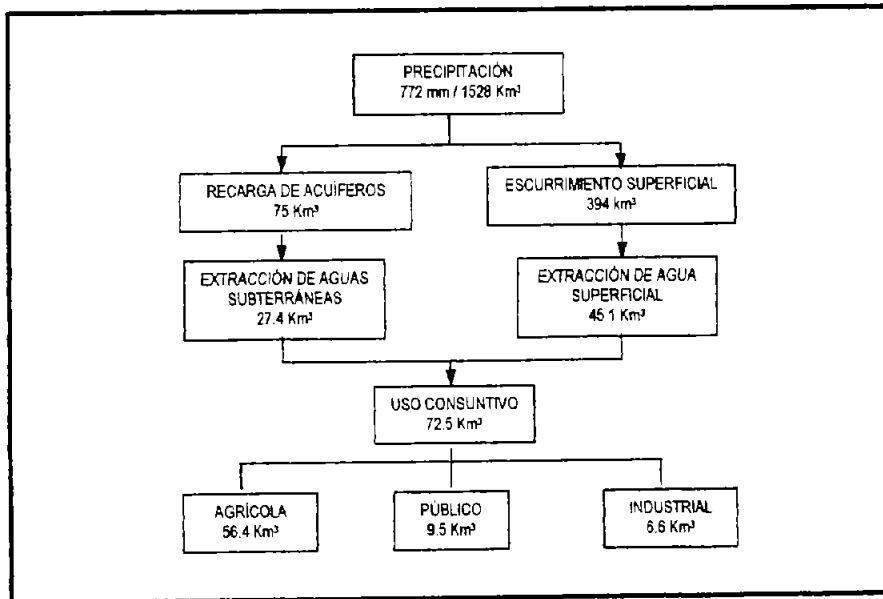


Figura 1.2 Disponibilidad Anual Promedio de Recursos Hídricos en México\*

Esta situación hace que para desarrollar la agricultura se requiera de la **NECESIDAD DE IRRIGACIÓN** en cada zona del territorio nacional. Considerando lo anterior y de acuerdo al monto anual y distribución mensual de las lluvias, así como de las temperaturas y humedad atmosférica, el país ha sido clasificado en cuatro diferentes categorías:

**Zonas Húmedas.**- Caracterizadas porque en ellas no se requiere de la irrigación para obtener una cosecha anual, al haber un monto suficiente y una distribución adecuada de las lluvias. Esta zona representa el 7% de la superficie total del país.

**Zonas Áridas.**- Solo hay agricultura si hay irrigación, al no haber lluvia suficiente. Esta zona se ubica en el 52% de la superficie del país.

\* ESTADÍSTICAS DE AGUA EN MÉXICO C.N.A REF. NÚM. 8.



Las zonas intermedias, donde las lluvias permiten en algunos años el desarrollo de los cultivos sin necesidad de la irrigación, son:

**Zona Semi-árida.** - Para asegurar el desarrollo de los cultivos en estas zonas por lo general se requiere regar durante la temporada de lluvias, con el fin de contrarrestar la eventual mala distribución de la precipitación o su insuficiencia, para cultivos de la estación de secas, la irrigación es totalmente indispensable, se localizan en el 31% de la superficie del territorio nacional.

**Zonas Semi-húmedas.** - Son aquellas en las que más de la mitad de los años, la lluvia es suficiente y para que se de una cosecha sin riego, pero se presentan años en que es necesaria la irrigación. Esta zona representa el 10% del territorio nacional.

Teniendo en cuenta la lluvia, la orografía, su forma y extensión, el país presenta condiciones muy desfavorables para la existencia de ríos caudalosos. La forma alargada y angosta de la República y sus largas cadenas montañosas paralelas a las costas, determinan ríos con cuencas de captación reducida, de corto recorrido y de fuertes pendientes. Y los ríos interiores de la altiplanicie, que no descargan al mar, son de caudal muy escaso e irregular.

Las variaciones anuales de la lluvia, su concentración en unos cuantos meses del año y la ausencia de nevadas, hacen que el régimen de las corrientes sea muy irregular, y por lo mismo difícil de ser aprovechadas en un estado natural.

Llama la atención el notable contraste que el país representa en cuanto a sus recursos hidráulicos, se tiene que mientras en un 88% de la superficie de México hay enorme escasez de corrientes, en el 12% restantes donde estas abundan, hay problemas por el exceso de agua y su dificultad para ser aprovechadas.

Todo este panorama de los recursos naturales existentes en la República, y que son necesarios para desarrollar eficientemente una actividad de tipo agrícola, nos muestra el gran contraste del recurso del agua, sobre todo en la principal fase del ciclo hidrológico, la precipitación, y de la cual dependen todas las zonas de temporal, en las que prospera una agricultura adecuadamente, se requiere que sean de temporal eficiente.

Considerando solo dos factores principales (las condiciones medias anuales de precipitación pluvial y de temperatura), en un intento inicial, el temporal ha sido clasificado como sigue:



### Temporal Eficiente

Precipitación Pluvial -----más de 772 mm  
Temperatura -----entre 20<sup>0</sup> y 29<sup>0</sup> C.

### Temporal Deficiente

Precipitación Pluvial -----entre 450 y 772 mm  
Temperatura -----entre 10<sup>0</sup> y 20<sup>0</sup> C.

### Temporal Malo

Precipitación Pluvial -----Menor de 400 mm  
Temperatura -----Menor de 10<sup>0</sup> y mayor  
de 29<sup>0</sup> C.

Incorporando esta clasificación a la República Mexicana, se observa que menos de la mitad de su territorio tiene temporal eficiente, por lo que el resto requiere de la necesidad imperiosa del riego para suprimir la inseguridad de las siembras ante la falta de agua. En la figura 1.3 se muestran las temperaturas medias anuales en la República Mexicana.

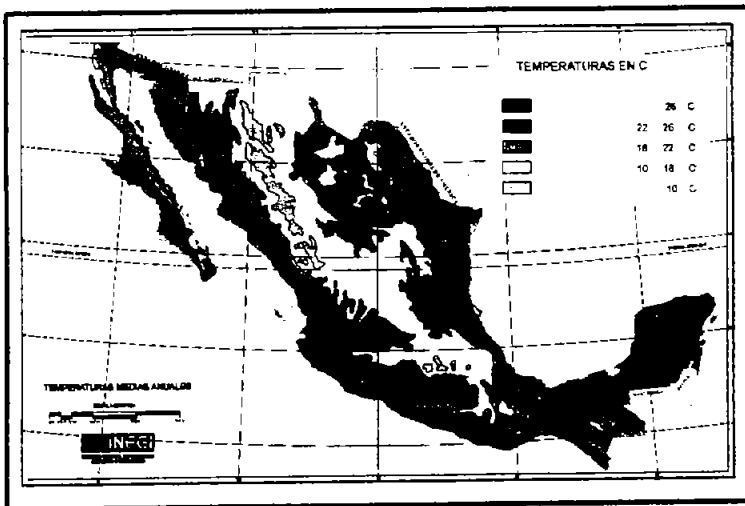


Figura 1.3 Temperaturas Medias Anuales en México\*

Factor limitante para la irrigación es el suelo, pues es evidente que si por diversas causas los suelos no ofrecen condiciones favorables para el cultivo, no deben realizarse las obras de captación, conducción y distribución de las aguas para regarlos.

\* VER REFERENCIA NÚM. 2.



Desde el punto de vista de uso potencial del suelo, el territorio nacional se ha clasificado, en función de los siguientes factores:

- Limitación de los terrenos en relación a sus pendientes.
- Monto de distribución de las lluvias.
- Accidentes topográficos.
- Erosión de los suelos.
- Condiciones de drenaje.
- Concentraciones salinas de las tierras, sobre todo en las regiones áridas y semiárida.

CLASIFICACIÓN	SUPERFICIE	
	MILLONES DE HECTÁREAS	%
De labor o laborable	29.3	14.9
Pastos en llanuras y lomeríos	16.6	8.5
Pastos de terreno cerril	69.0	35.2
Superficie forestal	69.1	33.7
Superficie inútil, no apta para la agricultura	15.4	7.7
<b>Suma</b>	<b>196.4</b>	<b>100.0</b>

**Cuadro I.1.1. - Clasificación de la Superficie del Territorio Nacional, desde el Punto de Vista de uso Potencial del Suelo.**

Para la irrigación la cifra importante, es la relativa a la superficie de labor o laborable, que es de 29.3 millones de ha. o sea 15% de la superficie total del país. Otro factor determinante es la topografía, se estima que en la República Mexicana las tierras llanas ( pendiente menor del 10%) tienen una superficie de 70 millones de ha. y los terrenos con pendientes hasta de 25% se han estimado en 140 millones de ha. según se observa en el cuadro I.1.2.

Zonas	Millones de hectáreas		
	Con pendientes de 0 a 10% Planas	Con pendiente de 10% a 25% Obras de conservación de suelos	Total
<b>Áridas</b> - Solo con riego puede haber agricultura.	45.0	35.0	80.0
<b>Semi-áridas</b> - Riego necesario para eliminar lo aleatorio.	12.5	17.5	30.0
<b>Semi-húmedas</b> -Temporal posible en la mayoría de los años, pero riego conveniente para eliminar riesgos.	8.0	12.0	20.0
<b>Húmedas</b> - Son indispensables obras de drenaje y de desagüe. Riego de auxilio, en muchos casos, conveniente para cultivos intensivos.	4.5	5.5	10.0
<b>Suma</b>	<b>70.0</b>	<b>70.0</b>	<b>140.0</b>

**Cuadro I.1.2. -Terrenos con Posibilidades de Aprovechamiento para el Desarrollo Agrícola en México.**



De la obra de irrigación y superficie puesta bajo riego por instituciones gubernamentales y por particulares hasta el 2003.

Superficie en ha.

Operadas y supervisadas por Distritos de Riego .....	3,442,585
Operadas y supervisadas por Unidades de Riego para el Desarrollo Rural .....	1,631,325
Operadas por particulares .....	548,044
<b>Total de superficie puesta bajo riego .....</b>	<b>5,621,954</b>

Las cifras anteriores reflejan la grave situación del país que ante la urgencia de incrementar la productividad, a fin de aumentar la producción en el campo para satisfacer necesidades internas, sustituir importaciones, rompiendo ataduras de tipo político y económico con el exterior en materia de alimentos, se requiere irrigar más terreno, ampliar las zonas de riego existentes y rehabilitar algunas ya obsoletas.

La planeación hidráulica en México toma como unidades geográficas a trece Regiones Hidrológico-Administrativas definidas por la Comisión Nacional del Agua. Cada región esta constituida por varias cuencas; de esa manera se garantiza que la cuenca se constituya como la base del manejo del agua. En la figura 1.4 se muestran las trece Regiones Administrativas.



Fig. 1.4 Regiones Hidrológico-Administrativas Definidas por la C.N.A.\*

\*VER REFERENCIA NÚM. 8.





En el siguiente cuadro se muestran los estados conformados por distritos de riego.

Entidad Federativa	Regiones Administrativas													Total Estatal
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	
Agascalientes								3/100						/100
Baja-California	47/100													/100
Baja-California Sur	53/100													/100
Campeche											2/4	39/96		/100
Coahuila						30/75	19/25							/100
Colima								3/100						/100
Chiapas											73/100			/100
Chihuahua		13/11	18/11			51/78								/100
Distrito Federal													9/100	/100
Durango			33/41			1/3	33/56							/100
Guanajuato								14/91	2/9					/100
Guerrero				32/59	33/41				9/56	1/5			49/39	/100
Hidalgo														/100
Jalisco				2/3				40/97						/100
México				7/37				3/24	1/9				39/30	/100
Michoacán				28/55				14/45						/100
Moreros				4/100										/100
Nayarit			7/39					9/61						/100
Nuevo León						13/77	7/21		1/2					/100
Oaxaca				7/9	67/56					30/34	1/1			/100
Puebla				17/59						13/41				/100
Querétaro								1/19	8/81					/100
Quintana Roo												33/100		/100
San Luis Potosi							17/56		22/44					/100
Sinaloa			39/100											/100
Sonora	0/0*	87/100												/100
Tabasco											24/100			/100
Tamaulipas						5/21	2/7		46/72					/100
Tlaxcala				3/87									3/13	/100
Veracruz									11/20	56/80				/100
Yucatán												28/100		/100
Zacatecas			3/7				22/61	13/32						/100
<b>Total</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/</b>	<b>100/100</b>

\* La porción de Sonora a la Región Península de Baja California, se refiere al Distrito de Riego 014 San Luis Río Colorado que contribuye en aproximadamente 0.2% a la superficie territorial de la región. \*

Tabla 1.5 Estados Conformados por Distritos de Riego según la C.N.A



En la mayor parte de las regiones de México, la mayor precipitación se presenta en el verano, el resto de la precipitación es escasa como se puede observar en los cuadros 1.5 y 1.6 donde se presentan los datos de precipitación Media Mensual Histórica por Región Administrativa y por Entidad Federativa respectivamente según la C.N.A.

Región Administrativa	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(mm)												
I Península de Baja California	181	20	16	13	4	1	1	13	33	38	12	10	20
II Noroeste	388	22	18	11	4	4	15	88	92	50	22	15	27
III Pacífico Norte	731	29	15	8	5	9	65	173	181	140	49	23	34
IV Balsas	929	12	6	5	10	39	167	187	185	197	91	19	11
V Pacífico Sur	1119	10	7	7	17	66	207	201	208	253	108	25	10
VI Río Bravo	403	14	12	8	15	28	45	65	73	77	35	14	15
VII Cuencas Centrales del Norte	370	12	7	4	9	21	49	75	70	70	30	11	12
VIII Lerma Santiago Pacífico	981	20	8	5	6	18	138	227	228	216	81	19	15
IX Golfo de Norte	766	20	14	18	35	68	112	109	119	154	72	25	20
X Golfo Centro	1788	58	44	40	52	89	238	279	268	324	214	108	74
XI Frontera Sur	2320	60	48	51	79	198	348	293	328	419	307	115	74
XII Península de Yucatán	1138	40	25	26	36	84	167	155	165	198	136	65	41
XIII Valle de México	767	10	5	9	23	54	134	160	155	135	60	15	7
<b>Nacional</b>	<b>772</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>40</b>	<b>103</b>	<b>138</b>	<b>137</b>	<b>141</b>	<b>74</b>	<b>32</b>	<b>29</b>

Tabla 1.6 Precipitación Media Mensual Histórica por Región Administrativa según la C.N.A (1941-2001)\*

\*VER REFERENCIA NÚM.8



Entidad Federativa	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(mm)												
Aguascalientes	447	12	6	4	8	16	72	98	101	77	32	11	10
Baja-California	204	38	33	38	16	4	1	1	5	6	9	21	32
Baja-California Sur	175	13	4	2	1	1	1	18	43	55	17	6	14
Campeche	1143	28	21	18	17	62	163	190	203	212	132	60	37
Coahuila	316	12	12	8	19	36	40	33	43	56	31	14	12
Colima	883	20	7	4	2	8	114	164	204	222	101	24	13
Chiapas	1968	78	58	46	57	134	268	271	269	342	232	111	102
Chihuahua	419	16	10	7	8	10	36	108	99	69	28	10	18
Distrito Federal	718	8	5	9	24	51	124	155	146	125	53	11	7
Durango	502	20	9	6	5	11	60	133	115	90	35	13	25
Guanajuato	594	12	6	8	15	37	106	125	125	98	41	11	10
Guerrero	1107	10	3	3	9	49	198	222	220	256	107	24	6
Hidalgo	813	20	18	22	40	66	123	116	112	157	82	36	21
Jalisco	821	14	7	7	7	25	144	203	182	142	61	16	13
México	890	13	6	9	24	62	156	183	176	160	72	20	9
Michoacán	804	13	4	4	10	33	138	185	171	156	65	16	9
Morelos	879	10	3	4	14	55	184	171	167	182	70	14	5
Nayarit	1061	19	9	5	4	8	139	280	275	216	74	15	17
Nuevo León	589	20	17	18	36	60	72	55	86	127	63	20	17
Oaxaca	1522	30	26	22	31	88	254	268	258	292	152	63	38
Puebla	1265	30	26	27	46	83	187	199	195	234	139	63	36
Querétaro	554	11	6	8	20	41	101	106	101	98	42	13	7
Quintana Roo	1256	66	38	31	34	100	175	121	140	209	165	95	82
San Luis Potosí	954	19	17	18	35	67	148	141	150	203	96	36	24
Sinaloa	781	28	13	12	8	10	58	187	195	156	58	23	33
Sonora	426	24	15	10	4	3	20	117	109	57	26	14	27
Tabasco	2426	179	120	80	76	123	244	213	253	384	352	210	192
Tamaulipas	765	19	15	19	36	66	124	101	109	152	77	27	20
Tlaxcala	709	8	6	12	34	74	131	125	129	111	54	17	8
Veracruz	1484	42	34	34	45	78	206	239	205	292	163	88	58
Yucatán	1098	35	33	30	32	79	162	167	165	184	114	52	45
Zacatecas	515	16	8	6	7	19	82	117	112	84	35	13	16
Nacional	772	26	18	15	19	40	103	138	137	141	74	32	29

Tabla 1.7 Precipitación Media Mensual Histórica por Entidad Federativa según la C.N.A. (1941-2001)\*

\*VER REFERENCIA NÚM.8.



En la figura 1.8 se muestran las precipitaciones anuales en la República Mexicana.

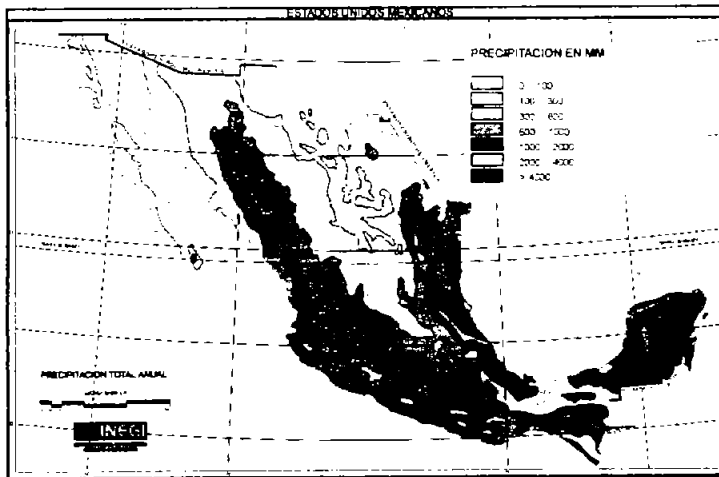


Fig. 1.8 Precipitaciones Anuales en la República Mexicana\*

En la infraestructura hidroagrícola México cuenta con:

Área bajo riego

6.3 millones de hectáreas

3.4 millones de hectáreas en 82 distritos de riego

2.9 millones de hectáreas en 39,492 unidades de riego

Temporal tecnificado

2.4 millones de hectáreas en 18 distritos de temporal tecnificado, incluye 2 distritos que son operados totalmente por el gobierno del estado de Tabasco, y representan una superficie de 0.2 millones de hectáreas

De lo anterior 77 distritos de riego han sido transferidos a los usuarios plenamente y 4 parcialmente, lo que representa el 98% de la superficie total. Queda pendiente por transferir un distrito.

Los 16 distritos de temporal tecnificado han sido transferidos a los usuarios plenamente, lo que representa el 100% de la superficie.

\* VER REFERENCIA NÚM.8.



En el siguiente cuadro se indican las láminas promedio utilizadas en los distritos de riego.

Ciclo	Cultivo	Lámina	(cm)
		Neta	Bruta
Otoño-invierno	Frijol	32	56
	Maíz	68	113
	Trigo	70	98
Primavera-Verano	Algodón	100	136
	Maíz	53	88
	Sorgo	30	50
Perennes	Alfalfa	132	192
	Caña de azúcar	84	146

Tabla 1.9 Láminas Promedio Utilizadas en los Distritos de Riego\*

En los distritos de riego, durante los últimos 13 años los terrenos agrícolas han utilizado en promedio 30,376 millones de metros cúbicos de agua a nivel de fuente de abastecimiento para proporcionar el servicio de riego de cultivos en 2,831,614 hectáreas.

De esta superficie 112,122 hectáreas corresponden a riesgos de auxilios en cultivos que no concluyeron su ciclo vegetativo en el año agrícola anterior, 2,344,931 hectáreas a cultivos que se establecieron en los ciclos de otoño-invierno, primavera-verano y perennes y 374,562 hectáreas de segundos cultivos. Los cultivos que destacan por la mayor superficie sembrada, regada y cosechada son: maíz, trigo, sorgo, algodón y caña de azúcar.

En el mismo periodo, se han sembrado en promedio 2,931,243 hectáreas cada año agrícola y se han cosechado en 2,828,310 hectáreas, en el que se ha obtenido una producción media de 34.0 millones de toneladas de productos agrícolas. De la superficie sembrada, el 44% corresponde a cultivos del ciclo otoño-invierno, el 27.5 a cultivos de primavera-verano el 17.55 a perennes y el restante 11.4% segundos cultivos.

México no sólo genera los productos para cubrir la mayoría de sus necesidades básicas, sino que también exporta parte de su producción. En 2001 los principales productos agropecuarios de México fueron (con una producción anual en toneladas): maíz (19,2 millones); trigo (3,30 millones); cebada; arroz (400,000); legumbres (1,31 millones), entre ellas el frijol; papas (1,61 millones); café (330,000); algodón (275,000); caña de azúcar (49,5 millones); fruta (14,1 millones); y hortalizas (9,32 millones).

Innumerables son los factores que determinan la gran importancia que los sistemas de riego ha estado adquiriendo para ayudar a solucionar parte de la crisis económica que agobia a México, siendo este uno de los principales motivos que se han generado la creación y desarrollo del presente tema de tesis.

\* VER REFERENCIA NÚM. 4



## 2.- Definición.

**PEQUEÑA ZONA DE RIEGO**, es la porción de terreno que por sus características topográficas, es abastecida por una fuente de suministro de agua, sea de escurrimiento o de extracción subterránea, cuyo canal principal conduce un gasto menor o igual a  $2.8 \text{ m}^3 / \text{seg}$ .

## 3.- Fuentes de Abastecimiento.

En un pequeño sistema de riego, es de suma importancia el origen del agua que va a alimentar al sistema de canales y cuyo objetivo esencial es el de regularizar la humedad del suelo de la zona que domina.

Ese origen determina las características de lo que se ha dado en llamar Fuente de Abastecimiento y que es, una obra de captación de aguas, cuya finalidad principal en este caso es el riego. De acuerdo al origen del agua, se han llegado a clasificar las fuentes de abastecimiento en dos tipos:

A.- Obras para captación de aguas superficiales.

B.- Obras para la extracción de aguas subterráneas.

### A.- Obras para la captación de aguas superficiales.

Con respecto a las obras de este tipo de captación, se tienen los siguientes sistemas:

- a) Sistemas de almacenamiento.
- b) Sistemas de derivación.
- c) Aprovechamiento de cauces y vasos naturales.
- d) Estaciones de bombeo de ríos.

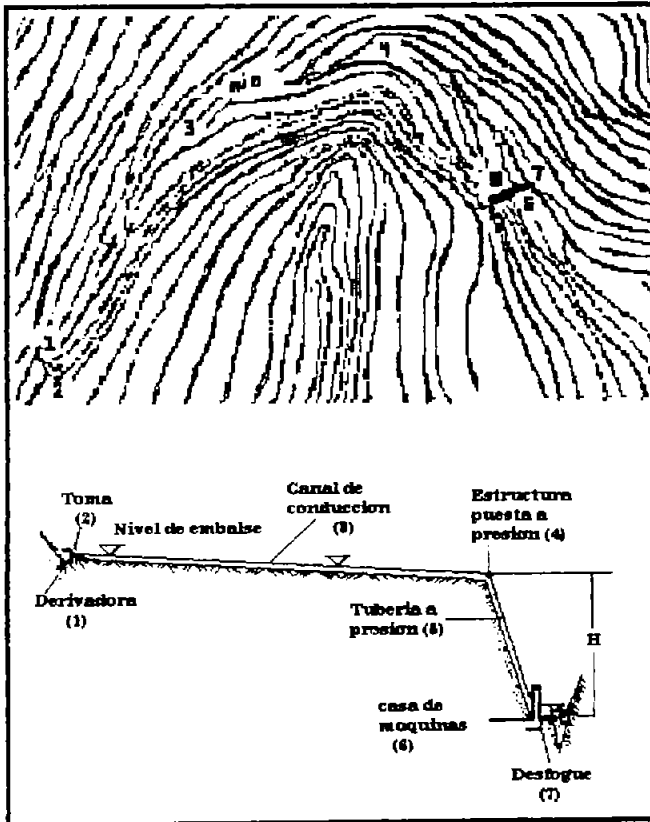


Figura 1.2.1 Disposición de una Obra de Toma a Superficie Libre\*

### a) Sistemas de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento tiene por objeto almacenar el agua en un vaso o depósito natural formado por un valle que se cierra mediante una cortina que intercepta el paso de l agua. El agua almacenada tiene como finalidad regularizar el régimen de la corriente para disponer del gasto necesario en las épocas de riego, gasto que varía con la demanda.

El sistema de almacenamiento está constituido por tres elementos fundamentales que sirven respectivamente para contener el agua en el vaso, para manejar la extracción de ella y para controlar las avenidas de los escurrimientos que llegan al vaso; estos tres elementos están constituidos por las siguientes estructuras: la cortina, la obra de toma y el vertedor de demasías.



El vaso de almacenamiento está formado por un valle, cerrado por un estrechamiento denominado boquilla que permite la construcción económica de una cortina. Mientras más estrecha sea la boquilla menos costosa saldrá la construcción de la cortina. Igualmente, entre mayor sea la capacidad de un vaso existen más posibilidades de que su utilización sea económica.

La cortina tiene como objetivo fundamental cerrar un vaso natural, de tal modo que sea posible el almacenamiento del agua dentro del mismo. Las características principales de la cortina deben ser: de resistencia suficiente para soportar el empuje del agua y de impermeabilidad adecuada para impedir su paso, por debajo de ella. Las cortinas pueden ser de tierra, de enrocamiento, de mampostería, de concreto ciclópeo, de concreto simple o de concreto reforzado.

Obra de toma se le denomina al conjunto de estructuras construidas en una presa con el objeto de extraer el agua en forma controlada, y poder utilizarla con el fin para el cual ha sido proyectado su almacenamiento.

El vertedor de demásías es la estructura que da salida a las aguas excedentes del almacenamiento, protegiendo la cortina, al impedir que el agua que ya no pueda ser almacenada se desborde sobre la cortina y la destruya.

#### **b) Sistemas de derivación.**

El sistema de derivación tiene por objeto extraer o derivar el agua que circula por un cauce hacia las zonas marginales de éste, con la finalidad de aprovecharla para diferentes beneficios.

El sistema de derivación consta de: partes fundamentales y estructuras adicionales.  
Las partes fundamentales son:

- La presa de derivación
- La bocatoma.

Entre las estructuras adicionales, la que comúnmente se encuentra es el desarenador, y muy esporádicamente, dependiendo de las condiciones del sitio, exclusivas para navegación, escala para peces y pasos para troncos. La presa de derivación tiene por objeto elevar el nivel de la superficie libre del agua a una altura conveniente que haga posible la derivación de un cierto gasto y que este diseñada para permitir que el agua vierta sobre ella.

Además de las finalidades indicadas, el objeto de la construcción de una presa de derivación puede ser: el de reducir las variaciones del nivel del agua al variar el gasto de escurrimiento, o el de disminuir la velocidad del agua y por lo tanto la erosión del fondo.

La bocatoma sirve para regular el paso de agua del cauce o río al canal, de acuerdo al gasto requerido por la demanda en la zona de riego.





El desarenador, tiene como finalidad mantener un canal bien definido, y lo más limpio posible frente a las compuertas reguladoras de la toma, donde se depositan los sedimentos para evitar la entrada de materiales gruesos al canal de conducción.

#### **c) Aprovechamiento de cauces y vasos naturales.**

Para el aprovechamiento de un cauce y vasos naturales es necesario efectuar los siguientes estudios:

- Topográficos.
- Climáticos.
- Hidrológicos (con especial atención en la determinación del gasto máximo de la avenida que se puede presentar).

Después de haber efectuado estos estudios se procederá a proyectar la obra de captación propiamente dicha. Esta puede ser un dique con su respectiva obra de toma cuando se trate de un vaso natural. En el caso de un cauce natural se utilizará una represa con su puente y su bocatoma respectiva.

#### **d) Estaciones de bombeo en ríos.**

Estas estaciones se utilizan sólo en casos muy especiales, como por ejemplo cuando se tiene el cauce del río muy amplio y se quiere regar una zona más alta que el nivel de la corriente, haciéndose necesario subir el agua hasta un punto en donde puede escurrir por gravedad; esta situación determina que sea muy limitada la superficie factible de regarse, resultando un costo por hectárea muy elevado y por lo tanto prohibitivo desde el punto de vista económico.

### **B.- Obras para la extracción de aguas subterráneas.**

El agua del subsuelo es una fuente vital de abastecimiento en las zonas donde los veranos secos o las sequías prolongadas originan que el escurrimiento superficial cese o se agote.

El alumbramiento de las aguas subterráneas puede ser en forma natural o en forma artificial.

El alumbramiento natural de las aguas subterráneas se da en los sitios denominados manantiales o fuentes y son puntos en el terreno donde aflora el agua en forma natural, con circulación a presión, a través de un sistema de grietas, fisuras o poros, en formaciones permeables.



El alumbramiento artificial de las aguas subterráneas se realiza cuando no se dispone de afloramientos naturales de agua para su aprovechamiento, se efectúa mediante trabajos adecuados que, según su sentido vertical u horizontal, se agrupan en dos categorías generales: pozos y galerías.

Los pozos pueden ser de diámetro pequeño de gran diámetro o mixtos, entre los primeros se tienen los que se conocen como pozos profundos, también llamados taladros, perforaciones o pozos entubados, estos siempre son circulares y con diámetros comprendidos entre 5 y 60 centímetros.

Entre los pozos de gran diámetro se tienen los excavados a cielo abierto, denominados pozos ordinarios o norias; son excavaciones de sección circular, rectangular o elíptica, con diámetros de 1 hasta 5m. de acuerdo a las necesidades particulares de cada excavación.

Los factores que determinan la utilización de cualquiera de los tipos anteriores, es la naturaleza del terreno y la profundidad probable de las aguas, así como las características y dimensiones de la maquinaria elevadora que vaya a instalarse.

Los pozos mixtos son una combinación de los dos anteriores, se utilizan cuando al tener un pozo ordinario o de tipo noria existe insuficiente alimentación de agua freática y para cubrir esta deficiencia, se requiere en el fondo de estos, la perforación de un pozo profundo que enriquezca los caudales freáticos del pozo de gran diámetro con las aguas profundas suministradas por el de pequeño diámetro.

Las galerías se presentan cuando el alumbramiento artificial de las aguas subterráneas se efectúa en el sentido horizontal y son vías artificiales (túneles) en este sentido, por lo que escurre el agua captada, hasta el exterior o bien hasta un pozo en el que se efectúa el ascenso. Las galerías pueden ser: trincheras colectoras, galerías filtrantes, galerías de captación o galerías en el fondo de pozos.

Después de describir brevemente los diferentes tipos de fuentes de abastecimiento que pueden alimentar una zona de riego, es conveniente mencionar que los estudios, proyecto, planeación y construcción de esas obras se realizan por la Dirección General de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural.

En la construcción de Obras de Pequeña Irrigación existen ocho "modelos tipo" de obras de infraestructura básica. Todos estos casos son atendidos en condiciones y características físicas, económicas y sociales del medio en la comunidad para ser beneficiada. Estos modelos se describen a continuación.



Modelos México	Características	Beneficios
1	Pozo profundo con aeromotor de ¼ l.p.s	Usos domésticos y abrevadero
2	Jagüey con capacidad hasta de 15.000 m <sup>3</sup> y 5m de altura máxima	Usos domésticos y abrevaderos
3	Pozo profundo equipado con aeromotor o equipo de bombeo de combustión interna para gastos de 1 l.p.s y 2 l.p.s	Usos domésticos abrevadero y riego
4	Presa derivadora o toma directa	Riego
5	Pequeño almacenamiento con capacidad mayor de 3000.000 m <sup>3</sup> y altura máxima de 15 m	Usos domésticos abrevadero y riego
6	Almacenamiento medio o grande con capacidad mayor de 3000.000 m <sup>3</sup> y altura de cortina superior a 15m	Usos domésticos abrevadero y riego
7	Plantas de bombeo de corrientes, vasos naturales o presas	Abrevadero y riego
8	Pozo profundo con gasto de 20 l.p.s como mínimo	Usos domésticos abrevadero y riego

#### 4.- Criterios Básicos para la Planeación de un Sistema de Riego.

**Planeación.** Es el proceso que se sigue para seleccionar un método y orden, dentro de todas las posibilidades y secuencias con las que se pueden efectuar un proyecto, señalando la forma de realizarlo.

La planeación para desarrollar una actividad de tipo agrícola, puede emprenderse sobre una base nacional, regional o local.

Para planear adecuadamente un sistema de riego debe seguirse un ordenamiento lógico, de tal manera que los elementos que se diseñen y que más tarde se construyan y operen, formen un conjunto que funcione de la mejor manera posible.

Para conseguir una planeación eficaz, es esencial señalar claramente los objetivos, posteriormente seleccionar los criterios, recopilar información, examinar soluciones y por último elegir el mejor plan.

Entre los principales objetivos, se pueden señalar, desde un punto de vista general proporcionar la base para el desarrollo económico y eliminar el hambre y la pobreza, esto se logrará al satisfacer la demanda de productos alimenticios básicos y coadyuvar a la demanda de empleos.

Para conseguir plenamente los beneficios de la agricultura moderna de regadío es preciso disponer de servicios diferentes, tales como crédito, asistencia técnica, maquinaria, insumos, etc.



Como los beneficios que produce la industria suelen ser mayores que los de la agricultura, se ha dedicado gran interés al desarrollo industrial como medio de llegar al desarrollo económico. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el desarrollo industrial se alcanza hasta que una nación puede alimentar y vestir adecuadamente a sus habitantes.

Cuando una gran proporción de los habitantes de un país viven en zonas rurales, la mayor parte del esfuerzo nacional productivo se invierte en agricultura. El incremento en la producción agrícola, permite: un nivel nutritivo para toda la población, un ahorro de cantidades importantes de divisas extranjeras, donde ahora se importan alimentos, una nueva fuente de ingresos al exportar cultivos comerciales.

Además de los objetivos del riego, se necesitan criterios para evaluar y comparar otras propuestas para el desarrollo agrícola. La base de una evaluación apropiada es el nivel o instancia del cual provienen la mayor parte de los fondos para financiar el proyecto.

La mejor manera de comparar otras propuestas posibles en relación a su aspecto económico; esta el plan óptimo y es aquel que satisface la producción requerida con el mínimo costo o la producción máxima con una inversión determinada que muestra la bondad y ventaja respecto a otros.

El criterio que haya de aplicarse al elegir el plan óptimo dependerá en determinada forma, de la calidad de información que se obtenga. Para el éxito, del proceso de planeación, es preciso apreciar la importancia de la cantidad y calidad de los datos necesarios, así como de su disponibilidad. Por último, una vez recogida la información necesaria, pueden elaborarse otros planes posibles para conseguir los objetivos especificados. Después se evalúan y se comparan estos planes eligiéndose el mejor.

#### **4.1 Información Necesaria para los Proyectos de Planeación de un Sistema de Riego.**

**Clima.** Es probablemente el factor más importante en la producción de cosechas en todo el mundo, para la planeación, diseño y funcionamiento de un proyecto de regadío, son absolutamente necesarias las mediciones reales de las temperaturas máximas y mínimas del día así como las precipitaciones diarias.

**Suelo.** Sirve para sostener a las plantas en crecimiento y es el medio de donde obtienen los elementos nutritivos y el agua.

**Salinidad.** Una cantidad excesiva de sales en el suelo impide el crecimiento adecuado de las plantas, al actuar como tóxico e impedir el aprovechamiento del agua.

**Drenaje.** Este es necesario para una agricultura de riego satisfactoria, al evitar daños en los cultivos, impedir la acumulación de sal en los suelos y recuperar zonas de pantanos y de bajos inundables, potencialmente arables.



**Topografía.** Es el factor que determina, en gran parte, la posibilidad de emplear una determinada zona para riego de superficie.

**Agua.** Una agricultura de regadío satisfactoria no puede existir sino se buscan, fomentan y mantienen suministros de agua adecuados.

### **Otros Datos Necesarios.**

Integrados a los programas de recolección de datos físicos debe procurarse obtener una gran diversidad de otros datos esenciales, entre los que figuran variedades de cultivos mejor adaptados; plaguicidas; posibles plagas de los cultivos; fuentes y disponibilidad de semillas mejoradas, fertilizantes; rendimiento probable de los cultivos y precios que se prevén; método de producción local y costos; prevenirlos los medios de elaboración; considerar la maquinaria agrícola; medio de transporte; mano de obra; escalas locales de salarios y jornales; utilizar los créditos agrícolas; sistemas existentes de régimen de tenencia de la tierra; determinar los costos de materiales de construcción y de equipo. Los costos para procurar estos factores y condiciones, pueden exceder del de los trabajos de ingeniería.

Deben establecerse planes sólidos para asegurar el suministro de los siguientes productos:

Semilla productiva, fertilizantes, plaguicidas y maquinaria agrícola.

Hay que fijar las condiciones necesarias para una buena producción, creando o procurando un tipo de propiedad y régimen de la tierra favorables, créditos, incentivos de producción atractivos.

Entre los dispositivos necesarios para el manejo de las cosechas figuran: maquinaria para la recolección de los productos, transporte, medios de producción, almacenamiento, elaboración y comercialización.

El éxito a largo plazo exige buenos alojamientos, servicios sanitarios y otros medios comunales, escuelas, investigación y extensión agrícola.

Los planes para atender a todas estas necesidades deben ser parte integrante de toda propuesta de un proyecto de riego.

### **Planes de Desarrollo.**

Un plan de desarrollo para riego puede comenzar tan pronto como se disponga de la información referente al clima, suelo, agua y topografía, y se haya tomado una decisión sobre el tipo general de plantas que han de cultivarse.



Los planes de desarrollo se pueden realizar siguiendo el procedimiento siguiente:

### **A) Planeación Física.**

#### 1) Desarrollo agrícola.

Dependiendo del clima, condiciones del suelo y abastecimiento de agua, se escogerá el tipo de cultivos que habrán de sembrarse, influyendo también la disponibilidad de otros factores como son la producción y los medios de comercialización.

#### 2) Desarrollo hidráulico.

Las tres primeras etapas en la planeación del desarrollo hidráulico son la determinación de:

- La topografía (extensión y configuración del terreno regable).
- Recursos Hidráulicos (cantidad de agua disponible).
- Necesidades de agua de los cultivos seleccionados.

### **B) Planeación de los Factores Complementarios.**

Después de haber completado la planeación física de un sistema para el suministro del agua y su conducción a la zona por regar, debe prestarse atención a las medidas por adoptar, con el fin de tener la seguridad de que se dispondrán de los numerosos factores complementarios y condiciones que se necesitan para que el riego sea satisfactorio.

Los costos para procurar estos factores y condiciones, pueden exceder los trabajos de ingeniería necesarios para el desarrollo del agua y el terreno.

### **C) Evaluación Económica.**

Estará determinada por la comparación de los beneficios y costos para ayudar en la elección de los diferentes métodos, para conseguir los mismos objetivos.

De acuerdo a lo anterior, para iniciar el proceso de planeación de un sistema de riego, se procede a recopilar los siguientes datos básicos:

#### **Localización.**

- 1.- Planos de localización del futuro sistema de riego.

#### **Datos Generales.**

- 2.- Planos fotogramétricos.



**Clima.**

3.- Datos climatológicos.

**Suelo.**

4.- Planos Agrológicos.

5.- Uso de la tierra.

**Topografía.**

6.- Planos topográficos.

**Agua.**

7.- Recursos hidráulicos disponibles.

**Otros.**

8.- Tenencia y características sociales: régimen y magnitud de la propiedad y características sociales de la región.

**Construcción.**

9.- Características físicas y mecánicas de los suelos.

10.- Materiales y bancos de préstamo que predominen en la región y que estén disponibles.

**Evaluación Económica.**

11.- Análisis económicos que indiquen el tipo de construcción conveniente.

**1.- Planos de Localización.**

Se deberán considerar las diversas vías de comunicación que permitan abastecer de cemento y materiales básicos de construcción a la zona, (como arena y grava) así como también la comunicación de ésta mediante caminos de acceso a las vías principales.

Asimismo el sistema de riego en proyecto debe analizarse en cuanto a la integración de un plan hidráulico-regional, permitiendo con ello operar los factores suelo-agua, de tal manera que sean más aprovechables.



## **2.- Planos Fotogramétricos.**

La investigación en planos fotogramétricos de una zona de riego permitirá un diseño más adecuado en su magnitud, proporcionando finalmente un funcionamiento eficiente.

## **3.- Datos Climatológicos.**

Con la finalidad de elaborar un plan de cultivos para apoyar la subdivisión de la superficie regable y la primera tentativa de localización de la red de distribución, se analizará: la temperatura, precipitación, viento, latitud, luminosidad, calor aprovechable, etc., adicionando a las características de suelo, cultivos y agua de riego, se obtiene el uso consuntivo, posteriormente se determinan los coeficientes unitarios de riego para la zona en estudio, se calcula la capacidad hidráulica de la fuente de abastecimiento y así, el área bruta posible que se pondrá bajo riego.

## **4.- Planos Agrológicos.**

En estos planos, elaborados a escala 1:5,000, se muestran el origen y la clasificación de los suelos, textura y estructura de los mismos, salinidad, ph, áreas no regables, niveles freáticos y drenaje interno y superficial, así como calidad agrícola.

## **5.- Uso de la Tierra.**

Se investigará el uso actual de la tierra con la finalidad de detectar las prácticas culturales acostumbradas, y si estas son inadecuadas promover su modificación con visión de incrementar la eficiencia del futuro riego; en caso de que éste ya se tenga, determinar las prácticas de riego acostumbradas.

Las zonas agrícolas en producción a fin de detectar sus características y planear un sistema de vías de comunicación necesarias para llevar los productos agrícolas a centros de distribución, transformación o consumo. En las zonas silvícolas, se determinará su densidad y tamaño. Las zonas urbanas, son importantes para la localización adecuada de la red de caminos, indicando la importancia del centro urbano y las características de sus comunicaciones.

## **6.- Planos Topográficos.**

Se requerirán planos topográficos a las escalas: 1:25,000, 1:5,000 y 1:2,000. En el plano topográfico a escala 1:25,000, se determinarán las cuencas hidrológicas extrazonales tributarias a la zona de riego y se cuantificará con un estudio hidrológico adecuado, el volumen de agua escurrido, para posteriormente diseñar el sistema de drenaje.

En el plano topográfico a escala 1:5,000 se delimitará la zona de riego, determinando la pendiente topográfica general y definiéndose la conveniencia del riego, igualmente se delimitarán las vías de comunicación y conducción que atraviesan la zona de riego y su integración a todo el sistema de caminos.





En hojas de plancheta a escala 1:2,000, se anotarán las pequeñas variantes topográficas y se dará el afine definitivo al trazo preliminar, a fin de tener los apoyos adecuados a los levantamientos posteriores, necesarios para la planeación de la zona de riego. Se dejarán monumentos perfectamente establecidos con protección adecuada.

#### **7.- Recursos Hidráulicos Disponibles.**

Se determinarán las condiciones y características hidrológicas de la zona, así como las obras de infraestructura hidráulica realizadas, con la finalidad de detectar la forma en que puede ayudar al sistema de riego en proyecto.

#### **8.- Régimen de la Propiedad y Características Sociales.**

Se determinará el tipo de tenencia, situación legal, tamaño del lote y de las parcelas, características sociales, problemas presentes y futuros respecto a la tenencia; todo con la finalidad de diseñar adecuadamente el sistema de riego y detectar posibilidades de una explotación colectiva, para un aprovechamiento integral de los recursos disponibles.

#### **9.- Características Físicas y Mecánicas de los Suelos.**

Se obtendrán las condiciones existentes y características de los suelos que servirán como material para construcción de los bordos de los canales, drenes y sus estructuras; detectando futuras fallas en estos y tomando las precauciones necesarias en el diseño.

#### **10.- Materiales y Bancos de Préstamo Disponibles que Predominen en la Región.**

Con la finalidad de evitar acarreo considerable de los materiales necesarios para la construcción del sistema de riego, se determinarán sitios de préstamo mencionando las características del banco (sea de arcilla, polvo, arena, agua, roca, etc).

Denominación del sitio, ubicación, localización con distancias a la obra u obras, volumen aproximado del material disponible, facilidades para el acceso y explotación; se harán un muestreo y se determinarán sus características particulares.

#### **11.- Análisis Económicos que Indiquen el Tipo de Construcción Conveniente.**

Con todos los datos anteriores como anteproyecto, se planearán diferentes alternativas, se analizan y evalúan económicamente y se comparan tomando como base los costos por hectárea regada y de operación, así como la relación beneficio-costo, para lo cual es necesario haber determinado previamente volúmenes y costos de concreto, estructuras, excavaciones, terracerías, perforación de pozos, revestimientos, etc., así como el monto de los beneficios en función de los cultivos propuestos; finalmente se escogerá la alternativa que llene los requisitos de estética, economía y funcionalidad.



## II. ESTUDIOS.

Para llegar a la realización de las obras de riego en general, es necesario realizar una serie de estudios como son los de carácter social, económico y técnico, para así obtener una mejor planeación del proyecto.

Cada uno de estos estudios tiene mayor interés según sea su área dentro de la planeación del aprovechamiento. En este tipo de obras (zonas de riego), el aspecto socio-económico es muy importante según la finalidad que se persigue en estas obras, además de contribuir con el mejoramiento de las condiciones de vida del sector agropecuario más necesitado de nuestro país.

Tomando en cuenta la etapa en que se efectúan los estudios y el grado de detalle se clasifican en dos categorías: Estudios previos y definitivos.

### 2.1 Estudios Previos.

Estos estudios se inician cuando se ha sentido o conocido la inquietud de la necesidad de un proyecto; esta inquietud puede tener su origen en las siguientes fuentes:

Solicitudes de personas o grupos del sector campesino dirigidas a las autoridades estatales o regionales y/o a las dependencias correspondientes de la Comisión Nacional del Agua Institución Gubernamental que atiende este tipo de proyectos y obras.

Relación e información de los sitios detectados en reconocimientos aéreos, terrestres o de gabinete, por iniciativa de la propia C.N.A. a través de su Dirección General de Obras Hidráulicas.

Los estudios previos se realizan en el campo como en el gabinete y comprenden:

- a) Visitas de inspección.
- b) Estudios socio-económico.
- c) Estudios técnicos.
- d) Anteproyecto de las diferentes alternativas de solución y conclusiones.

A través de estos estudios se conoce la factibilidad económica y constructiva de un proyecto y conducen a un anteproyecto con su respectivo presupuesto, además de determinar si deben efectuarse los estudios definitivos, que permiten tener evaluaciones y comparaciones para definir una buena decisión.



### **a) Visitas de Inspección.**

Esta visita la realiza un técnico capacitado con experiencia y práctica suficiente para visualizar cualquier problema y tome de inmediato, en ciertos casos, la decisión sobre la factibilidad constructiva del aprovechamiento y ordenar la continuación o suspensión de los demás estudios.

Este técnico debe estar asesorado por conocedores de la región, así como técnicos cuya especialidad interviene en la etapa del estudio detallado del proyecto, tales como: Economistas, Sociólogos, Agrónomos, etc.

El primer paso que se realiza, es efectuar un reconocimiento al lugar donde se va realizar la obra, consistiendo principalmente de una inspección ocular del sitio; se hace además la recopilación de datos que ayuden a tener una idea general del proyecto y que servirán de base para la formulación de anteproyectos, estos datos serán sobre aspectos topográficos, agrológicos, agronómicos, climáticos y de uso actual de la tierra.

### **b) Estudios-Socioeconómicos.**

Como el objetivo principal que se persigue en una obra de riego es el de mejorar la producción agropecuaria y contribuir al mejoramiento socio-económico de la comunidad rural a quien se destina, con estos estudios se conoce el alcance de ese objetivo y la forma de asegurar el máximo aprovechamiento de la inversión que requiere la futura obra de riego, además se investiga y determinan ciertos factores que permiten definir algunas cuestiones que plantea un proyecto, tales como: el tipo de obra adecuada, la manera más conveniente de recuperar la inversión, la forma de solucionar los problemas económicos postconstructivos, en lo referente con la operación y conservación de la obra, lo cual influirá de manera decisiva en el éxito del aprovechamiento.

### **c) Estudios Técnicos.**

Comprenden principalmente datos básicos, e indispensables, para la formación de uno o varios anteproyectos, mediante los cuales se determinan las características generales y más notables del proyecto definitivo.

Estos estudios se clasifican en:

- Topográficos
- Hidrológicos
- Agrológicos
- Mecánica de Suelos

### **d) Anteproyecto y Conclusiones.**

Con los datos obtenidos en el campo se elaboran en el gabinete varios anteproyectos.



Una vez obtenidos los resultados se estará en posibilidad de discutir las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, como puede ser: el funcionamiento, eficiencia, costo, problemas de carácter constructivo, etc., así se contara con elementos de juicio suficientes para tomar la alternativa más viable.

En las conclusiones, considerando los estudios previos se deberá señalar la conveniencia o inconveniencia del aprovechamiento, las características de la obra hidráulica, así como de algunas recomendaciones que se juzguen necesarias para la buena planeación de la obra de riego.

Si los resultados son favorables para la realización del proyecto y no existen problemas de carácter legal, se continua de inmediato con los estudios definitivos; un ejemplo puede ser lo relativo con la tenencia de la tierra, en cuyo caso se recomienda la suspensión temporal de los estudios hasta que se solucione este problema para así efectuar la realización de la obra.

**2.2 Estudios Definitivos.**

Una vez determinada la factibilidad técnica y económica del proyecto en los estudios previos, se procede a realizar los estudios definitivos, que de acuerdo con las características de los datos obtenidos, se clasifican en:

**Sub-Secretaría de Planeación:**

Dirección de Estudios	1. Planos de Localización 2. Planos Topográficos 3. Mosaicos Fotográficos
Departamento de Agrología	4. Planos Agrológicos 5. Planos de uso actual de la tierra
Departamento de Tenencia de Tierra	6. Planos que detallan la distribución de la propiedad. (Plano catastral al principio, propiedad privada, ejido etc.)
Departamento de Hidrología	7. Datos Climáticos 8. Datos Hidrológicos
Departamento de Estudios	9. Relación de Cultivos Adecuados
Departamento de Geología	10. Planos Geológicos
Departamento de Ingeniería Experimental	11. Estudios de Mecánica de Suelos
Departamento de Estudios	12. Estudios Socio-Económicos



### 2.2.1. Planos de Localización.

Proporcionan:

- Centros de población.
- Centros de producción.
- Vías de comunicación.
- Corrientes superficiales y vasos naturales.

Sirven para:

- Determinar la ruta para el abastecimiento de materiales.
- Determinar las fuentes de abastecimiento con que se cuentan.
- Determinar la integración de la zona a un plan regional.

### 2.2.2. Planos Topográficos.

Proporcionan:

- Topografía de la zona.
- Muestran zonas urbanas.
- Vías de comunicación.
- Redes, Telegráficas, Telefónicas y Eléctricas.
- Gasoductos y Oleoductos.
- Pozos profundos existentes.
- Corrientes Superficiales.

Sirven para:

- Delimitar la zona de riego.
- Eliminar las zonas que no se pueden regar.
- Trazo de la red de canales, drenaje y caminos.
- Delimitar cuencas hidrológicas.

Los estudios de los terrenos regables tienen por objeto formar un plano topográfico a una escala adecuada, para proyectar los sistemas de distribución, drenaje y caminos que posteriormente formarán parte de la zona de riego.

El estudio topográfico consistirá en un levantamiento que se divide en dos partes:

- a) Control de apoyo del levantamiento.
- b) Configuración del terreno y levantamiento a detalle.



a) El control de apoyo del levantamiento topográfico de la zona regable estará dividido en control horizontal y control vertical.

**a.1. Control horizontal.**- En superficies pequeñas este control consistirá en una poligonal cerrada, que se correrá cerca del perímetro del terreno de riego.

Para áreas mayores, el control consistirá en una poligonal o sistema de poligonales corridas con tránsito y cinta, usando el método de medición directa de ángulos. Estas poligonales se llevarán de manera que las estaciones de control queden localizadas en los sitios más ventajosos para el levantamiento de detalle; de preferencia, cuando sea posible, se correrán a lo largo de caminos o linderos de propiedad. Todas las estaciones de control deberán documentarse.

La tolerancia lineal será 1:5,000 y la angular de  $T = 2 a \sqrt{n}$ .

**a.2. Control vertical.**- Consistirá en una serie de bancos de nivel distribuidos convenientemente sobre el terreno y que sirvan como puntos de partida o de cierre de poligonales, o para situar en elevación los puntos de apoyo que se utilizarán para efectuar la configuración del terreno. Los puntos de control vertical se establecerán por medio de nivelaciones directas, precisamente en las estaciones de control horizontal previamente documentadas, refiriendo de preferencia los monumentos al nivel del mar.

Para las nivelaciones se usará nivel fijo y se deberán comprobar a cada 500 m, regresando al banco de partida.

La tolerancia por cada 500 m. de nivelación será de 5 mm. (1 cm por cada, 1,000 m. de nivelación).

**b) La configuración del terreno,** el levantamiento catastral y los detalles de la zona por regar, sirviendo de apoyo los vértices de las poligonales previamente trazadas o niveladas.

Los datos que se incluirán en esta última parte del levantamiento, serán aquellos que intervengan en el uso actual del terreno dentro de la zona de riego, que pueden ser: tierras ganaderas o agrícolas; áreas de riego por gravedad, por bombeo o de temporal; tipo de cultivos en desarrollo; propiedades ejidales o particulares; así como también las zonas ocupadas por diferentes clases de construcciones, caminos, etc.

Se complementará el levantamiento con toda clase de información que puede ser útil para efectuar la evaluación de la posible afectación.

Como resultado del trabajo anterior se elaborarán dos planos: uno que contenga el control horizontal y vertical de la configuración, con equidistancia entre las curvas de nivel a cada metro y en el que aparezcan los cadenamientos de las poligonales, las elevaciones de sus vértices y de los puntos que sirvieron para apoyo de las poligonales secundarias.



El otro plano es el de conjunto y en el se indicará la planimetría catastral y los detalles de la zona por regar; solamente deberán aparecer las poligonales de apoyo establecidas, linderos de propiedad, construcciones, caminos, etc.

El área de la zona de riego levantada deberá ser mayor que el área posible por beneficiar.

Los planos se formarán a escala 1:5,000, para superficies mayores de 250 ha. y a escala 1:2,000 para superficies menores.

### **2.2.3. Mosaicos Fotográficos.**

Se recomienda que la información de estas sea vaciada a un plano topográfico, estos estudios pueden representarse sobre mosaicos fotográficos rectificadas, siempre que se tomen las precauciones del caso.

Las escalas recomendables para su representación varían de 1:2,000 a 1:20,000 dependiendo de la magnitud de la superficie.

### **2.2.4. Planos Agrológicos.**

Proporcionan:

- Clasificación de los suelos y su localización.
- Espesor de los mismos y de la capa vegetal.
- Fertilidad.
- Aptitud del suelo para determinar cultivos.
- Presencia de sales.
- Pedregosidad.
- Evidencias de erosión.
- Profundidad y variación del n.f.
- Drenaje interno de los suelos.
- Calidad del agua para riego.

-Sirven para:

- Localizar zonas aptas para el cultivo.
- Tipos de cultivos que se pueden sembrar.
- Determinar las láminas de riego óptimos para cada tipo de cultivo de suelo, necesidad de drenaje para abatir los niveles freáticos debajo de la zona radicular.



### 2.2.5. Planos del uso Actual de la Tierra.

Proporcionan:

- Tipos de cultivos que se siembran en la actualidad.
- Zonas silvícolas.

Sirven para:

- Estudios de los cultivos.

### 2.2.6. Planos que Detallan la Distribución de la Propiedad. (plano catastral al principio, propiedad privada, ejido, etc.).

Para el proyecto de una zona de riego se requiere contar con la información del régimen de tenencia de la tierra, que deberá aparecer en el plano topográfico que sirva de base para la planeación general de la zona de riego, en el que se diferenciarán los siguientes tipos de tenencia: Ejidal, Comunal y Pequeña Propiedad.

#### a. Ejidal con parcelamiento.

Se indicarán los nombres de los ejidatarios y superficies de sus parcelas. En este caso se observará, si el parcelamiento existente permite una planeación correcta del riego, desde el punto de vista físico y económico; en caso contrario se deberá proponer y tramitar la modificación a la localización existente. Siempre deberá tenderse a una explotación colectiva y por excepción se permitirá que parte de los derechos sean por explotación individual.

#### b. Ejidal sin parcelamiento establecido.

En este caso se promoverá la explotación colectiva definiendo los derechos que le corresponden a cada ejidatario, tomando en cuenta los aspectos sociales y económicos. Se podrá establecer parcelamiento con límite y extensión adecuadas al proyecto de riego, que deberá tomar en cuenta los mismos aspectos a la combinación de ambas soluciones.

Se deberá conocer la resolución presidencial de dotación al ejido y las ampliaciones posteriores. En caso de que el beneficio requiera un número mayor de usuarios al establecido en la resolución, deberá consultarse ante la autoridad correspondiente.

Los incisos anteriores relativos a la tenencia ejidal, con o sin parcelamiento, rigen también para el caso de régimen de tenencia comunal.





### **c. Pequeña propiedad.**

Se indicarán nombres de los propietarios y superficie de la propiedad; cuando esta área quede dentro de los límites económicos del proyecto, este deberá adaptarse en la medida necesaria a la lotificación existente. Se promoverá, cuando se requiera, la agrupación de propiedades para mejorar la distribución del riego y/o la explotación.

Cuando la superficie de la propiedad no esté dentro de los límites económicos del proyecto, deberá consultarse a las autoridades correspondientes para promover la solución que se considere más adecuada. En estos casos, lo indicado en los planos de tenencia, deberá ratificarse en el Registro Público de la propiedad en el caso de los pequeños propietarios o recabar los documentos que acrediten al futuro usuario como poseedor.

#### **2.2.7. Datos Climatológicos.**

Proporcionan:

- Temperatura.
- Precipitación.
- Ciclos de secas y de lluvia.
- Presencia de heladas, nevadas, granizo y rocío.
- Latitud.
- Luminosidad solar.

Sirven para:

- Determinar los tipos de cultivos.
- Fechas de siembra.
- Coeficiente de riego.

#### **2.2.8. Datos Hidrológicos.**

Proporcionan:

- Régimen de la corriente ( épocas de estiaje y de avenidas).
- Frecuencia y duración de las avenidas.
- Redes de arrastre de las corrientes (azolves).
- Extensión de la cuenca y sus características.
- Forma de cauce (definido o divagante).
- Volúmenes proporcionados de aguas subterráneas.



Sirven para:

- Determinar la potenciabilidad de la fuente de abastecimiento.
- Determinar la necesidad, o no, de construir una obra de captación y su dimensionamiento.
- Determinar la necesidad de construir obras para evitar el efecto destructivo de las corrientes.

Coefficiente de drenaje.

$$Q = x ; A = y \quad (\text{método grueso})$$

$$Q = \text{Gasto } m^3/s \quad A = \text{Área } m^2$$

$$q = \frac{x}{y} \times (1000) = \text{coeficiente lts/seg/ha}$$

$$q = \text{Coeficiente de drenaje.}$$

Los estudios hidrológicos en una pequeña zona de riego se reducen a determinar las características hidrológicas de las cuencas extrazonales que tengan aportación a la zona de riego, a fin de proyectar todas las estructuras de protección o de cruce necesarias, y conducir los escurrimientos, que en ellas se presenten, a la red de drenaje.

Los datos necesarios serán: magnitudes de las áreas por drenar que correspondan a la ubicación de una estructura de protección de las aguas, permeabilidad de los terrenos, cubierta vegetal existente, etc., dependiendo de las características particulares de cada caso, estos datos servirán para aplicarse a diferentes fórmulas acordes a las condiciones del lugar (método racional, Gregory y Arnold, Burkli-Ziegler, etc.) obteniéndose el gasto máximo que llegará a presentarse. Para condiciones generales, se recomienda el uso de las envolventes de los gastos máximos de la República Mexicana.

El gasto de diseño se puede considerar del 50% al 80% del obtenido anteriormente, dependiendo la importancia y magnitud de la estructura por construir.

### 2.2.9. Relación de Cultivos Adecuados.

Un aspecto muy importante en la operación de un distrito de riego, corresponde el cuidar que el establecimiento de los cultivos sea de acuerdo a la programación efectuada en el plan de riegos, esto con el fin de evitar cambios en los gastos de los canales o movimientos de presas. Además de precisar las características de las unidades de suelos denominadas series, así como sus tipos y fases considerando su grado de productividad, tipo de manejo de los suelos, necesario para obtener cosechas aceptables de acuerdo a las condiciones climáticas.

### 2.2.10. Planos Geológicos.

Muestran:

- Estratigrafía.
- Estructuración.
- Fallas geológicas.
- Grados de intemperismo y metamorfismo.



Sirven para:

Para la localización preliminar de:

- Obra de captación.
- Canal principal.
- Estructuras.
- Localización de bancos de materiales para la construcción.
- Estimación del tipo de maquinaria para la construcción.

### **2.2.11. Estudios de Mecánica de Suelos.**

Proporcionan:

- Permeabilidad.
- Características físicas de los suelos (suelos expansivos, colapsantes y dispersivos).
- Características químicas (alcalinidad y sodicidad).
- Características de los materiales disponibles para la construcción.
- Propiedades mecánicas de los suelos.

Sirven para:

- Necesidad de revestimientos.
- Tipos de cimentación de las estructuras.
- Compactación de los suelos.
- Proporcionamientos y tipos de cemento.
- Determinación de los volúmenes disponibles de material de construcción.

Las escalas recomendables para su representación varían de 1:2,000 a 1:20,000 dependiendo de la magnitud de la superficie.

Los estudios de mecánica de suelos en una pequeña zona de riego, determinan las propiedades físicas y mecánicas de los suelos donde se va a construir el canal principal, secundarios o sus estructuras, con la finalidad de determinar sección, impermeabilidad y estabilidad de los taludes en los canales, o las condiciones de cimentación y espesor de muros y losas en las estructuras.

Desde la etapa del trazo preliminar de redes de canales y drenes, deben efectuarse perforaciones o excavaciones a cielo abierto para determinar el perfil de los suelos. La primera utilidad que aportan estas exploraciones, es la selección de las posibles alternativas para los trazos definitivos.



Las secciones de los canales por lo general tienen la parte inferior alojada en excavación del terreno natural, y la parte superior formada por terraplenes compactados.

Las pruebas de mecánica de suelos en terrenos naturales se efectuarán en muestras alteradas e inalteradas. Las pruebas para suelos que se van a utilizar para construir bordos, se hacen sobre muestras remoldeadas y con el grado de compactación que se recomienda en la prueba proctor, en caso de suelos plásticos o con la compacidad relativa en el caso de suelos granulares sin cohesión.

Con las características físicas y mecánicas, se está en posibilidad de obtener las pérdidas por filtración y estabilidad de los taludes respectivamente, determinando si se necesita revestimiento y de que tipo.

De las características físicas, están: el contenido de gravas ( 3"-Malla.) Arena (Malla. No. 4) (Malla No. 200, abertura de 0.074 mm.), Limos y arcillas (por decantación y mediante el hidrómetro). De acuerdo al contenido de humedad: límite de contracción, límite plástico y límite líquido

Índice Plástico = L.L. - L.P.

Índice de Contracción Lineal = L.P. - L.C.

El límite líquido se encuentra con la copa de Casa-Grande.

El límite plástico se obtiene haciendo un rollito de 3.2 mm $\theta$ , sin que se agriete o se desmorone.

### 2.2.12. Estudios Socio- Económicos.

#### Planeación

- Uso de la tierra.
- Tenencia.
- Tamaño de las parcelas.
- Tamaño de los lotes.

#### Construcción

- Nivel de vida de la región.
- Asociaciones sindicales.
- Enfermedades propias de la región.

#### Operación

- Grado de madurez técnico.



### III.- CONSIDERACIONES DE PROYECTO.

Con la información que se obtiene en los estudios (cap. II), se obtendrá un mejor enfoque general del proyecto de distribución de la zona de riego que se va estudiar, dependiendo del tipo de fuente de abastecimiento disponible. El riego es la aplicación oportuna del agua uniformemente a un perfil del suelo para reponerle el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos. La aplicación del agua de riego, por lo general es denominada de acuerdo al sistema utilizado para llegar al suelo y se conocen como:

- a) Riego de superficie.
- b) Riego por surcos.
- c) Riego por aspersión.
- d) Riego por goteo.

#### a) Riego de Superficie.

El riego de superficie es el método más antiguo y continua siendo el más extendido a escala mundial; aproximadamente el 90% de las tierras regadas lo son con este sistema, en los últimos años este método de riego ha evolucionado, tanto para lograr una mejor adaptación a las diversas situaciones ( naturaleza del suelo, topografía, etc.), como por razones debidas al progreso tecnológico. Consiste en la distribución del agua por gravedad sobre toda la superficie de un terreno encerrado por pequeños diques en los suelos arcillosos, el agua penetra más lentamente que en suelos arenosos. Se llena el compartimiento o melga con una dotación de agua (0.7 a 1.0 lts./seg./ha.), la cual penetra verticalmente en la tierra.

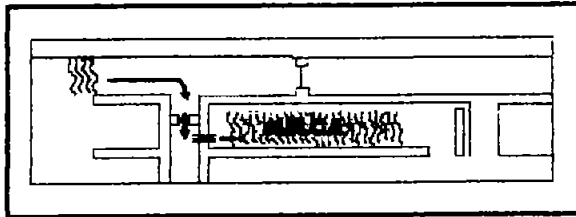


Figura 3.1 Riego por melgas\*

#### b) Riego por Surcos.

Muchos cultivos agrícolas pueden crecer en lechos separados por surcos. Donde se necesita riego, se puede hacer correr agua en los surcos. Este sistema funciona muy bien, si las características hidráulicas de los surcos son correctas. En comparación con otras prácticas de riego de superficie, este ofrece una menor superficie abierta del agua y, menos pérdidas por evaporación desde los surcos, se reduce el riesgo de batir o amásar los suelos arcillosos y tanto los agricultores como las máquinas pueden entrar a trabajar al terreno antes y después de la aplicación del agua.

\*VER REFERENCIA NÚM. 13.



Los tubos de sifón utilizados en este sistema de plástico o aluminio son ligeros sencillos de manejar, dan un flujo controlado y preservan los bordes del canal. En esta forma, el riego por surcos se puede utilizar con buenos resultados, para cultivos en hileras, excepto en los suelos muy permeables, con pendientes que van de 0 a 5 por ciento. Los surcos tienen una profundidad de 15 a 20 cm. Y un ancho de 25 a 30 cm. En forma de “V”, mientras que las corrugaciones tienen una profundidad de aproximadamente 15 cm; en este sistema el agua penetra en forma vertical y lateral. En terrenos con pendientes uniformes los surcos son en línea recta, mientras que el caso de terrenos ondulados, estos siguen las curvas de nivel.

Algunas veces se emplean surcos en zig-zag para aumentar la longitud que tiene que recorrer el agua para llegar al extremo del recorrido reduciendo con esto la velocidad del agua y aumentando la infiltración de esta en suelos pocos permeables.

No es esencial que los surcos corran a lo largo de la pendiente principal, son surcos poco profundos y muy espaciados, los que se utilizan para el riego de pastizales y cultivos de cereales.

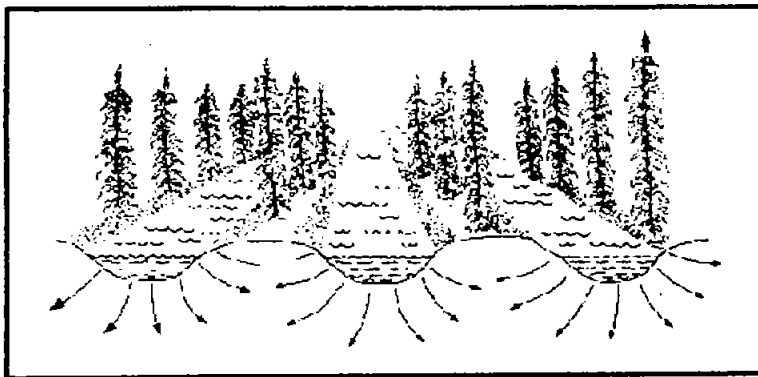


Figura 3.2 Riego por surcos\*

### c) Riego por Aspersión.

Este método de riego, es más moderno que el riego de superficie, tuvo sus inicios a fines del siglo XIX. Su nacimiento y luego su “explosión” están, por una parte, ligados a la intensificación de la agricultura y, por otra, al desarrollo de la industria. En efecto, mientras que el riego de superficie, al menos en su versión tradicional, puede ser realizado sin materiales manufacturados (solo precisa movimientos de tierra), o con elementos muy simples, el de aspersión necesita tuberías, válvulas (aunque sean manuales) y aspersores, todos ellos de una industria relativamente avanzada. El riego por aspersión está esencialmente inspirado en el fenómeno de las lluvias, cuando éstas son lo suficientemente abundantes como para llenar las reservas del suelo, pero no llegan a ser tan copiosas que producen escorrentías ni erosión a los suelos cultivables.

\*INGENIERÍA DE RIEGO REF. NÚM. 5.



Estos dos modos de regar persiguen, y logran una infiltración mínima (óptima) de las aguas aportadas y unas pérdidas mínimas por percolación hacia los horizontes subyacentes o por escorrentía.

El desarrollo que ha tenido el número de sistemas de riego por aspersión se debe al intento de resolver problemas concretos (ahorro de mano de obra, cultivos de porte alto o bajo, anuales o perennes, etc.) en las condiciones locales más diversas (tipos de suelo y de parcelas, volumen y calidad de las aguas utilizables, clases de energía y costos, etc.).

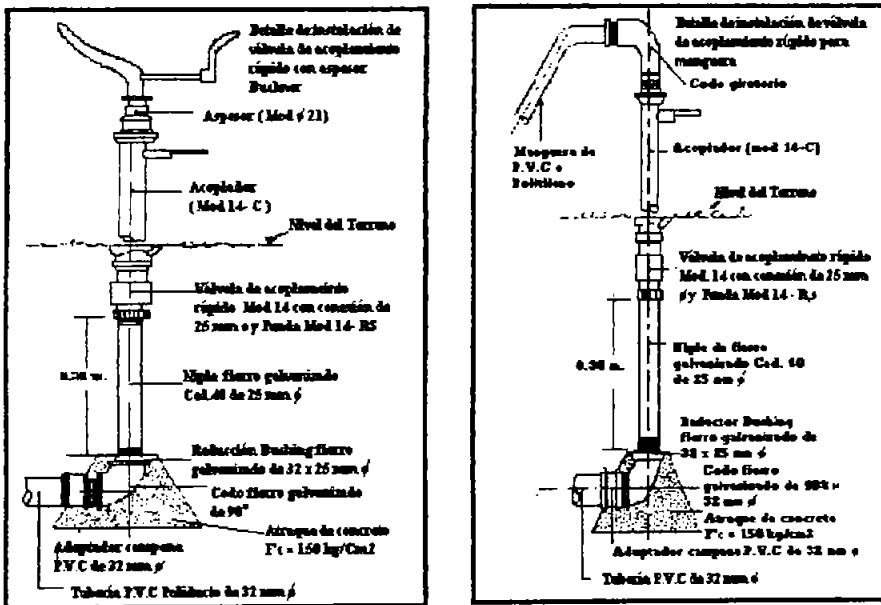


Figura 3.3 Riego por aspersor con y/o manguera

#### d) Riego por Goteo.

El riego de goteo se ha establecido desde hace mucho tiempo como método para los cultivos de invernaderos, sólo en los últimos años se ha desarrollado para utilizarse en los campos. Los costos son más altos y hay problemas de flujo que no se pueden resolver con facilidad; sin embargo, las ventajas son considerables. Este sistema se utiliza en terrenos con pendientes no uniformes, existen varios métodos para controlar la operación de un sistema de riego por goteo, variando desde una operación manual hasta una operación completamente automática.

La base del sistema es un tubo de plástico perforado tendido sobre el terreno, a la base de una hilera de plantas y alimentado por la tubería central al terreno. Todas las tuberías del terreno se dejan en su lugar durante toda la temporada de cultivo y el agua se suministra diariamente abriendo la llave.



Las salidas o las perforaciones se diseñan para emitir un gotero en lugar de un chorro de líquido y se escogen los espaciamientos para producir una franja húmeda a lo largo de la hilera de los cultivos, o bien, de la tierra mojada en torno a cada planta. Las longitudes de los tubos para que el método sea práctico son de 50 a 100 metros.

La principal ventaja de este tipo de riego es el excelente control de la aplicación de agua. Se utiliza diariamente a un ritmo tan cercano como sea posible al índice de consumo de las plantas. La evaporación de la superficie del suelo es mínima y se puede evitar casi por completo la filtración profunda. Las deficiencias de humedad del suelo se mantienen en un mínimo mediante el riego diario.

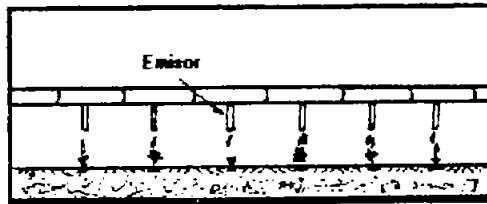


Figura 3.4 Riego por goteo\*

### 3.1 Consideraciones Generales para el Proyecto de la Zona de Riego.

Se estudia la situación y potenciabilidad de la fuente de abastecimiento para iniciar y proyectar el canal principal, por otra parte se determinan los coeficientes unitarios de riego de la región y se relacionan con la potenciabilidad de la fuente, a fin de deducir el área bruta susceptible de riego.

El canal se localiza en planos a escalas manejables, siguiendo una curva de nivel mediante un curvímeter y buscando los puntos de intersección del espejo del agua con el perfil del terreno natural, con pendiente tal que la velocidad del canal sea la indicada de un metro por segundo y procurando que la relación plantilla-tirante sea igual a la unidad.

Además se determina por medio de un planímetro, el área que se puede beneficiar por el canal, eliminando aquellas que por su condición topográfica, agrológica, urbana, etc., no sean factibles de regar.

Luego se localiza la parte final del canal de manera que pueda descargar en un bajo. Con el tipo de material en que quede desplantado el canal, se podrá convenir en bajar el trazo con el objeto de que las excavaciones sean más económicas.

\*VER REFERENCIA NÚM. 13.





Se calcularán los coeficientes unitarios de drenaje y se medirán las cuencas extrazonales, que se encuentren en los sitios más altos, que puedan aportar volúmenes de agua a la zona de estudio, así como también localizar los sitios de cruce del canal principal con los arroyos, en previsión de determinar la estructura adecuada trazando en forma preliminar una perpendicular al eje del arroyo la que más tarde servirá al trazo del canal.

Se prolongan los arroyos hasta salir de la zona de riego delimitando las áreas que se vayan a regar por los canales laterales.

Lo anterior se complementa con el trazo de las cunetas paralelas al canal desviando los escurrimientos a las estructuras de protección las que más tarde se proyectarán en función al gasto que vaya a desalojar.

Se afinan estos trazos en hojas de plancheta utilizando poligonales cuyas tangentes sean lo más largas posibles, cuyos vértices unen curvas suaves y amplias, registrándose las características del trazo en hojas de coordenadas.

Se aceptará este trazo como definitivo dependiendo de los resultados que aporten los estudios de mecánica de suelos de los sondeos solicitados, cuyo número y localización será de tal manera que pueden ser representativos de los terrenos por donde se va avanzando, poniendo especial atención en los puntos bajos ya que será un factor determinante para escoger la estructura más conveniente como solución al cruce (sifón, puente canal, alcantarilla, etc.).

Debe cuidarse también que el bordo libre del canal sea suficiente para soportar los volúmenes extra de agua y que sean desalojados para desagües parciales o totales.

Otro aspecto importante que se tiene que analizar es lo económico, referente al tipo de revestimiento siempre y cuando las pruebas de permeabilidad demuestren su necesidad, debiéndose considerar los volúmenes necesarios para terracerías que se tendrán que remover para colocar dicho revestimiento y la calidad de las aguas que conducirá el canal.

En cuanto al camino de operación del canal principal, se procura mantenerlo en el margen correspondiente al bordo inferior de desperdicio y dar un ancho que permita la circulación de dos vehículos.

### **3.1.1. Localización de las Estructuras.**

**3.1.1.1. Tomas laterales.** Estas estructuras se localizarán sobre una de las tangentes del trazo del canal principal, formando un ángulo de  $90^{\circ}$  con su eje y una distancia mínima de 10 metros con respecto a los P.C. o P.T. de las curvas, necesarias para alojar los muros alabeados de la transición de entrada.



También se deberá cuidar que el sitio en donde se localiza la toma no corresponde a un tramo de corte porque se tendría un tramo muerto largo para el canal lateral, debiéndose escoger otro sitio en donde tenga menos corte, de manera que el lateral al principio riegue un solo lado hasta librar dicho corte y localizarse inmediatamente por el parte aguas.

**3.1.1.2. Tomas Granja.** Se localizará en forma semejante a las tomas laterales aprovechando la represa que les de carga. Son necesarias cuando no se justifica económicamente la necesidad de construir un canal lateral para el riego de una porción pequeña de terreno comprendida entre 2 bajos.

**3.1.1.3. Desagües de Excedencias.** Estas estructuras se localizarán en terreno firme debajo de las entrada de agua y cerca de un bajo, para que una vez establecido el régimen de la corriente en su canal de desagüe, se encauce hacia el arroyo del bajo, su espaciamiento dependerá del gasto aportado por las entradas de agua.

**3.1.1.4. Represas.** Su localización deberá ser de manera que permita alimentar las tomas laterales, tomas granja, desagüe de excedencias, sin que el agua invada el bordo libre del canal.

Su espaciamiento deberá ser tal, que el desnivel entre la elevación libre del agua del canal principal estando la represa cerrada y la elevación libre del agua en el canal lateral, sea como mínimo el 15% del tirante más las pérdidas de carga en la toma más alta, y que el desnivel entre la plantilla del canal principal y la del lateral debe ser como máximo igual a 0.4 del tirante del canal principal y como mínimo 0.50 m.

Cuando el canal sea revestido de concreto, el espaciamiento de las represas deberá ser tal que no permita que el tirante normal del canal baje de los dos tercios, para evitar que la subpresión levante las losas del revestimiento.

## **3.2.- Consideraciones Generales para el Proyecto de la Red de Drenaje.**

**Red de Drenaje.** Se llama dren, al conducto cerrado o abierto, cuya finalidad es eliminar las acumulaciones pluviales los excedentes del riego y abatir el nivel freático en los suelos afectados. Se emplean dos tipos de drenes: el excavado a cielo abierto de sección trapecial y el cerrado de tubería de concreto.

El beneficio que se tiene con la red de drenaje se observa en el incremento y calidad de las cosechas, en el bajo costo del arado por la sustitución del agua por el aire atmosférico, en la normalización del periodo de siembras.

La localización de los drenes excavados a cielo abierto se realiza en planos a escala 1:20,000 y trazando poligonales abiertas haciendo uso de curvas suaves y tangentes largas, los cuales se afinan en otros planos a escala 1:5,000 con ayuda de los perfiles de ambos márgenes y del fondo del cauce utilizado. Se deben determinar varias alternativas de drenes colectores cuyas profundidades mínimas fluctúen entre 2.50 y 3.00 m.



Los drenes secundarios se unirán a los drenes colectores primarios, formando un ángulo de  $30^{\circ}$  y descargando con niveles de agua más altos, aprovechando para esto las caídas que se proyectan para los primarios los cuales serán mayores a un metro.

Los factores que se deberán tomar en cuenta para el diseño de la red de drenaje son:

- 1.- Coeficiente unitarios de drenaje.
- 2.- Extensión, topografía y recubrimiento vegetal de la cuenca.
- 3.- Extensión del área del dren.
- 4.- Localización de posibles salidas para los drenes colectores.
- 5.- Clases y calidad de las cosechas.
- 6.- Extensión de los terrenos cultivados e incultos valor de la producción.
- 7.- Número, extensión, condición y tamaño de las vías aguas naturales.
- 8.- Características de las precipitaciones y origen de las filtraciones si existieran.
- 9.- Tipos y características del subsuelo.
- 10.- Equipo que se usará para la construcción.

**3.2.1 Coeficiente de rugosidades.** Se recomienda utilizar para el coeficiente de rugosidad un valor de  $n = 0.030$  a  $0.035$  para el empleo de la fórmula de Manning, en drenes nuevos de sección trapecial.

**3.2.2 Velocidades.** En el diseño de drenes abiertos es necesario adoptar velocidades que por un lado no produzcan erosión y pongan en peligro la estabilidad de la sección del dren y por el otro no produzcan el azolvamiento de los mismos.

Por lo que respecta a las velocidades máximas permisibles, se ha observado que los valores siguientes han dado resultados satisfactorios en cada uno de los tipos de materiales indicados:

En cuanto a la velocidad mínima que se recomienda adoptar para evitar azolvamiento excesivo en un dren se propone el valor de  $0.40$  m/seg.

Tipo de suelo	Velocidad máx m/seg
1.- Arcilla	1.2
2.- Limo arcilloso	1.0
3.- Limo arenoso	0.80
4.- Arenoso ligero	0.40

**3.2.3 Profundidad del Dren.** La profundidad de un dren somero que conduce aguas superficiales, está controlada sólo por la cantidad de agua que tiene que conducir, en tanto que la profundidad de un dren subsuperficial, para controlar el nivel de la superficie freática, queda afectada, además de la cantidad de agua que tiene que conducir, por el espaciamiento de los drenes y por las limitaciones del equipo de construcción.



El caso de diseño más difícil, es aquel en que se requiere que el dren reciba agua de drenes tributarios, que conduzca agua de avenidas y de desperdicios de granjas; y que además reciba aportaciones de agua subterránea en toda su longitud.

En primer lugar, debe ser suficientemente profundo para que la superficie del agua que fluye por él, quede abajo de la superficie freática. Esto permite que el dren capture agua subterránea, y mientras mayor es la profundidad del dren, mayor es su área de influencia. En segundo lugar, se usa como norma en México para el diseño de la profundidad de los drenes, una profundidad que varía de 2.50 m. a 3.50 m. y pueden llegar a 4.00 m. o más.

La elevación de la superficie del agua en el dren colector, no debe ser mayor que la elevación que tiene el agua en el dren tributario. En tercer lugar, se debe dar un margen adicional de capacidad, para poder conducir las aguas de la avenida. Este último problema no es serio en un sistema completo que consiste de drenes abiertos, porque cuando se satisfacen los dos primeros requisitos, hay capacidad en exceso, que usualmente acomoda la mayoría de los gastos de avenida.

Puede ser que los gastos de las avenidas eleven el nivel del agua en el dren a un nivel más alto que la elevación del agua freática, lo cual impide que el dren recoja agua subterránea, pero esta condición es temporal y no es perjudicial. En ciertas áreas, en donde las avenidas repentinas pueden ser frecuentes donde existen problemas de niveles en la descarga, o bien cuando los suelos son altamente erosionables, puede ser económico proporcionar sistemas separados para drenaje subsuperficial y para drenaje de agua de avenidas.

Cuando los drenes tributarios son drenes cubiertos, la plantilla del dren colector abierto, debe estar abajo de la plantilla de los drenes cubiertos, como ya se indicó anteriormente, a profundidad suficiente para proporcionar el tirante normal de flujo (agua subsuperficial más desperdicios de granjas) en el dren abierto, más una profundidad adicional, que permite el manejo de agua de las avenidas en el dren abierto, sin remansar en el sistema de drenes cubiertos.

Esta profundidad adicional debe ser de unos 45 cm., si es económica y físicamente posible; pero puede ser tan baja como 15 cm. si los bancos son estables.

En general, los drenes abiertos que se diseñan para evacuar aguas subsuperficiales tienen una profundidad mínima como ya se dijo, dentro del intervalo de 2.50 a 2.80 m. para proporcionar el mejor balance entre el costo de los drenes y su espaciamiento.

**3.2.4 Sección de los Drenes.** La sección transversal del dren se debe aproximar tanto como sea posible, a una sección trapecial. Los taludes de los cortes dependen del tipo de material a través del cual se excava el dren. Los taludes laterales deben ser mayores que el ángulo de reposo del material saturado, por lo menos hasta la altura del talud que quedará mojada cuando el dren este funcionando. Arriba de la línea de saturación los taludes pueden ser iguales al ángulo de reposo del material seco.



En los materiales en los que se excavan los drenes usualmente, los taludes laterales se conservan entre 1.5:1 y 2:1; pero en algunos materiales pueden ser mayores o menores, en cuyo caso debe fijarse un valor de acuerdo a los estudios de Geotecnia que se hayan realizado.

**3.2.5 Intersecciones con Drenes Tributarios.** Los drenes tributarios abiertos deben entrar al dren más grande con la superficie del agua, cuando menos, a la misma elevación. Si el dren tributario conduce más de 400 litros por segundo, su alineamiento se debe curvar hacia aguas abajo en su extremo inferior, para hacer que las líneas de flujo de ambas corrientes sean casi paralelas en el punto de influencia. Esto no es necesario para los tributarios inferiores a 400 litros por segundo, pero de todos modos mejora las características de escurrimiento y reduce los costos de mantenimiento, aún para pequeñas corrientes.

**3.2.6 Entradas de Agua Superficial.** Nunca se debe permitir que el agua superficial que entra a un dren profundo derrame por los taludes laterales. Los bordos de desperdicio se deben construir de modo de impedirlo, y se deben proporcionar entradas con tubo para controlar el ingreso del agua superficial. Es recomendable que en la entrada de estas estructuras se dejen ranuras para agujas de madera que permitan un control en el funcionamiento de las mismas.

En los drenes principales, generalmente no se construyen entradas de agua, ya que los lotes descargan a los drenes secundarios y estos a su vez al principal. Sin embargo en ocasiones llega a ser necesaria su construcción.

Las entradas de agua deben construirse en todos los sitios que se requieran, de acuerdo con la topografía, es decir en todos los puntos bajos donde haya concentración de escurrimientos. Así mismo cada lote deberá tener su respectiva entrada de agua, para la descarga de excedentes de riego y agua pluvial al sistema de drenaje. Es recomendable tener cuando menos una entrada de agua por km. de dren.

**3.2.7 Bermás o Banquetas.** El producto de la excavación de la cubeta del dren, se debe colocar a una distancia mínima de 5 m. a cada lado, en drenes grandes, formando un bordo continuo, quedando en esta forma las bermás o banquetas que son necesarias para los trabajos de conservación y para alojar escurrimientos mayores de menor frecuencia.

**3.2.8 Secciones de Transición.** Cuando se cambia la profundidad del cauce o el ancho del fondo, los cambios no se deben hacer en forma abrupta, sino graduales, en una distancia de unos 5 metros o más, dependiendo de la magnitud del cambio. Donde cambia la profundidad, la pendiente de la transición debe ser suave, para evitar socavación. Las secciones de transición se deben localizar arriba de la entrada de los drenes laterales. Es más sencillo cambiar o el ancho del fondo, o la profundidad, en lugar de cambiar ambas cosas; sin embargo, en algunos diseños de transiciones, ambos cambios son necesarios.



**3.2.9 Capacidades de Diseño.** Los cauces de los drenes de superficie se deben diseñar para el escurrimiento pluvial solamente y no se necesita dar ninguna capacidad adicional para el desperdicio de riego. La razón es que normalmente, el valor del escurrimiento pluvial es tan grande en comparación con el gasto del desperdicio de riego, que la adición de la cantidad más pequeña a la más grande, sería un refinamiento innecesario.

El escurrimiento pluvial para dimensionar la cubeta, debe ser el que se obtiene para la tormenta de frecuencia de 1 en 5 años, a menos que haya información disponible que justifique apartarse de este valor y de 1 en 10 años para que quede alojado dentro de las bermás. La capacidad mínima de los drenes superficiales queda terminada principalmente por el tamaño del equipo de construcción disponible. La regularización del escurrimiento pluvial que resulta de la inundación de los campos, se debe tomar en cuenta para estimar la capacidad de los drenes superficiales, pero no se debe permitir encharcamiento de tierras arables por periodos que excedan de 48 horas.

Las capacidades para los drenes abiertos colectores deben ser suficientes para conducir el escurrimiento normal de las aportaciones del agua freática y del desperdicio superficial de riego, más el gasto pluvial estimado, más las cantidades entregadas por los drenes de alivio y los interceptores a dichos drenes colectores. Las capacidades para los drenes abiertos de salida, deben ser suficientes para conducir los gastos de los drenes colectores.

**3.2.10 Descargas.** Los drenes principales descargan a un río, lago, zona baja de inundación o al mar directamente, conservándose la misma sección típica hasta su punto de descarga.

Tratándose de descarga de los drenes a los ríos, lagos o zona a bajas de inundación se procura que el desnivel mínimo entre los suelos agrícolas y el nivel normal del río, sea de 2.50 a 3.00 m. mínimo, el que se ha considerado necesario para una eficiente operación del sistema de drenaje. Cuando esto no es posible, hay necesidad de instalar un equipo de bombeo para mantener en el sistema de drenaje los 2.50 a 3.00 m. mínimos requeridos.

Para lograr esta condición se limita el área del distrito a una elevación de 5 m. o más sobre el nivel del mar con la que se cuenta con desnivel suficiente para dar los 2.5 a 3.0 m. mínimos que requiere el drenaje dentro del distrito y además con 2.0 a 2.5 m. para dar pendiente al cauce del dren en su tramo muerto fuera del distrito.

Esta solución obliga a dejar una franja sin riego entre el mar y el distrito, lo que no crea problemas por falta de tierra debido a que generalmente en las zonas donde se construye la mayoría de los distritos de riego en México, hay tierra de sobra y lo que falta es agua para irrigarlas.

En los casos excepcionales en los que las tierras del riego llegan prácticamente a la orilla del mar, la descarga de las aguas de drenaje tienen que hacerse por medio de bombeo, con el grave inconveniente, que no solo se tiene que bombear el agua correspondiente al distrito sino además el agua de mar que se filtre, a los suelos colindantes con el mar, lo que aumenta los costos de operación y mantenimiento del distrito.



**3.2.11 Estructuras.** Las estructuras de los drenes abiertos consisten de entradas al dren caídas y rápidas; y cruces con caminos, ferrocarriles y canales. El diseño estructural real, se debe hacer de acuerdo con las normas que la C.N.A. tiene establecidas para estos casos.

Las entradas pueden ser de tubería de concreto, metal corrugado, polietileno, el tubo metálico puede ser galvanizado, bañado en asfalto, o con asbesto adherido, dependiendo de la corrosividad del suelo. El tamaño mínimo de las tuberías debe de ser de 457 mm. para aminorar los costos de operación y mantenimiento; la velocidad en el tubo no debe exceder de 3 m/s, y la pendiente mínima del tubo debe ser 0.01 el extremo de salida se debe prolongar 30 cm. más allá de la orilla de la superficie normal del agua en el dren de modo que el agua del tubo no caiga en el banco ni lo erosione y este extremo debe quedar como 45 cm. arriba de la superficie normal del agua.

Se pueden usar tubos múltiples si se requiere. No se necesita construir muros de cabeza, aún cuando se puede requerir protección con roca en las estructuras más grandes. El relleno de tierra alrededor de los tubos debe ser compactado, en toda su longitud y 30 cm. encima del tubo, no se necesitan collares.

Las estructuras convencionales de rápida se deben usar cuando sean apropiadas. Las estructuras de caída se deben usar cuando por la pendiente del terreno y tipo de suelo, sea necesario controlar la velocidad del agua dentro de los límites de seguridad, se recomienda que la altura mínima de caída sea de 2.00 m. para que se justifique la construcción de la estructura.

Los cruzamientos pueden ser de tubería de metal o de concreto, dependiendo de la importancia del cruzamiento, que se mide por la magnitud de la pérdida que resultaría de su falla. Si los suelos son agresivos o el agua es agresiva, el tubo debe estar protegido para alcanzar una vida económica. Los cruzamientos de caminos, ferrocarriles y canales importantes, se deben diseñar para avenidas que correspondan a la tormenta de frecuencia de 1 en 25 años para los cruzamientos de menor importancia se pueden usar las avenidas que resultan de tormentas de 1 en 10 años; y las avenidas que corresponden a tormentas de frecuencia de 1 en 5 años se pueden usar para los cruzamientos de los caminos secundarios o de las zanjas de granja dentro de los campos.

**3.2.12 Bordos y Caminos.** Si los bordos formados con el producto de la excavación son continuos y se les da una corona de 5 m. y una rasante apropiada para el tránsito de vehículos, se puede obtener un camino de acceso a las parcelas la mayor parte del año, por estar alojado en terraplén, requiriendo un mínimo de trabajos de conservación. Se recomienda dar al camino una pendiente transversal hacia fuera del dren de un 2% mínimo, para evitar que la lluvia arrastre material hacia el cauce del dren.



## IV.- SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

### 4.1. Definición y Clasificación.

El sistema de distribución de un proyecto de riego es un conjunto de canales y sus estructuras, las cuales se requieren para distribuir el agua proveniente de la fuente de abastecimiento o derivación, en todos los lotes y parcelas de la zona de riego.

#### 4.1.1 Red de Distribución con Canales Abiertos.

Los canales que forman el sistema de distribución en una pequeña zona de riego, se dividen en: canal principal, canales laterales, ramales y regaderas.

De acuerdo con la longitud de recorrido y con las condiciones topográficas existentes, en ocasiones se emplean diversos tipos de estructuras, tales como caídas, rápidas, puentes, sifones y alcantarillas.

**Zonas Nuevas.** Son aquellas en las que el ingeniero, puede definir a su entera satisfacción los sistemas de conducción, distribución, drenaje y todas las obras referentes a los distritos de riego, con la ventaja de aprovechar las nuevas técnicas y experiencias adquiridas en obras similares, para lograr un sistema óptimo. Son zonas vírgenes en las que existe la mayor libertad para su planeación.

En la planeación de un sistema de riego, el ingeniero deberá seguir un ordenamiento lógico de las obras de tal manera, que los elementos que se diseñen más tarde se construyan y operen, formen un conjunto que funcione de la mejor manera.

Para iniciar, el ingeniero debe recopilar los siguientes datos básicos:

1. Planos de localización del futuro sistema de riego en donde se indiquen las vías transitables de comunicación y distancias a los principales centros de producción y abastecimiento tanto estatales como del país.
2. Planos topográficos a escalas adecuadas y pueden quedar comprendidos entre 1:100,000 y 1:1,000.
3. Planos fotogramétricos.
4. Planos agrológicos a escala adecuada con información del origen y clasificación de los suelos, calidad agrícola, salinidad, ph, áreas regables, no regables y niveles freáticos.
5. Uso de la tierra, zonas agrícolas en producción, silvícolas, lacustres y urbanas.
6. Régimen de la propiedad, tamaño del lote y de la parcela. Problemas que se tienen y tendrán con la tenencia. Características sociales de la región.





7. Datos climatológicos, plan de cultivos para apoyar la subdivisión de la superficie regable y la primera tentativa de la localización de la red de distribución.
8. Recursos hidráulicos disponibles.
9. Características físicas y mecánicas de los suelos.
10. Materiales y bancos de préstamo que predominen y que estén disponibles en la región.
11. Análisis económicos que indiquen el tipo de construcción convenientes.

Forma y Manera de Interpretar los Datos Anteriores:

**4.1.1.1 Planos de Localización.**

En este concepto, el especialista deberá considerar las diversas vías de comunicación que permitan abastecer de cemento y acero a la zona, así como también la comunicación de esta mediante caminos de acceso con las vías principales.

Asimismo, el sistema de riego en proyecto debe analizarse en cuanto a la integración de un plan hidráulico regional, ya que actualmente los estudios se hacen a nivel nacional, permitiendo con ello operar los factores suelo-agua, de tal manera, que sean más aprovechables.

**4.1.1.2 Planos Topográficos.**

En estos planos, el especialista determinará las cuencas hidrológicas extrazonales tributarias a la zona de riego y cuantificará con un estudio hidrológico adecuado el volumen de agua escurrido. Estas cuencas se delimitarán con polígonos cerrados por parte-aguas y se medirán en kilómetros cuadrados con una aproximación de 0.1. asimismo, se deberán indicar los lugares en que los escurrimientos entran a la zona de riego al subir el nivel freático y en consecuencia la salinidad. Se determinará la pendiente topográfica del terreno con la fórmula siguiente.

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n}} \right]^2$$

- S = Pendiente topográfica del terreno.
- n = Número de tramos.
- S<sub>1</sub> = Pendiente del primer tramo.
- S<sub>2</sub> = Pendiente del segundo tramo.
- S<sub>n</sub> = Pendiente n veces.



También se delimitarán las vías de comunicación: ferrocarriles, caminos y brechas, redes telegráficas, telefónicas, electricidad, oleoducto, gasoducto.

En las hojas de plancheta se anotarán las pequeñas variantes topográficas que no estén indicadas en los planos anteriores y se dará el afine definitivo al trazo preliminar para que puedan servir, en forma confiable, de apoyo a los levantamientos de: límites de propiedad, desmonte agrícola y al trazo de caminos, canales y drenes.

Los monumentos o señalamientos son tan importantes tanto en los estudios preliminares como en la construcción de las obras, que requieren ser cuidados, conservados y respetados al máximo.

#### **4.1.1.3 Planos Fotogramétricos.**

Los planos fotogramétricos son de una calidad técnica superior a los topográficos, que en general son poco precisos de alto costo y lentos en su levantamiento.

La investigación en planos fotogramétricos de una zona de riego permite un diseño más adecuado en su magnitud proporcionando finalmente un funcionamiento eficiente.

Actualmente la Comisión Nacional del Agua hace levantamientos fotogramétricos en coordinación con los trabajos que realiza la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), con la intención de hacer el inventario de los recursos hidráulicos del país. Los mapas obtenidos son fotografías en blanco y negro a escala 1:50,000 en curvas de nivel a cada 10 metros, en color a escala 1:25,000 con curvas de nivel a cada 5 metros, que contienen datos y materiales de gran valor para la construcción del proyecto y a escala 1:5,000 con curvas de nivel a cada metro.

Estos planos se relacionan con cartas de climas que a escala 1:500,000 elaborados por el Instituto de Geografía de la UNAM, donde se muestran; isotermas e isoyetas medias anuales, la disponibilidad de agua para infiltración y escurrimiento y para cada una de las estaciones meteorológicas, un climograma con la precipitación y temperatura media mensual.

Para el proyecto y construcción de estructuras de mayor importancia para la zona de riego, como diques, túneles, sifones y puentes, los mapas fotográficos permiten obtener una valiosa información geológica tal como afloramientos de roca, clasificación y modos de ocurrencia, estratigrafía, estructura, grado de intemperización y metamorfismo, que ayudan a la localización de bancos de materiales indicando su utilidad como elementos de construcción. En la elección y dimensión de estructuras necesarias para los cruces en bajos y ríos, podrán ayudar a la determinación del cauce por las tendencias erosivas o de depósito del río y por la conformación de los márgenes correspondientes.



El especialista deberá investigar en estos planos, todos los factores regionales, nacionales e internacionales que puedan tener influencia en el proyecto, construcción, operación y conservación del sistema de riego.

Deberá de analizarse además de lo anterior, los aspectos de: mecánica de suelos; uso y tenencia de la tierra; cubierta vegetal, situación agropecuaria, forestal y piscícola; vegetación natural existente; condiciones económicas y sociales para obras de infraestructura que se hayan hecho para incorporarse al proyecto.

Estos elementos serán apoyos de juicio para la planeación y justificación del proyecto.

Los planos fotográficos prestan una valiosa ayuda que permite optimizar la planeación y determinación, con una aceptable aproximación, los costos de construcción, operación y conservación por hectárea para una vida útil estimada en 50 años, mismos que se pueden comparar con los de otras zonas de riego ya construidas y en operación.

#### 4.1.1.4 Planos Agrológicos.

En estos planos se muestran el origen y la clasificación de los suelos, y en forma concreta, se consideran constituidos por tres partes: la sólida, que es perceptible a la vista y al tacto, la líquida y gaseosa. La parte sólida consiste en partículas primarias de arena, limo, arcilla, materia orgánica y compuestos químicos, en que la interacción de éstos determina las características del suelo, como son: densidad, porosidad, tamaño de partículas, textura, estructura, propiedades químicas y capacidad de retención del agua (cuya composición química afecta en una u otra forma su movimiento en el suelo y a la cual se denomina conductividad hidráulica).

De lo anterior se hace la clasificación agrológica de los suelos en: arena, migajón limoso, migajón arcilloso y arcilla, los cuales se indicarán en el plano correspondiente a símbolos topográficos, litológicos y de clasificación de los suelos, por medio de un diagrama triangular, el cual, según el porcentaje de limo, arena o arcilla, indican la clasificación del suelo correspondiente. En el siguiente cuadro se indican las características de humedad de los suelos de acuerdo con su textura.

Características de Humedad de los Suelos de acuerdo con su Textura

Clasificación	Porcentaje medio de humedad		
	Retención	Marchitamiento	Aprovechable
Arena	6.9	2.3	4.6
Migajón arenoso	12.5	5.0	7.5
Migajón limoso	21.5	10.8	10.7
Migajón arcilloso	25.0	13.0	12.0
Arcilla	32.0	16.6	15.4



Se deberá de investigar el uso de la tierra, para evitar pérdidas de agua que se originen por procedimientos inadecuados de los cultivos, como son: tener surcos de más de 200 metros de longitud, falta de nivelación del terreno, separación excesiva de los bordos de las melgas.

En la figura 4.1.1.4.1 se indican diferentes valores de la humedad según la separación de los bordos.

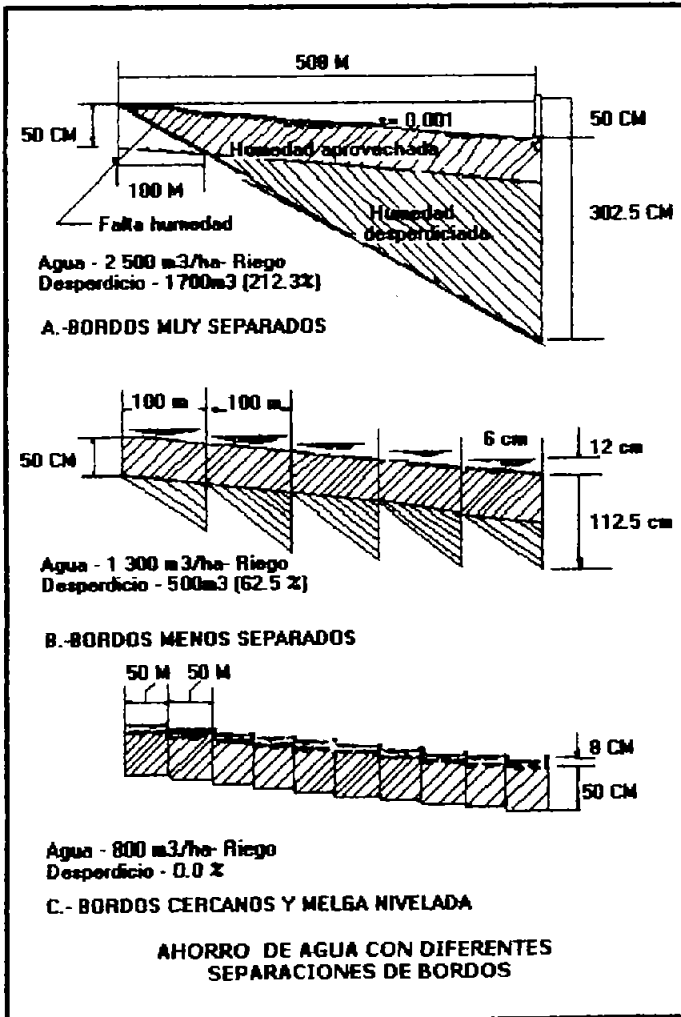


Figura 4.1.1.4.1. Diferentes Separaciones de Bordes



También deberán investigarse las zonas agrícolas en producción, para garantizar e incrementarlas, asegurándoles una red conveniente de canales y de caminos que serán necesarios para llevar los productos a otros centros de distribución o de transformación.

Con respecto a las zonas silvícolas, se deberá determinar la densidad y extensión de las mismas, para garantizar que las zonas regadas no se vean afectadas por la erosión eólica. También deberán ser estudiadas convenientemente para no modificar sustancialmente la ecología de la zona en estudio.

De ser necesario transformar las zonas silvícolas en terrenos de cultivo, se deberán cuantificar los costos para realizar el desmonte agrícola, haciéndose levantamientos en hojas de plancheta a escala 1:10,000 en las que se indicarán las etapas necesarias del desmonte; tumba y junta, quema de monte, quema de raíces y nivelación de tierras y el número de hectáreas de cada uno de estos conceptos. Por lo que respecta a las zonas lacustres, deberán definirse los sitios en que se localizan, y determinarse sus profundidades y dimensiones aproximadas.

Finalmente, las zonas urbanas deben determinarse para localizar convenientemente la red de caminos indicando: la importancia de estos centros urbanos, el tipo de camino, dimensiones, revestimientos, red telefónica y eléctrica, localización de las oficinas para la operación del sistema de riego, casa del canalero.

#### **4.1.1.5 Régimen de Propiedad.**

Este aspecto debe ser estudiado minuciosamente por el proyectista con objeto de que pueda resolver simultáneamente los problemas que representan la localización adecuada de los canales y drenes así como la lotificación y parcelamiento de la zona de riego, determinando para esta última, el número de hectáreas por lote que deberán ser regadas por las tomas granja, y considerando que para un régimen de propiedad de 2 ha. promedio por ejidatario, cada toma granja regará como máximo 20 ha. y que cuando se tengan 10 ha o más como propiedad por agricultor, la toma granja regará entre 50 y 60 ha.

Además, la investigación de este aspecto deberá ser utilizada para: la localización de los canales ya sea por linderos o por parteaguas; las estructuras que se requieran en la red de drenaje, como son las entradas de agua; así como los sitios en que sea indispensable construir puentes y alcantarillas; en la red de caminos.

#### **4.1.1.6 Datos Climatológicos.**

Para determinar la cantidad necesaria y suficiente del agua de riego por aplicar a los diversos cultivos que se vayan a realizar en las zonas de riego en proyecto, es necesario conocer las características del clima para poder relacionarlas con las etapas de mayor demanda y los momentos críticos en que la aplicación del riego tiene influencia sobre la producción.



Así, de lo anterior se puede decir, que la cantidad, frecuencia y naturaleza del transporte del agua sobre la superficie terrestre, servirá para el diseño de las obras de riego, de tal manera, que las zonas áridas en donde el agua es escasa requerirá para su aplicación en el riego de largos canales y zonas muy húmedas, donde la precipitación pluvial es muy alta, requerirán de un buen drenaje que elimine los excesos que impiden el desarrollo vegetativo.

Es preocupación del proyectista, determinar el método conveniente que indique las necesidades de los cultivos. Actualmente se emplea el uso consuntivo del agua el cual entendemos, como "La cantidad de agua absorbida por un cultivo durante su ciclo vegetativo para ser transpirada o empleada por las plantas en la construcción de los tejidos vegetales, más el agua evaporada desde el suelo en donde se localiza el mismo".

Las necesidades de riego para el desarrollo vegetativo de las plantas depende de los siguientes factores:

- 1.- Suelo (estructura, textura, fertilidad, salinidad, capacidad de retención del agua, profundidad, nivel freático y otros).
- 2.- Cultivo (especie, variedad; ciclo vegetativo, fase de desarrollo, fisiología intrínseca).
- 3.- Agua (disponibilidad, práctica de riego, eficiencia de aplicación del riego).
- 4.- Clima (temperatura, calor aprovechable, precipitación estado hidrométrico del aire, vientos, nubosidad).

Plan de Cultivos para apoyar la subdivisión de la superficie regable y la primera tentativa de la localización de la red de distribución.

Para la formación del plan de cultivos se procede a consultar las guías del Plan Nacional Agrícola, Ganadero y Forestal, que anualmente fórmula la Secretaría de Agricultura y Ganadería.

Además se deberán consultar aspectos económicos que justifiquen la determinación de los cultivos.

Se procede a la determinación de los coeficientes unitarios de riego para la zona en estudio y se calcula la capacidad hidráulica de las fuentes de abastecimiento determinando el área bruta posible que se pondrá bajo riego, en la cual se obtienen con la ayuda de un planímetro, de planos topográficos a escala 1:20,000.



#### 4.1.1.7 Estudios de Mecánica de Suelos.

Todos los suelos que van a servir como material de construcción en bordos de canales y drenes, así como los que resultan en talud por la excavación de la cubeta, son susceptibles de falla desde el momento en que van a formar parte de una estructura. Existen otros, que en forma de rellenos son igualmente importantes porque servirán de apoyo a las alcantarillas, sifones, diques, puentes canal, terracerías o carpetas asfálticas en caminos.

Las fallas más frecuentes en los bordos de canales son las causadas por la filtración, asentamientos y deslizamientos o derrumbes.

Las primeras ocasionan pérdidas de agua de manera tal que pueden llegar a ser totales. Se puede permitir un límite en cuanto a la magnitud de esas pérdidas, el cual ya rebasado, justificará que se empleen revestimientos siempre y cuando el área por regar y la calidad agrológica de los suelos justifiquen esos revestimientos.

En cuanto a las segundas, en canales revestidos, ocasionan el rompimiento de las losas o mamposterías. Pueden en algunos casos permitirse cuando no exista tal revestimiento si la geometría del canal o dren no se ve afectada sensiblemente y no aparecen filtraciones ocasionadas por grietas.

Respecto a los deslizamientos, es de suponerse que un solo material de baja calidad en cuanto a propiedades mecánicas será el más susceptible a este tipo de falla, y requerirá por lo tanto taludes más tendidos.

Existe un factor muy importante, el cual controla estos tipos de fallas: la compactación, la cual para que sea de buena calidad quedará sujeta a la energía proporcionada por el equipo, de acuerdo con el espesor de las capas y el número de pasadas requeridos por la humedad óptima.

Los asentamientos producidos en las plantillas de los canales, se deben en ocasiones, a materiales de origen eólico, limosos, sin cohesión, que en estado natural se encuentran sueltos, por lo que al saturarse se reacomodan y sobreviene la falla cuyo tipo ha dado lugar a los llamados suelos colapsiales. Para mejorar las propiedades mecánicas de tales suelos es preciso proporcionar un tratamiento a lo largo del trazo a fin de aumentar su peso volumétrico.

Es importante mencionar a las arcillas expansivas las cuales manifiestan cambios volumétricos en algunas ocasiones de suma importancia, debidos a variaciones de humedad.

Se ha observado que mientras utilice un material de esta naturaleza con una compactación alta, los hinchamientos y la consecuencia de la saturación son mayores y los empujes sobre canales revestidos son tales, que provoca la fractura o dislocación de las losas.



Por otra parte se sugiere que para contrarrestar esta expansión se procure proporcionar una compactación menor a los terraplenes, pero se ha llegado a resultados opuestos, o que la falla es debida a asentamientos por falta de compactación.

### **Materiales y Bancos de Préstamo que Predominen y estén Disponibles en la Región.**

En toda obra de ingeniería civil habrá necesidad de adquirir materiales para la misma, tratándose de obras hidráulicas en un distrito de riego, también habrá la necesidad de buscar materiales tanto para la formación de terraplenes como para la elaboración de los concretos de las estructuras, que se tratará en lo posible, de utilizar al máximo aquellos que se encuentren disponibles en las inmediaciones a fin de evitarse acarreos demasiado largos que encarecerían la obra.

Todo proyecto deberá quedar sujeto a las características mecánicas del material disponible, siempre y cuando en forma adecuada, haya sido seleccionado y se le hayan determinado sus propiedades en el laboratorio de mecánica de suelos.

En la construcción de canales y drenes es importante aprovechar el material de excavación de la cubeta para la formación de los bordos, así como también el que se encuentra en ambos lados del eje y se le llama préstamo lateral.

Por lo que respecta a los materiales de banco de préstamo, el proyectista deberá tener conocimiento de las muestras representativas de la porción del material que necesita para su proyecto.

Dentro de estos materiales se encuentran las arcillas, polvos, arenas, gravas, rocas. Además de la siguiente relación de datos que servirán para ampliar la información que se requiere con mayor frecuencia:

- Obra o proyecto de procedencia.
- Aplicaciones propuestas para el material muestreado.
- Denominación del banco explorado.
- Localización del banco explorado.
- Distancia aproximada del banco a las obras.
- Volumen aproximado del material disponible en banco.
- Facilidades para acceso y explotación del banco.
- Número de muestreos efectuados en el banco explorado.
- Ubicación del punto de extracción de la muestra.
- Número de muestras extraídas en el mismo punto.
- Espesor superficial de material no utilizable.
- Profundidad de extracción de la muestra.
- Profundidad del nivel freático en el punto de extracción.
- Fecha de obtención de la muestra.
- Procedimiento de extracción de la muestra.





#### **4.1.1.8 Análisis Económicos que indican el Tipo de Construcción Conveniente.**

Una vez concluidos los anteproyectos de la zona de riego en estudio, se deberá comparar económicamente tomando como base los costos por hectárea regada y de operación, para lo cual es necesario haber determinado previamente: volúmenes y costos de concreto, estructuras, excavaciones, terracerías, perforación de pozos, revestimientos.

En cada caso particular, existirán problemas locales de mayor importancia, que deberán ser estudiados y resueltos de manera que su integración a un sistema de caracteres mayores para el mejoramiento social y económico del mayor número de habitantes, procurando siempre dentro de lo posible la funcionalidad, estética y economía de las obras.

#### **4.1.2.- Red de Distribución con Tubería**

Las razones básicas que justifican la construcción de un proyecto de esta naturaleza son:

##### **Ahorro de Agua.**

La razón principal para usar un sistema de distribución por tubería es el ahorro del agua. En un canal en tierra las pérdidas ocurren por filtración, evaporación, rotura de bordos y en ocasiones por hurtos. Si el canal es revestido de concreto, las pérdidas por filtración disminuirán, siendo semejantes a las de la tubería; sin embargo, en canales revestidos el agua puede perderse en forma continua por evaporación.

No existen datos concluyentes disponibles de pérdidas de agua en los sistemas de tubería, pero el total de esas pérdidas es indudablemente pequeño, probablemente no mayor del 2% al 3% del gasto total sin tomar en consideración el tamaño del tubo.

##### **Aumento de la Superficie Cultivable.**

Una vez que el sistema de tubería es instalado, la superficie disponible para el cultivo se incrementa. Se requerirá, menor derecho de vía que para un canal abierto, ganándose por este concepto alrededor de un 4% de incremento en la superficie total.

La disminución del coeficiente de riego, también se traduce en aumento de la superficie cultivable. Se llama coeficiente de riego a la cantidad de agua que sale de la presa de almacenamiento o de derivación para regar un metro cuadrado; se integra por el agua que se da a las parcelas, más la que se pierde en el trayecto por infiltración y evaporación, más los desperdicios por operación de represas, tomas y otras estructuras. En promedio se cuantifica en 55% el volumen que llega a las parcelas, en 33% el de pérdidas por conducción y en el 12% de desperdicios. Por estas razones, para disminuir el coeficiente de riego, es necesario hacer que las pérdidas y desperdicios se abatan a un mínimo a un costo razonable.



## **Seguridad.**

Una gran cantidad de terreno alrededor de rancherías, poblados y ciudades, es comúnmente tomada para usos urbanos cuando aumenta la población, y mucha de esta área ha sido previamente irrigada. Los canales abiertos constituyen un peligro constante para los habitantes, especialmente niños.

## **Economía en Relación a otro Tipo de Tubería.**

El uso de tubería colada en el lugar en preferencia a otros tipos de tubería, es un hecho de economía financiera. Los precios de concurso han demostrado que la tubería colada en el lugar es más económica que cualquier otro tipo de tubería comparable; el gasto de mantenimiento más significativo de un sistema de distribución por medio de tubería sin juntas colada en sitio, es el costo de reparación de grietas.

La experiencia demuestra que, aún cuando las grietas constituyen un problema significativo en los gastos de mantenimiento, los costos de reparación son aún muy razonables. Muchas autoridades consideran que las grietas pueden reducirse materialmente, haciendo mejores diseños, elaborando mejores concretos, mejorando las técnicas de construcción y haciendo una operación más cuidadosa del sistema; se piensa que la tubería de concreto sin juntas colada en el lugar, puede ser un sistema de distribución carente de este grave problema o razonablemente reducido.

## **Requerimientos para el Diseño de la Obra.**

Los lineamientos a seguir para lograr un diseño eficiente y económico de un sistema de distribución a base de tubería de concreto sin juntas colada en sitio, trabajando con baja presión.

Desde los estudios previos necesarios hasta el proyecto hidráulico y estructural detallado.

## **Estudios.**

En una Zona de Riego en que se presenta como alternativa la posibilidad de hacer la distribución y quizá la conducción del agua por medio de un sistema de tubería de baja presión, los estudios requeridos no difieren gran cosa de los necesarios en un sistema de canales abiertos.

Los estudios están enfocados desde tres puntos de vista; reconocimiento, anteproyecto y proyecto definitivo. Los estudios de reconocimiento consisten en simples observaciones hechas por personal capacitado, o bien aunar a estas observaciones resultados de pruebas de campo sencillas. Los estudios realizados con fines de anteproyecto tienen casi carácter definitivo, conteniendo información general más detallada. Los estudios para el proyecto definitivo, generalmente consisten en afines, complementos o información, más profunda sobre características que el proyecto definitivo reclama.



### Estudios para el Diseño Hidráulico.

**Carga Hidrostática.** Para permitir el uso de tubería de baja presión, la carga hidrostática se limita a 4.50 metros, logrando con ello que las estructuras sean accesibles y de costo razonable. Como limitante una carga hidrostática máxima de 6.10 m., observando las medidas siguientes:

- a) Mantener una carga, de operación menor que el máximo de 4.5 m. y tan baja como sea posible de acuerdo con la topografía y el área por regarse.
- b) Uso de compuertas y estructuras de control para minimizar la carga de operación.

**Coefficiente de Rugosidad.** El coeficiente de rugosidad de la tubería de concreto colada en el lugar, sugiere Bureau, se use de 0.014 en la fórmula de Manning para determinar las pérdidas por fricción en la tubería.

**Velocidades.** En general es conveniente tener una pendiente no mayor al 10%, las velocidades resultantes con pendientes fuertes pueden ser muy altas y causar erosión en la tubería si el agua transporta suficiente cantidad de material abrasivo. Velocidades de 1.00 a 1.50 m/seg. son consideradas como aceptables si no ocurre sedimentación.

**Variación de Presión.** Golpes de ariete y ondas, u otras variaciones de presión son especialmente problemáticos y pueden causar daño a la tubería colada en el lugar. incrementos y decrementos de presión deben ser cuidadosamente vigilados, las presiones negativas no deben ser permitidas. Un diseño apropiado de las estructuras, con sus compuertas y tubos de ventilación en los sitios apropiados, elimina virtualmente todos los posibles daños causados por las variaciones de presión.

### Estudios para el Diseño Estructural.

**Colchón de Tierra.** El espesor de la cubierta de tierra apropiado para la tubería colada en sitio, como mínimo de 65 cm. de relleno adecuado para uso normal y para cruces de caminos no sujetos a cargas pesadas y altas velocidades.

El máximo colchón permisible es ilimitado, dada la forma en que se construye la tubería y las condiciones de carga que resultan de este tipo de construcción.

**Cimentación.** La tubería colada en el lugar puede ser y ha sido instalada prácticamente en todo tipo de suelo.

Las arcillas expansivas son los suelos que más problemas causan a la tubería y siempre que sea posible debe evitarse la ejecución de proyectos de este tipo en estos suelos, o bien removerlos.



Grandes rocas aisladas causan también problemas de cimentación, debiendo ser removidas y rellenado el hueco con suelo inerte compactado.

Si el piso de la trinchera es roca sólida, debe hacerse una sobreexcavación y proveer una cama de suelo apropiado para lograr una correcta colocación de la tubería.

Materiales suaves o bien suelos colapsables, deben ser removidos y la cimentación estabilizada con otro material.

Debe estudiarse así mismo, la posibilidad de falla por asentamientos diferenciales, motivados por el contacto entre suelos con diferente consolidación, para prever el tratamiento adecuado de la cimentación; este problema se agudiza en una formación con cambio brusco de suelo a roca o viceversa.

### **Sistemas de Distribución por Tubería.**

En los sistemas de distribución por tubería, se usan conductos enterrados para conducir el agua de riego hasta el punto de entrega en la parcela del agricultor.

Normalmente las tuberías se colocan adyacentes a los caminos y se pueden instalar siguiendo el perfil del terreno cuesta arriba y cuesta abajo. Si se conserva la tubería debajo del gradiente hidráulico, no es necesario seguir una curva de nivel como en los canales.

La carga de presión en la tubería debe ser suficiente para entregar el gasto que se necesita en las parcelas, debiéndose tomar en cuenta las pérdidas por fricción hasta el punto de entrega.

En cada lugar de entrega, usualmente se proporciona un medidor para controlar el gasto y para totalizar la cantidad de agua suministrada.

Se han formulado criterios de diseño para sistemas individuales abiertos o de baja presión, y para sistemas individuales cerrados o de alta presión. Cualquier sistema de ambos se puede usar tanto en áreas servidas por gravedad como por bombeo.

#### **4.1.2.1.- Sistema Abierto o de Baja Presión.**

El sistema abierto, utiliza tubería de baja presión que unida a cajas distribuidoras y pozos de registro, estructuras localizadas a intervalos regulares a lo largo de la tubería, proporciona riego directo a cada lote por medio de tomas granjas adosadas a las cajas distribuidoras.

Las cajas distribuidoras tienen generalmente muros vertedores de cresta libre o compuertas de control. Los muros de cresta libre sirven para el mismo propósito que las represas en canales abiertos.



La parte superior de estas estructuras se debe llevar hasta una altura tal que proporcione el bordo libre mínimo requerido por encima de la superficie libre del agua, cuando esté pasando el gasto máximo de diseño sobre el muro vertedor.

Toda la tubería se diseña para resistir la carga medida desde la línea del gradiente hidráulico para máxima demanda, hasta el centro de la tubería; su diámetro se diseña para que entregue el volumen de agua completo a los lotes.

Para limitar la presión en los sitios de entrega, con el objeto de permitir el uso de tubería de baja presión y para que las estructuras sean más accesibles y menos costosas, la altura de los vertedores se limita a 6.10 metros como máximo.

Este tipo de sistema se debe usar sólo cuando realmente se logre un proyecto adecuado disponiendo de bajas presiones.

#### **4.1.2.2.- Sistema Cerrado o de Alta Presión.**

El sistema cerrado o de alta presión, utiliza tubería para resistir carga media o alta dependiendo esto de la topografía y de la carga que se requiere en el punto de entrega.

Normalmente los sistemas de alta presión operan con una carga que corresponde a la elevación de la superficie del agua en la entrada a la red de distribución, o con carga creada por bombeo.

Toda la tubería se diseña para resistir las presiones debidas al nivel estático en la entrada, más una presión adicional por el golpe de ariete, que resulta de los cierres de las válvulas.

Los diámetros de la tubería se proporcionan para entregar la totalidad de las demandas calculadas para cada toma de lote durante los períodos de máxima demanda.

En general, el sistema cerrado es más fácil de operar y requiere menos operadores que el sistema abierto o de baja presión.

En un sistema de distribución por tuberías, bajo presiones adecuadas para riego por aspersión, es conveniente instalar válvulas reductoras de presión en las entregas a sublaterales cuando la presión en la línea en el punto de entrega excede  $7 \text{ kg/cm}^2$  bajo la carga máxima de operación.



### 4.1.2.3 Tipos de Tubería

A continuación se citan algunas características técnicas de tuberías de diversos materiales.  
**Tubo de concreto sin refuerzo.-** Marca TDYSA. Especificaciones Físicas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Oficial Mexicana (NOM -C9 1981). Tubos Reforzados y S/Refuerzo Dirección de Normas.

Diámetro Interno Nominal mm.	Tolerancia (+) del diám. Inferior todas clases	Clase I			Clase II			Clase III		
		Espesor mínimo de pared tubo mm.	Carga min. de ruptura		Espesor mínimo de pared tubo mm.	Carga min. De ruptura		Espesor mínimo de pared tubo mm.	Carga min. De ruptura	
			KN/m	Kgr/m		KN/m	Kgr/m		KN/m	Kgr/m
100	10	16	22	2240	19	29	2960	19	35	3570
150	10	16	22	2240	19	29	2960	22	35	3570
200	10	19	22	2240	22	29	2960	29	35	3570
250	10	22	23	2390	25	29	2960	32	35	3570
300	10	25	26.5	2700	35	33	3370	44	39	3880
380	15	32	29	2960	41	38	3880	47	42	4280
450	15	38	32	3260	50	44	4490	57	48	4900
600	20	54	38	3880	75	52.5	5350	94	64	6530
760	25	88	44	4490	107	63	6430	107	69.5	7090

Absorción máxima en %8.5

Norma Oficial Mexicana NOM C 20 1982. Requisitos físicos que deben satisfacer los Tubos de Concreto Reforzados de Resistencia Normal (Tipo I).

Pared "B" concreto F'c 280 kg/cm <sup>2</sup>			Resistencia a la compresión		
Diam. Interior del tubo en cm. Nominal "D"	Espesor de la pared en cms. Mínimo "e"	Refuerzo de acero en centímetros cuadrados por metro lineal		Método de los tres apoyos carga mínima en kg. Por metro lineal para producir	
		Línea interior	Línea exterior	Grieta de 0.25	Ruptura
30.00	5.10	1.48		1,465.00	2,200.00
38.00	5.70	1.48		1,825.00	2,790.00
45.00	6.30	1.48		2,200.00	3,295.00
60.00	7.60	1.48		2,930.00	4,470.00
76.00	8.90	2.96		3,710.00	5,565.00
91.00	10.20	2.54	1.90	4,445.00	6,665.00
107.00	11.40	3.17	2.54	5,225.00	7,835.00
122.00	12.70	3.81	2.96	5,960.00	8,955.00
152.00	15.20	5.29	4.02	7,420.00	11,130.00
183.00	17.80	7.40	5.50	8,935.00	13,400.00
213.00	20.30	9.73	7.10	10,400.00	15,800.00
244.00	22.90	12.06	9.10	11,915.00	17,870.00

Absorción máxima en 9%



**Tubo de concreto reforzado.** Excepto en donde resulte adecuado el tubo de concreto sin refuerzo de baja presión, se deba emplear tubo de concreto reforzado con empaques para resistir presiones hasta de 38 metros.

Diámetro interior		Refuerzo en $\text{cm}^2$ por metro lineal pared del tubo			Resistencia en $\text{kgs P/metro lineal de tubo}$	
Nominal	Real cms.	Espesor de la pared cm.	Concreto de $f'c$ 280 $\text{kg/cm}^2$		Método de los 3 apoyos	
			Refuerzo circular en tubos circulares		Carga que produce una grieta 0.25 mm.	Carga Máxima Kgs.
			Armado Ant. $\text{cm}^2$	Armado Ext. $\text{cm}^2$		
30.0	30.5	5.1	1.6	-	3,000.0	4,450.0
38.0	38.1	5.7	2.3	-	3,700.0	5,600.0
45.0	45.7	6.4	3.3	-	4,450.0	6,700.0
53.0	53.3	7.0	4.7	-	5,200.0	7,800.0
60.0	61.0	7.6	6.3	-	5,950.0	8,900.0
69.0	68.6	8.3	7.2	-	6,700.0	10,050.0
75.0	76.2	8.9	8.2	-	7,450.0	11,150.0
84.0	83.8	9.5	6.3	4.7	8,200.0	12,250.0
90.0	91.4	10.2	7.0	5.1	8,900.0	13,400.0
105.0	106.7	11.4	8.2	6.1	10,400.0	15,600.0
122.0	121.9	12.7	9.8	7.5	11,900.0	17,850.0
137.0	137.2	14.0	11.6	8.6	13,400.0	20,100.0
<b>Concreto de <math>f'c</math> 350 <math>\text{kg/cm}^2</math></b>						
150.0	152.4	15.2	13.7	12.1	14,850.0	22,300.0
168.0	167.6	16.5	1.5	18.4	16,350.0	24,500.0
183.0	182.9	17.8	16.1	14.0	17,850.0	26,750.0

### Otros tubos de concreto y de acero.

Cuando las cargas exceden la máxima permisible para tubo de presión de concreto, se usan normalmente tubos de concreto preesforzado, tubos pretensionados, tubos de acero, o tubos de cilindro de concreto especialmente diseñado para altas presiones.

### Tubo de Policloruro de Vinilo (P.V.C.).

#### Especificaciones Técnicas de la tubería de compuerta.

- 6 mts. de longitud útil por tramo de tubo.
- Presión de operación de la tubería con compuerta 1.50  $\text{kg/cm}^2$ .
- Número de compuertas y espaciamiento:
  - 8 compuertas x 0.75 mts.
  - 6 compuertas x 1.00 mts.



**Ventajas.**

- Sistema de acoplamiento y desacoplamiento rápido.
- Compuerta deslizante de fácil regulación.
- Facilidad de transporte.
- Resistente a los rayos solares.
- Alta resistencia al impacto.
- Significado ahorro de agua y energía.
- Amplia gama de accesorios y conexiones.
- Bajo costo de instalación y operación.

Espesores promedio-diámetros interiores promedio, Norma NMX E-143-1994 SCFI y constantes "K" para pérdidas de fricción de la tubería hidráulica de PVC serie métrica, fórmula de Manning (n = 0.0009).

Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Espesores promedio (e), Diámetros interiores promedio (d) (en mm) y constantes para pérdidas por fricción (k)											
		Clase 5			Clase 7			Clase 10			Clase 14		
		e	d	k	e	d	k	e	d	k	e	d	k
50	50							2.0	46.1	11167.48	2.6	44.9	12854.24
63	63				1.7	59.7	2812.96	2.4	58.3	3192.48	3.3	56.5	3773.72
80	80	1.7	76.8	734.12	2.2	75.8	787.27	3.1	74.0	894.94	4.1	72.0	1035.74
100	100	2.0	96.2	220.85	2.7	94.8	238.81	3.8	92.6	270.67	5.2	89.8	318.82
160	160	3.1	154.0	17.96	4.2	151.8	19.40	5.9	184.4	21.87	8.1	144.0	25.68
200	200	3.8	192.6	5.44	5.3	189.6	5.92	7.4	185.4	6.67	10.1	180.0	7.81
250	250	4.7	240.9	1.66	6.5	237.3	1.78	9.2	231.9	2.03	12.6	225.1	2.38
355	355	6.6	342.4	0.253	9.3	337.0	0.28	12.9	329.8	0.31	17.9	319.8	0.3645
450	450	8.4	433.9	0.007	11.7	427.3	0.077	16.4	417.9	0.08	22.6	405.5	0.1027
630	630	11.8	607.4	0.0120	16.3	598.4	0.0129	22.9	585.2	0.0145	31.6	568.7	0.017

Clase	5	7	10	14
Presión máxima de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	5	7	10	14

**Fórmula de Manning**

$$hf = KLQ^2 \qquad RD = \frac{D}{e_{min}} \qquad K = \frac{10.3n^2}{d^{16/3}}$$

hf = pérdidas por fricción en m.      RD "o" DR = Diámetro real del tubo.  
 L = longitud en m.  
 Q = gasto en m<sup>3</sup>/s.





Espesores promedio-diámetros interiores promedio, Norma NMX E-145-1994 SCFI y constantes "K" para pérdidas de fricción de la tubería hidráulica de PVC serie métrica, fórmula de Manning ( $n = 0.0009$ ).

Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)	Espesores promedio (e), Diámetros interiores promedio (d) (en mm) y constantes para pérdidas por fricción (k)												
		RD-41			RD-32.5			RD-26			RD-13.5			
		e	d	k	e	d	k	e	d	k	e	d	k	
13	21.3											1.9	17.5	1956549.0
19	26.7											2.3	22.1	563553.0
25	33.4							1.8	29.8	114430.0		2.8	27.8	165750.4
32	42.2							1.9	38.4	29597.8		3.4	35.4	45674.7
38	48.3				1.8	44.7	13163.9	2.2	43.9	14494.9		3.9	40.5	22280.9
50	60.3	1.8	56.7	3703.2	2.2	55.9	3994.8	2.6	55.1	4314.0	4.8	50.7	6724.3	
60	73.0	2.1	68.8	1319.9	2.5	68.0	1404.9	3.1	66.8	1544.8				
75	88.9	2.5	83.9	458.1	3.0	82.9	488.3	3.7	81.5	534.7				
100	114.3	3.1	108.1	118.5	3.8	106.7	127.1	4.7	104.9	139.1				
150	168.3	4.4	159.3	14.8	5.5	157.3	16.0	6.9	154.5	17.6				
200	219.1	5.6	207.9	3.62	7.1	204.9	3.9	8.9	201.3	4.3				

Los tubos se suministran de 6 metros; con extremos lisos si el sistema es cementar y con una campana en uno de sus extremos si el sistema de unión es espiga-campana.

RD	Presión máxima de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )
41	6.9
32.5	8.6
26	11.0
13.5	21.7

### Tuberías de polietileno.

A continuación se anotan algunas características proporcionados por el fabricante.

#### Ventajas

- Rapidez de instalación. Su presentación es en rollos de 150 mts. Hasta 2"  $\phi$  (10 mts. En diámetro mayores) y su exclusiva unión por termofusión permite instalar 4800 mts. De 2"  $\phi$  diarios por cuadrilla.
- Facilidad de manejo.
- Mantenimiento nulo.- Resistencia a todo tipo de corrosión y ataque de innumerables agentes químicos. Acabado espejo interior de  $n = 0.009$  "manning". 50 años de vida útil. 15 años de resistencia a la intemperie.
- Economía. Eliminación de conexiones para cambio de dirección en todos los diámetros. Perfiles de excavación 60% menores. Menor costo de instalación. No hay desperdicio. Seguridad. Márgenes mayores que P.V.C y A.C. Su resistencia mecánica le permite soportar todo tipo de golpes sin estrellarse. Su unión por termofusión es 100% hermética y más resistente que la misma tubería.



### Presiones de trabajo en la tubería

RD	Presión de trabajo (kg/cm)	Presión de reventamiento (kg/cm)
7.3	17.8	64.7
9.0	14	56.2
11.0	11.0	44.8
13.5	9.3	36.0
17.0	7.5	28.0
21.0	5.6	22.4
26.0	4.5	18.0
32.5	3.6	14.4
41.0	2.8	11.2

Nota: Estos valores están definidos a 23°C y con un factor de seguridad 4

### Presentaciones

Diámetro nominal	RD'S	Rollo std mts x rollo	Rollo sin carrete mts x rollo	Rollo con carrete mts x rollo
½"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	2,000
¾"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	2,000
1"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	2,000
1 ¼"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	1,500
1 ½"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	1,000
2"	9,11,13.5,15.5,17	150	400	500
2 ½"	9,11,13.5,15.5,17	100	400	400
3"	9,11,13.5,15.5,17	N.A	150	250
4"	9,11,13.5,15.5,17	N.A	150	220

Presentación	RD 7.3	RD 9.0	RD 11.0	RD 13.5	RD 15.5	RD 17	RD 21.0	RD 26	RD 32.5	RD 41.0
10 ml tramo							3"	3"	3"	3"
10 ml tramo							4"	4"	4"	4"
12 ml tramo	6"	6"	6"	6"	6"	6"	6"	6"	6"	6"
12 ml tramo	8"	8"	8"	8"	8"	8"	8"	8"	8"	8"
12 ml tramo	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"	10"
12 ml tramo	12"	12"	12"	12"	12"	12"	12"	12"	12"	12"
12 ml tramo	14"	14"	14"	14"	14"	14"	14"	14"	14"	14"
12 ml tramo	16"	16"	16"	16"	16"	16"	16"	16"	16"	16"
12 ml tramo	18"	18"	18"	18"	18"	18"	18"	18"	18"	18"
12 ml tramo	20"	20"	20"	20"	20"	20"	20"	20"	20"	20"
12 ml tramo	22"	22"	22"	22"	22"	22"	22"	22"	22"	22"
12 ml tramo	24"	24"	24"	24"	24"	24"	24"	24"	24"	24"
12 ml tramo						26"	26"	26"	26"	26"
12 ml tramo						28"	28"	28"	28"	28"
12 ml tramo						30"	30"	30"	30"	30"
12 ml tramo						31.5"	31.5"	31.5"	31.5"	31.5"
12 ml tramo						32"	32"	32"	32"	32"
12 ml tramo						34"	34"	34"	34"	34"
12 ml tramo						36"	36"	36"	36"	36"



**Descripción de las Estructuras.** Las estructuras más frecuentemente empleadas en un sistema de distribución a base de tubería abierta o de baja presión, se describen, a continuación:

**1) Toma Lateral con Rejilla.** Es una estructura que construida perpendicularmente a un canal abierto, sirve para derivar de éste un canal entubado.

**2) Caja de Conexión-Canal Revestido-Tubería.** Es una estructura que construida sobre la línea de un canal, sirve para cambiar el tipo de conducción, de canal abierto a tubería abierta o de baja presión. Un sistema de distribución a base de tubería, hidráulicamente se diseña de aguas abajo hacia aguas arriba, y cuando se llega a un punto en que no es práctico o económico considerar tubos de menor diámetro para elevar el gradiente hidráulico hacia aguas arriba, esto se hace construyendo un canal abierto.

**3) Caja Distribuidora con Toma Granja Doble y Vertedores para Aforos.** Estructura con cierta semejanza en cuanto a su función, a la represa de un canal abierto. Su construcción sobre la línea de la tubería se requiere en los sitios en que se ha de proporcionar riego a nivel de lote, o parcela según el tamaño de ésta.

**4) Pozo de Registro.** Estructura que debe preverse en un sistema de tubería abierta o de baja presión. Su finalidad es proporcionar acceso a las tuberías para realizar inspecciones o reparaciones en las mismas. Es recomendable construir estas estructuras en el espacio existente entre cajas distribuidoras.

**5) Caja de Conexión.- Tubería-Canal Revestido.** Estructura, construida sobre la línea de un canal, sirve para cambiar el tipo de conducción de tubería a canal abierto. Cuando por razones prácticas o económicas no se justifica continuar con un canal entubado, pero se requiere conducción por medio de un canal abierto aguas abajo, se hace entonces necesario construir una estructura de este tipo.

**6) Conexiones-Estructura-Tubería.** La máquina colocadora de concreto, no puede colar en sitio la tubería hasta su conexión con las estructuras. Este problema se resuelve empleando tubería precolada, previendo un método efectivo para hacer la conexión entre el tubo colado en sitio y el precolado. En la mayoría de las estructuras citadas anteriormente, puede notarse el uso de tubos precolados para estas conexiones.

#### **4.2.- Canal Principal.**

**Localización del canal principal.**-En la mayoría de los casos, se limita por su parte alta en el área de riego, por lo tanto es necesario localizarlo para determinar el área. Cuando la pendiente transversal del terreno en que se aloja el canal principal sea fuerte (más de 4%) no deberá seguirse lo indicado, sino que se dará preferencia a la seguridad del canal, pudiendo ir el tirante del agua enterrado (profundidad del corte =  $d$ ), así se consigue la carga necesaria de operación a una distancia máxima de 7.5 m. Este espacio se puede destinar a camino de servicio.



Si la pendiente transversal del canal es inferior al 4% la profundidad de corte puede regirse por la siguiente tabla:

Pendiente Transversal (%)	Profundidad de Corte (cm)
0	$d - 40$
1	$d - 35$
2	$d - 26$
3	$d - 16$
3.5	$d - 10$
4	$d - 5$

$d$  es el tirante normal en el canal principal, dado en cm.

En principio el canal se localiza en planos a escala 1:2,000 o 1:5,000 (según la magnitud del sitio), siguiendo una curva de nivel mediante curvimetro y buscando los puntos de intersección del espejo del agua con el perfil del terreno natural, con pendiente tal que la velocidad del canal sea aproximadamente de 1.0 m/seg y procurando que la relación  $b/d = 1$  (de acuerdo a esto, para concreto  $s = 0.00095d^{-4/3}$ , y para canales en tierra  $s = 0.00023 d^{-4/3}$ ).

En ocasiones, los terrenos de riego, quedan distantes, de la captación, el canal principal tiene en este caso, un tramo muerto que se localiza por una ruta que reporte mayor seguridad para el canal, recorrido mínimo y máxima economía.

Si la localización de este tramo muerto es una ladera; la cubeta del canal deberá quedar íntegramente enterrado en el terreno natural.

El canal principal se localiza teniendo como datos o fijando la elevación de la superficie libre del agua en un sitio de derivación opuesto y la elevación de los terrenos de riego en su inicio y en su parte más alejada; se determina el desnivel entre este sitio y el punto de derivación propuesto; se deduce un desarrollo aproximado del canal y se determina una pendiente media.

Con este dato y partiendo de la elevación de la superficie libre del agua propuesto se va localizando el eje del canal siguiendo una curva de nivel tomando en cuenta en forma aproximada, las pérdidas de carga que se presentan, tanto por pendiente como por cauces, con el drenaje natural, con depresiones o con vías de comunicación terrestre.

Para el control de la línea que se va dibujando, se va midiendo el cadenamamiento con un compás y se lleva un control de las elevaciones que puedan ser como el que se muestra a continuación.



CONTROL DE ELEVACIONES						
Estación	Distancia	S	$\Delta h$	Elevaciones		Notas
				Plantilla	S.L.A	

Las tangentes sobre los planos y que representan al eje del canal, se ligan por medio de curvas de un grado apropiado, cuyo valor máximo varia según el tipo de canal y localización, siendo su rango, los grados cuyo radio de 3 a 7 veces el ancho de la superficie libre del agua en el canal.

En canales sin revestimiento y en tierra, se toma el valor de 7 (siete) pudiendo llegar en canales revestidos a 5 (cinco), si el canal va enterrado conviene a 4 (cuatro) pero tampoco es conveniente acercarse al limite de 3 (tres).

Las curvas de liga se calculan y se lleva un registro como se indica a continuación:

CÁLCULO DE CURVAS									
Curva $N_0$	P.I	$\Delta$	G	R	S.T	L.C	P.C	P.T	TI

Se deberá localizar la parte final del canal de modo que pueda descargar a un arroyo, río o dren.

#### 4.3.- Localización de los canales del sistema de distribución.

La denominación que reciben los canales que integran el sistema de distribución es la siguiente:

- Canales laterales.
- Canales sub-laterales.
- Canales ramales.
- Canales sub-ramales.

Para la localización de los canales del sistema de distribución, hay 4 criterios generales a seguir, que son los siguientes:

- Según la topografía del terreno (terrenos con lomeríos).
- Según la cuadrícula (terrenos planos).
- Respetando los linderos que ya existen.
- Siguiendo un sistema combinado.



#### a) Localización siguiendo la topografía del terreno.

Este criterio es el más económico, pues los canales se localizan por los parte-aguas y van dominado ambos lados, por lo cual, la red de distribución resulta más corta que cualquier otro sistema, además se disminuye el número de estructuras al eliminar los cruces con el drenaje aprovechando la localización de este, se disminuye el área ocupada por canales, drenes y caminos, teniendo por lo tanto, un mayor aprovechamiento del terreno, tiene el inconveniente de que se traza en el campo es sumamente costosa y resultan lotes de forma irregulares.

#### b) Localización según la cuadrícula.

Consiste en ir siguiendo la cuadrícula con que se hizo el levantamiento topográfico de la zona regable o cualquier otra cuadrícula en la orientación o disposición. Se usan en terrenos vírgenes, de gran extensión, de topografía muy plana y de poca pendiente pues se facilita su trazo en el campo, se obtienen lotes de formas regulares, facilitan los trabajos de deslinde y presenta ventajas en la operación y conservación del sistema de riego.

Tiene el inconveniente de que en general, la red de distribución, resulta muy larga o más que cuando se sigue la topografía, se riega únicamente para un lado, por lo que aumentará el número de tomas y estructuras adicionales además se requiere la construcción alternada de un dren y un canal de riego para desalojar los sobrantes de agua, así que por este concepto, también son necesarias otras estructuras para cruzar los drenes.

La pendiente máxima del terreno en este sistema, no debe de ser mayor de 2 m. por km.  
 $S < 0.002$ .

#### c) Localización respetando los linderos.

En algunas ocasiones cuando ya existen linderos de propiedades bien definidas en el campo es necesario localizar los canales siguiendo precisamente estos linderos hasta donde las condiciones topográficas lo permitan.

Pues se originarían grandes trastornos en el régimen de la propiedad en el caso de invadir o a partir de propiedades existentes aumentando con esto el costo de las afectaciones. El costo de construcción, de operación y de conservación es muy variable dependiendo principalmente de la extensión y forma de las propiedades existentes.

#### d) Localización según un sistema combinado.

En el sistema combinado la localización de los canales se va adaptando en algunas ocasiones a la topografía del terreno, en otros lugares de la zona de riego se sirve la cuadrícula y cuando se tienen lotes de propiedad privada se hacen los quiebres necesarios para respetar los linderos si lo permite la topografía, este sistema es el más conveniente.



Localizados los canales del sistema de distribución se deberán trazar las curvas horizontales y cadenamiento de cada canal.

### **Lotificación y localización de las tomas de lote.**

La finalidad fundamental que se persigue al subdividir en lotes un sistema de riego en proyecto, es la de precisar en los planos y en el campo, la ubicación de estas porciones de tierra que deben ser servidas con una toma de lote, su ubicación, número, área tributaria de cada canal y otros datos adicionales que determinan los gastos máximos que deben manejarse en los canales y sus respectivas tomas, estudio de las demandas y la correcta distribución del agua por el personal que se encarga de su manejo.

Además servirán para complementar el proyecto de las redes de distribución y drenaje, y definir en detalle los caminos de enlace y por un dren secundario o mayor que deberán conectarse con el camino o la carretera más próxima de la red de caminos.

Para determinar el número de hectáreas que deben de constituir al lote y que deben ser regadas por una toma, se debe considerar: el régimen de la propiedad, así por ejemplo, para un régimen de propiedad de 2 hectáreas por ejidatario, cada toma regará como máximo 20 has. y cuando se tengan 10 ó más has. como propiedad por agricultor, la toma regará entre 50 y 60 has.

La toma de lote deberá localizarse en un punto tal que pueda dominar toda el área del mismo, procurando además que la toma, no este a una distancia máxima de 1 km. al punto más alejado del lote. Todo lote deberá tener acceso a un canal, a un dren y a un camino de servicio.

En un sistema de riego y desde el punto de vista del proyecto de lotificación, el proyectista necesita tomar en cuenta las diversas modalidades que presenta la superficie de un lote.

Como criterio general, se acepta, que toda tierra dominada físicamente por un canal y que no pueda o deba recibir agua de riego, tiene que ser omitida como superficie regable del sistema.

La superficie del lote se divide en: Superficie Bruta o Superficie Neta.

**Superficie Bruta.**- Es la superficie total comprendida dentro de los límites del lote.

**Superficie Neta.**- La superficie neta de un lote será igual a la superficie bruta, menos la superficie correspondientes a derechos de vía, superficies ocupadas por construcciones, promontorios, canales, drenes, caminos y otras zonas elevadas que no pueden regarse.

El valor medio asignado a la superficie neta esta comprendida entre el 85% y el 95 % de la superficie bruta. El dato del valor de la superficie neta será la base para el estudio hidráulico de la red de canales y sus estructuras, así como para determinar la disponibilidad del agua en la fuente de abastecimiento del sistema de riego que se proyecta.



**Obtención de las áreas de los lotes.**

Se procede a obtener el área de cada lote, con planimetro o con cualquier otro método gráfico.- La medición se hace de los límites del lote, dejando fuera los terrenos de mala calidad, los que se denominan y los que se ocupan con centros de población.

**Afine del proyecto.**

Una vez elegidas las rutas de los canales sobre los planos a escala 1:20,000, se efectuará el proyecto del trazo definitivo sobre las hojas de plancheta 1:5,000 afinando la localización, fijando sobre las hojas las deflexiones de cada vértice, radios de curvatura, longitud de las tangentes y de las curvas, además se referirán los vértices a los monumentos de la cuadrícula, para situarlos en el campo.

Finalmente el trazo proyectado sobre las hojas de plancheta se marcan materialmente en el terreno estancando a cada 20 mts. y se nivela la línea trazada para obtener el perfil del canal.

A lo largo de la línea que se escoja como definitiva, se abrirán pozos para conocer las condiciones geológicas del terreno por lo respecta a la estabilidad de las laderas y taludes de excavación, así como para tener una clasificación aproximada de los materiales y poder formular los presupuestos. Estos pozos deberán hacerse a cada 500 mts. en los canales de la zona de riego y a cada 200 mts. en el canal principal.

Es muy importante tener en cuenta las condiciones geológicas para estar seguros de proyectar los taludes más convenientes que deben tener los canales. En algunas ocasiones, se ve la necesidad de desechar algunas rutas, ya sea porque el terreno tiene una consistencia que amenace derrumbes; en el propio canal en las laderas, o por el costo excesivo de las obras de protección.

Como resultado del afine del proyecto, se modifican los kilometrajes de algunos canales, así como las áreas de algunos lotes por lo que deberán hacerse las correcciones necesarias.

**Obtención de la tablas de áreas y capacidades del canal principal**

Con los datos de áreas determinadas, se procede a llevar la tabla denominada de áreas y capacidades que pueden ser como la que se muestra a continuación.

Datos para la gráfica de áreas y capacidades												
Toma	Km	No Lotes	Áreas		Áreas Por regar	Coeficiente unitario de riego	Capacidad		Datos del canal			
			Brutas	Netas			Neces.	Adopt.	V	S	S.T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	





La tabla anterior consta, de doce columnas, las cuales se describen a continuación.

Columna 1. Se anota la estructura de toma en el orden del desarrollo del canal.

Columna 2. Se anota la estación correspondiente a esa estructura.

Columna 3. Se anota el número de lotes que sirve es toma o lateral.

Columna 4. Se anota el área obtenida para esa toma o lateral.

Columna 5. El área anotada en la columna anterior, se multiplica por un factor de reducción que tome en cuenta el área ocupada por canales, drenes, caminos.

Columna 6. Con los datos de las áreas netas acumuladas a partir de la última toma hacia aguas arriba se llena la columna de áreas por regar, apareciendo en el primer renglón el área total que riega el canal.

Columna 7. Haciendo uso de la tabla de coeficientes unitarios de riego y con el área de la columna anterior. Se determina el coeficiente de riego y se anota en la columna.

Columna 8. Se multiplica la columna 6 por la columna 7 y se obtiene el gasto necesario de riego.

Las columnas restantes se llevan a cabo después de que se diseñan los canales.

#### **Dibujo de la gráfica de áreas y capacidades de los canales.**

Con los datos de las columnas 2,6 y 7 de la tabla anterior, se procede a dibujar la representación gráfica de estos conceptos.

Sobre un eje horizontal, se marcan los kilometrajes del canal a una escala conveniente sobre un eje vertical, se marcan a una escala apropiada, las capacidades de los canales en  $m^3/seg$ , con tamaño máximo la capacidad total del canal y en el extremo final del kilometraje del canal se levanta otro eje sobre el que se marcan las áreas dominantes con altura máxima del área total.

Sobre este sistema rectangular de ejes se llevan pares de valores de estación y capacidad necesarias, los cuales forman una gráfica escalonada de capacidades necesarias hasta cada estación donde se encuentra una toma de canal.

El mismo procedimiento se emplea para dibujar la curva de áreas, como las variaciones en la capacidad del canal pueden ser muy pequeñas de tal forma que no se ameritan cambios, se adoptan capacidades por tramos.

#### **4.4.- Ramales.**

Los ramales son aquellos canales de la red de distribución de una zona de riego, que son abastecidos por un canal lateral y que a su vez abastecen a las regaderas. La localización de estos tendrán condiciones idénticas a los laterales.

Los canales laterales y ramales tienen bocatomas para el riego directo de los lotes; en zonas de riego, también el canal principal las tiene.



La capacidad de los canales y ramales se determinan de acuerdo con la superficie dominada haciendo uso de la gráfica que se encuentra en la pág. 82 de la referencia núm. 3. Para condiciones normales; para situaciones diferentes será necesario hacer un estudio especial.

**Dimensiones.** Una vez conocida la superficie que va servir el canal lateral, o ramal así como el perfil del terreno para conocer la pendiente que debe tener, se diseña la sección, si se cuenta con tablas de secciones tipo, se escoge la que más se aproxima al gasto del canal y corresponda a esa pendiente.

En caso que ninguna de las secciones tipo del gasto sea preciso, debe elegirse la sección con el gasto inmediato superior. Se tendrá cuidado de que las velocidades queden entre 0.4 y 1 m /seg para que no produzcan depósitos de materiales en suspensión, ni tampoco erosiones que ocasionen la destrucción de la sección del canal.

Los pasos a desarrollar son los siguientes:

Dibujar los perfiles del terreno de todos los canales a una escala conveniente pudiendo ser esta 1:100 la vertical (elevaciones) y 1:2000 la horizontal (estaciones). Sobre el perfil de cada canal se localizan las estructuras con que cuenta cada uno tales como tomas, sifones, alcantarillas, puentes.

Las tomas serán los puntos de control a las que se deberá determinar la elevación de la superficie libre del agua necesaria para que denomine toda el área de riego para los cuales se les proyecto. Se debe determinar primeramente la carga hidráulica en las tomas de lote y posteriormente la de los ramales, sub-ramales, laterales, sub-laterales.

Extensión media del lote, una toma en el canal alimentador provista de una compuerta de servicio que se designa como "Toma de lote", y que deberá tener la capacidad suficiente para servir al lote; varias tomas situadas aguas abajo y cercanas al anterior denominadas "Tomas de riego" que tendrán la capacidad suficiente en función al área denominada. Los dispositivos medidores, estarán incorporados a los temas de riego o se instalarán aguas abajo de estas.

La carga hidráulica en la "Toma de lote" que el proyectista debe asegurar, será la que resulte de los cinco pasos indicados a continuación.

1.- En cada lote, el proyectista determinará la elevación del terreno por regar en el punto o zona más crítica que por lo general son los más alejados de las tomas; a esa elevación, se les agregan 15 cm. para obtener la carga hidráulica mínima de riego en esa zona crítica.

2.- Se considera una pendiente hidráulica adecuada para la regadera en el punto crítico y la salida de las tomas de riego ésta, multiplicada por la longitud estimada de la regadera hasta la toma; más los 15 cm.



Para la distancia vertical, por agregar a la elevación del terreno en la zona crítica, para obtener la elevación que debe tener el nivel del agua al pie de las tomas de riego.

3.- A la elevación del agua encontrada al pie de la "Toma de riego" se agrega la diferencia del nivel adecuado ( $h_c + h_m$ ) para tomar en cuenta todas las pérdidas de carga en la misma y del dispositivo de medición que se adopte, esto dará la elevación mínima del agua de las zonas de riego.

4.- Generalmente hay una cierta distancia entre "Toma de lote" y las de riego se determinarán la carga necesaria ( $h_f$ ) para vencer la pérdida por fricción del agua entre ambas tomas y esta se agrega a la elevación del agua obtenida en el paso 3.

5.- La elevación del agua en el canal alimentador frente a la estructura de la "Toma de lote", se obtiene agregando a la elevación del agua que se hubiere determinado al finalizar el cuarto paso, la pérdida de carga, para la toma del lote ( $h_f$ ).

Lo anterior es correcto si la pendiente hidráulica en la regadera dentro del lote ( $s_h$ ) es mayor que la del terreno.

Siguiendo este procedimiento será posible definir las rasantes de los canales de riego, siendo conveniente efectuar anticipadamente la planeación del sistema de regaderas que podrá ser constituido posteriormente por los usuarios bajo la Dirección del Distrito de Riego, con objeto de regar la superficie de cada lote en forma correcta.

Como es muy difícil de determinar la elevación necesaria de la superficie libre del agua para cada rama del lote como regla general, se recomienda que la superficie libre se considere de 40 a 60 cm. arriba del terreno natural.

Determinada la carga hidráulica mínima sobre el terreno en las tomas de lote se procede al diseño de los canales partiendo de la subdivisión (sub-ramales) hasta los canales laterales y determinar con esta la elevación de la superficie mínima del agua en el canal principal.

Los pasos a seguir son los siguientes:

Sobre los perfiles de los canales se dibuja la superficie libre del agua necesaria determinada con anterioridad, en cada toma de lote, se une esta superficie del agua entre tomas y se determina una pendiente hidráulica media. Con esta pendiente y con el gasto adoptado por tramos, se entra a la secciones de canales y se determinan las dimensiones del mismo en cada tramo.

Determinadas las secciones del canal en sus diversos tramos, se resta el tirante del mismo a la elevación de la superficie libre del agua y se obtiene la rasante del canal.

Se debe tomar en cuenta además, las pérdidas de carga, originadas por la necesidad de construir estructuras de cruce, tales como sifones, alcantarillas, puentes, puentes canal.



Siguiendo con este procedimiento, se determinará la elevación de la rasante y la superficie libre del agua en el inicio del canal, a esta se le suma la pérdida de carga originada en la obra de toma del canal alimentador y se determina el nivel de operación que debe tener la superficie libre del agua en el mismo.

Este nivel de operación debe de incrementarse para tomar en cuenta las variaciones que pueda sufrir la superficie libre del agua en el canal alimentador, por lo que después de diseñado éste, debe checar que el nivel de operación se encuentre abajo del siguiente límite:

d (cm)	h (cm)
Hasta 50	(d-15)
de 50 a 200	de (d-15) a (d-30)
Mayor de 200	0.85d

d = tirante del canal

h = altura de la rasante de la escala al nivel de operación

Esta condición se debe cumplir para el diseño de las tomas laterales, sub-laterales, ramales y sub-ramales.

En el diseño de los canales se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a).- La velocidad mínima para que no haya depósitos de azolves en suspensión será de 0.4 m/seg para canales revestidos.
- b).- La velocidad máxima dependerá del tipo de suelo en que quede alojado el canal. Esta velocidades máximas se indicarán cuando se estudien cada caso: se podrá admitir un incremento de la velocidad máxima de un 25% cuando el canal trabaje a su capacidad máxima, pero en ningún caso la velocidad máxima, deberá ser mayor del 80% de la velocidad crítica.
- c).- Se admitirán velocidades mayores que la crítica únicamente en las rápidas debiéndose tener el cuidado de darle al canal una protección adecuada para evitar que se erosione.

La velocidad en las rápidas deberá ser cuando menos 1.2 veces la velocidad crítica.

$$V_{\text{rápidas}} \geq 1.2V_c$$

d).- En los 100 metros inmediatos aguas arriba de las “represas- toma”, las velocidades no deberán ser mayores de 1.50 m/seg, para garantizar una correcta operación de los tomas y lograr una medición suficientemente aproximada de los gastos proporcionados por la toma.



Debe entenderse que esta velocidad máxima de 1.5 m/seg. será en la proximidad de las tomas y no necesariamente será esta velocidad en la conducción. La disminución de la velocidad se puede lograr ampliando la plantilla y disminuyendo la pendiente del canal en un distancia igual a "GT", aguas arriba de la represa.

Donde "T" será la superficie libre del agua en la sección ampliada.

Cuando la pendiente longitudinal del terreno es superior a la máxima adoptada para el canal, se hace necesario proyectar rápidas y estructuras de caída para absorber el desnivel excedente.

Adoptada la sección tipo para cada tramo del canal, se tienen sus gastos adoptados correspondientes, los cuales se anotan en la columna respectiva de la tabla de áreas y capacidades y en las gráficas correspondientes.

Se siguen estos pasos en todos los canales subsecuentes hasta llegar a determinar la elevación de la superficie del agua en el canal principal.

### **Diseño del Canal Principal.**

Determinado el punto anterior, se tienen los niveles de operación de la superficie libre del agua necesarias para alimentar a cada lateral, se siguen los mismos pasos para el diseño de los canales de la zona de riego.

Deberá procurarse ante todo la seguridad del canal, para lo cual, todo el tirante del agua deberá ir enterrado en terreno firme, debiéndose dejar una banquetta de anchura mínima de 3.0 m. del lado bajo de la ladera.

Esta banquetta deberá quedar alojada en material firme que no haya sido aflojado por los explosivos y deberá estar en una elevación de 1.00 m. como mínimo arriba de la superficie del agua para tirante normal.

Cuando tenga cortes mayores de 8.00 m. hasta unos 12 o 15 m. deberá de construirse una banquetta a cada 6.00 m. de altura con un ancho de mínimo de 4.00 m.

Cuando el canal se localiza en laderas muy empinadas que exceden de  $45^\circ$  de inclinación o que haya cortes de más de 15.00 m. de altura deberá hacerse un estudio cuidadoso acerca de las posibilidades de cambiar el trazo de cielo abierto, por túnel.

En el estudio que se haga, deberá tenerse en cuenta además de la economía que se puede obtener por menor volumen de excavación, la circunstancia de que al quedar localizado el canal en túnel, hay la posibilidad de disminuir la longitud del conducto al suprimir las curvas y la posibilidad también de evitar estructuras importantes, como sifones, puentes, pasos superiores y entrada de agua.



Para gastos pequeños, el diámetro de la sección queda limitado por el equipo y método de construcción en términos generales puede llegar a 2.40 m. para excavaciones hechas con equipo mecánico y a 1.80 m. para las hechas a mano.

El techo necesario para cambiar la sección de cielo abierto a túnel, varía de 10 m. a 20 m. y es función de las dimensiones de la sección y tipo de terreno. Deberá hacerse una banquetta de 3 m. como mínimo del lado en que sube la ladera.

**4.5.- Regaderas.**

Las regaderas son las últimas ramificaciones de la red de distribución que permite aplicar el agua al surco o melga, y su construcción corresponde a las labores agrícolas, debiendo prever las tomas necesarias para su alimentación.

No teniendo estudios que muestren lo contrario para los proyectos de zonas de riego, en el riego por surcos se respetarán las longitudes máximas específicas en el cuadro IV.5.2 en el cual se recomiendan para el trazo, determinadas longitudes para diversas pendientes de surco y textura en suelos, sin excederse en ningún caso de 200 m.

Para el caso de riego por melgas, se recomienda respetar las longitudes máximas especificadas en el cuadro IV.5.1 la cual se recomiendan para el trazo, determinadas las longitudes para diversas pendientes de melga y texturas; además de considerar anchos que oscilen entre 10 y 15 m. haciendo múltiplo del ancho del equipo agrícola utilizando pendientes transversales menores de 2% para facilitar la aplicación del riego. En ningún caso es recomendable excederse de una longitud de melga de 15 m.

Suelos	Melgas	
	Rango de pendientes en %	Longitud
<b>Medios:</b>		
Migajón arcilloso - limoso	0.00 a 0.25	125 a 150
Migajón arcilloso - arenoso	0.25 a 0.50	150 a 175
Arcilloso - limoso	0.50 a 0.70	200
Arcilloso - arenoso	0.70 a 1.00	250
Francos	0.50 a 0.75	100
	1.00 a 1.30	300
Ligeros	0.75 a 1.00	125
	1.00 a 1.50	150

Cuadro IV.5.1 Longitudes en melgas, de acuerdo a suelos y pendientes (longitud en metros)

La aplicación del agua a nivel del surco y melga se recomienda se haga por medio de sifones para evitar la destrucción de la regadera.



Las longitudes máximas de regaderas, para las diversas texturas, deberán ser ( según recomendaciones de la C.N.A.) en:

Suelos ligeros                    200 m.  
 Suelos medianos                400 m.  
 Suelos pesados                 600 m.

Textura	Arcilla				Migajones				Arenas			
	7.5	15	22.5	30	5	10	15	20	5	5.75	10	12.5
Lámina media pendiente aplicada en cm. %												
.05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
.10	340	440	470	400	180	340	440	470	90	120	190	220
.20	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
.30	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
.50	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
1.00	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
1.50	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
2.00	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190

Cuadro IV.5.2 Longitudes máximas recomendables para el riego en surcos ( longitud en metros)

Las regaderas serán de construcción temporal y deberán ser sin revestir excepto cuando se justifique lo contrario. La altura del agua en la regadera, deberá ser como mínimo de 15 cm. sobre el punto más alto de la tabla por regar y máximo de 20 cm.

Las tomas generales que alimenten a las regaderas se diseñaran para gastos comprendidos entre 50 l.p.s. como mínimo y 100 l.p.s. como máximo por toma para superficies hasta de 24 ha. o bien para el caudal total de la fuente de abastecimiento (pozo, manantial, etc.), siempre y cuando no exceda a 100 l.p.s.

Los taludes, bordos libres, coronas, velocidades permisibles, velocidades máximas, de las regaderas construidas en tierras o revestidas, se tomarán de acuerdo a las recomendaciones proporcionadas posteriormente según corresponda.

La aplicación del riego siempre será efectuado con represas móviles (pantallas). Por lo que deberá preverse la dotación necesaria de las mismas. Así mismo, se tomará en cuenta el bordo libre necesario, considerando el cimacio provocado por las pantallas.



#### 4.6.- Drenes.

El drenaje superficial tiene como finalidad la evacuación de los excesos de agua, ocasionados por lluvia, excesos de riego, filtraciones de canales o presas que escurren por la superficie de los terrenos. Los beneficios del drenaje para la agricultura pueden apreciarse cuando a consecuencia de él, un terreno se convierte productivo. Un drenaje adecuado mejora la estructura del suelo, aumenta y hace permanente su productividad. El drenaje es el elemento más importante del saneamiento de los suelos alcalinos saturados de agua, los beneficios que acarrea el construir una red de drenaje eficiente son:

##### Ventajas del drenaje.

- 1) El drenaje airea el suelo, es decir, permite al aire penetrar en el suelo y circular por el libremente, y lo transforma en un medio accesible a las acciones atmosféricas.
- 2) El drenaje modifica la constitución física de las tierras. El drenaje no tarda en reformar los suelos de una manera completa. Su aireación favorece la penetración de la raíces, que entran más profundamente en la tierra, se descomponen y dejan vacíos.
- 3) El drenaje favorece la nitrificación y por consiguiente, la descomposición y la utilización de estiércoles azoados.
- 4) El drenaje permite que las tierras arcillosas resistan mejor la sequía, porque favorece el almacenamiento de agua en el suelo, en función a su capacidad de retención y también en ciertos casos, cuando la permeabilidad aumenta por una condensación interna es más intensa.
- 5) El drenaje asegura una penetración más profunda de las raíces en el suelo.
- 6) El drenaje calienta al suelo. La vegetación despierta más temprano, las plantas se desarrollan mejor y más rápidamente las recolecciones se pueden hacer más temprano.
- 7) El drenaje facilita el cultivo del suelo, disminuyendo la resistencia que ofrece una tierra húmeda al trabajo de los arados y de las máquinas.
- 8) El drenaje hace desaparecer las malas plantas cultivadas.

##### Para el diseño de un canal abierto de drenaje se debe de tener en cuenta:

- a) Una velocidad de escurrimientos con un valor tal que no se produzcan, serios deslaves, ni azolves.
- b) Suficiente capacidad para conducir el escurrimiento de diseño.
- c) Profundidad adecuada para drenar la tierra.
- d) Taludes estables que no sufran socavaciones o deslizamientos hacia el interior del canal.





#### 4.6.1. Sistema de drenaje básico o primario.

Este sistema está constituido por drenes naturales y artificiales a cielo abierto que tienen como objetivos principales:

- Eliminación de los excesos de agua superficial, ocasionados por la lluvia, riego y desfuegos de canales.
- Mantener el nivel freático fuera de la zona radicular en la agricultura.
- Evitar el ensalitramiento de los suelos.
- Rescatar zonas bajas de inundación para utilizarlas en la agricultura.
- Permitir el desalojo de los escurrimientos de cuencas externas que lleguen a las áreas de riego.
- Servir de apoyo para la descarga de la red de drenaje parcelario.

Se puede decir que el área de influencia o tributario de cada uno de estos drenes es superior a 100 ha. la inversión es considerable dado el costo que representa en la construcción completa de este sistema de drenaje ya que su requerimiento en zonas de nueva apertura al uso agrícola va siendo progresivo, en nuestro país se construye en dos etapas.

En la primera se construyen en una red poco densa que garantice el desalojo de los excedentes de agua superficial y se difiere para una segunda etapa de drenes complementarios para resolver los problemas de elevación de manto freático y ensalitramiento que se presenten en años después de la implementación.

#### 4.6.2 Sistema de drenaje parcelario.

Este sistema está constituido por drenes enterrados o cubiertos que tienen como principal objetivo el abatimiento de los niveles freáticos y evitar el ensalitramiento de los suelos.

El área de influencia o tributaria de los drenes que constituyen estos sistemas es menor de 100 ha. su construcción se difiere para años después de la apertura de la zona de riego, en nuestro país su construcción corre por cuenta del usuario de la parcela con la asesoría técnica para el diseño y la construcción que proporciona la C.N.A.

El costo de este sistema de drenaje resulta elevado, por lo que es necesario realizar estudios de costeabilidad para decidir su construcción.

#### 4.6.3 Tipos de Drenes.

Los drenes pueden clasificarse por su construcción, por su funcionamiento y por su disposición en planta.



### **Por su Construcción.**

Drenes abiertos (zanjas con taludes de 1.5 a 1 ó 2 a 1.).

### **Por su Funcionamiento pueden ser.**

- A) Drenes de flujo horizontal.
- B) Drenes de bombeo de acción vertical.

#### **A) Drenes de Flujo Horizontal.**

Se clasifican en: interceptores o perfectos: Cuando se coloca perpendicularmente a las líneas de corriente y descansan sobre un estrato impermeable.

De alivio o suspendidos: Cuando se colocan arriba de un estrato impermeable.

#### **B) Drenes de Bombeo.**

Pozos profundos o pozos someros para eliminar la recarga.

Según la disposición en planta se clasifican en:

- a) Drenaje libre (al azar).
- b) Espina de pescado.
- c) Paralelos o emparrillados (a  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ ).
- d) Doble Principal.

El drenaje libre (al azar) no se sujeta a una localización geométrica rígida, es el que más se usa especialmente en drenes abiertos; generalmente lo único que gobierna su trazo en el terreno es el estudio topográfico y los linderos de las parcelas, los demás tipos de disposición se usan más frecuentemente cerrados y en su trazo influye fuertemente el estudio del nivel freático.



En las siguientes figuras se muestran lo tipos de drenaje antes mencionados

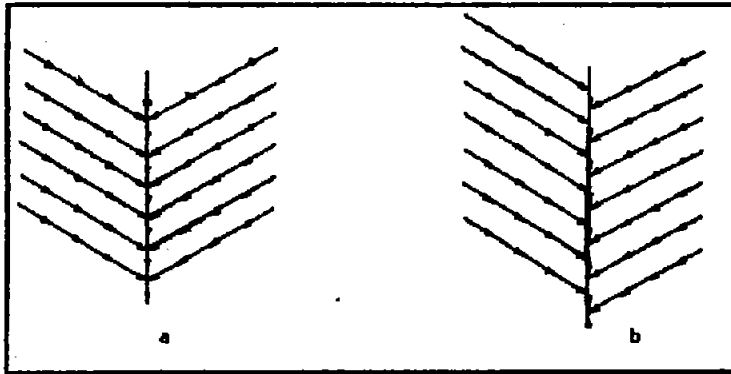


Figura 4.6.3.1 a.- Espina de pescado b.- Espigado

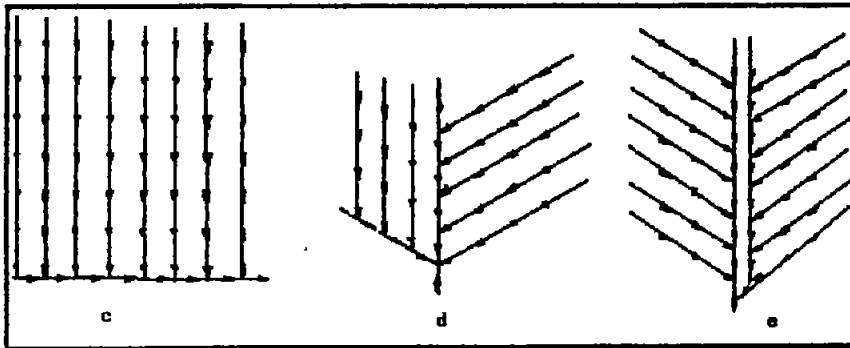


Figura 4.6.3.2 c y d.- Paralelo o emparrillado e.- Doble principal

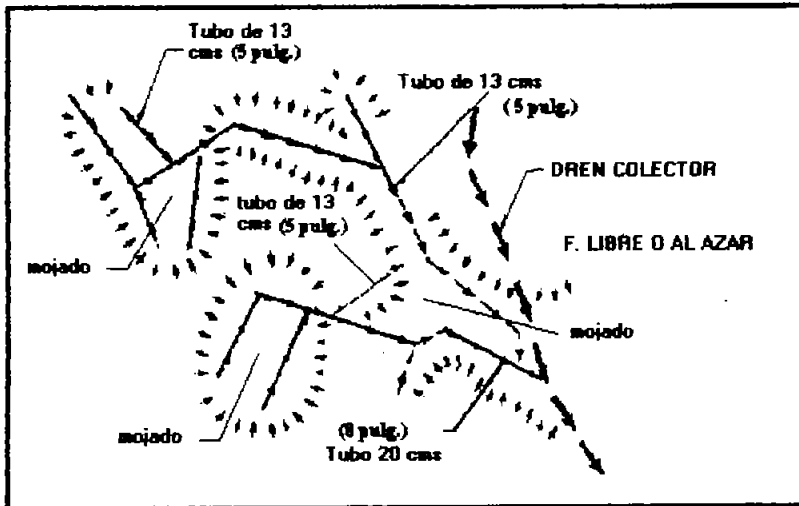


Figura 4.6.3.3 Disposición en planta de drenes parcelarios

#### 4.6.4 Función de los Drenes.

La nomenclatura que se emplea para los aspectos técnicos del drenaje, se basa en la función del dren. Existen cuatro tipos de drenes: de alivio (o aliviador), de intercepción (o interceptor), colector y emisor.

**Los drenes o pozos de drenaje, de alivio y de intersección,** son obras cuya función principal es la de controlar los niveles del agua subterránea. Constituyen las cabeceras, o sea la porción de aguas arriba del sistema de drenaje de un terreno, y la distinción entre ellos se basa en la condición de la masa de agua subterránea que controlan. Hablando en general, los drenes de alivio se usan para efectuar un descenso general del agua subterránea en áreas planas relativamente grandes, que están casi a nivel y en donde el origen de dicha agua, es la percolación de la precipitación pluvial o del riego, y en donde los gradientes tanto del agua freática, como de los estratos subsuperficiales, permiten poco movimiento lateral del agua subterránea.

**Los drenes interceptores,** como su nombre lo indica, se usan para interrumpir o interceptar el agua subterránea de cualquier origen, que se mueve cuesta abajo. Pueden ser de construcción abierta o cubierta. Cuando son de tipo abierto, se pueden diseñar para que reciban el desperdicio superficial del agua de riego y el escurrimiento superficial de los campos adyacentes. Cuando reciben una aportación importante del escurrimiento superficial o de la corriente de drenes superficiales, se deben considerar entonces en la categoría de drenes colectores.



**Los drenes colectores** reciben el agua de los drenes subsuperficiales de alivio o de los interceptores y de los drenes superficiales que conducen el desperdicio del agua de riego superficial y el escurrimiento pluvial. Como deben controlar el agua subterránea y también deben recibir el escurrimiento de los drenes subsuperficiales tributarios, se deben diseñar de modo que el nivel de la superficie normal del agua quede a una profundidad igual o mayor de la que proporcione un drenaje efectivo para las áreas adyacentes o tributarias. Pueden ser abiertos o cubiertos, lo que depende del volumen de agua que tienen que manejar, del gradiente disponible y de que los tributarios sean abiertos, o cubiertos.

**Los drenes de salida, o drenes emisores**, tienen como función principal conducir el agua de los otros drenes hasta un punto adecuado para su eliminación natural. Reciben el caudal principalmente de los drenes colectores y de los desagües de los canales. Por lo tanto, son drenes "terminales", es decir, son los drenes más bajos que se construyen en el sistema y por lo tanto han sido designados como drenes "principales".

Su función es similar a la de los drenes colectores, excepto que cuando no se requieren que sirvan como drenes subsuperficiales para conservar el nivel del agua subterránea en las elevaciones prescritas. Pueden formar parte de un sistema de drenaje superficial o subsuperficial, y pueden ser abiertos o cubiertos, pero debido a los caudales relativamente grandes que tienen que manejar, son generalmente de tipo abierto.

**Pozos de alivio, de recarga, o de bombeo.**- Estos tipos especiales de drenes se pueden usar para eliminar el agua superficial, para controlar los niveles del agua subterránea, o para aliviar las presiones piezométricas cuando las condiciones físicas locales favorecen su uso.

Para pequeñas zonas de riego el diseño de drenes colectores se puede sintetizar en el procedimiento siguiente:

- a) Determinación del gasto de diseño y de la sección transversal.
- b) Localización de los drenes.

**a) Determinación del gasto de diseño y de la sección transversal.**

Por las características particulares de las zonas de riego, el gasto de diseño en drenes colectores, está determinado por los escurrimientos superficiales máximos que se originan por las tormentas que se abaten en la zona por regar y las colindantes que aportan escurrimientos a esta.

La avenida máxima se puede determinar por métodos empíricos, entre los cuales están: Envoltentes de los gastos máximos de la República Mexicana, método racional o el método de Gregory y Arnold.



La Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), sintetiza el siguiente método en resolver esta ecuación:

$$Q = q \times A$$

En la que:

Q = gasto de diseño en l.p.s.

q = Gastos o coeficiente unitario de drenaje.

A = Superficie por drenar en ha.

Donde:

$$q = \frac{P_M \times C_E}{tD} \times F_c$$

Siendo:

$P_M$  = Precipitación máxima en 24 hrs. en la estación climatológica considerada, en mm.

$C_E$  = Coeficiente de escurrimiento global, adimensional.

$tD$  = Tiempo de desague en horas.

$F_c$  = Factor de conversión =  $2.778 \frac{l.f.h.s}{mm.seg.ha}$

Precipitación máxima en 24 hrs. ( $P_M$ ). Para obtener la precipitación máxima, se requiere de los datos de una o varias estaciones climatológicas, de preferencia las más cercanas a la zona de consideración, para poder cuantificar con mayor exactitud la precipitación de ese lugar. Debido a la escasez de estaciones climatológicas en nuestro país, resulta casi imposible encontrar más de una que sea representativa de la zona que será estudiada.

Los datos que se requieren para diseñar el drenaje son las lluvias máximas registradas en 24 hrs. ya que así se podrá cuantificar el volumen máximo llovido en ese tiempo, para ese lugar.

**Tiempo de desagüe.** Este tiempo es el que debe fijar el proyectista para drenar la zona inundada ( puede variar hasta un máximo de 72 hrs.). Los criterios a seguir para fijar el tiempo de desagüe dependerán de los siguientes factores: cultivos considerados, cuantificación de las posibles pérdidas y tipos de suelos.



**Capacidad de absorción del suelo y altura del nivel freático.** Se deberán estudiar estos dos aspectos para conocer la cantidad del agua llovida la que podrá ser retenida por el suelo (capacidad de campo). También se debe estudiar el tipo y cantidad de vegetación existente en el lugar y las corrientes subterráneas que pueden aflorar en la zona para así obtener un coeficiente de escurrimiento global que afecte al gasto unitario.

El gasto unitario es la cantidad de agua que se va a drenar por unidad de superficie, en el tiempo de desague fijado por el proyectista.

Con la finalidad de ilustrar lo anterior se procede a desarrollar el siguiente ejemplo:

Obtener el gasto de diseño de un colector que drena una superficie de 250 ha., de acuerdo a los datos siguientes:

$$P_M = 180 \text{ mm}$$

$$t_D = 70 \text{ hr. (2.92 días)}$$

$$C_E = 30\%$$

Gasto de diseño del colector:

$$Q = q \cdot A = 250 \cdot q$$

$$Q = 250 \cdot q \dots\dots\dots(1)$$

Determinación del coeficiente unitario de drenaje (q):

$$q = 2.778 \frac{P_M \times C_E}{t_D} = \frac{2.778 \times 180 \times 0.3}{70} = 2.14$$

Sustituyendo en la ecuación (1) se tiene:

$$Q = 250 \times 2.14 = 535 \text{ l.p.s} = 550$$

$$Q = 0.550 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La sección transversal de un canal de drenaje, se determina para la condición de máxima eficiencia hidráulica, siempre y cuando la sección resultante no sea erosionable en cuyo caso la sección más conveniente será la que resista la erosión.

Además de la características físicas de la sección de un dren, definidas por un funcionamiento hidráulico eficiente, existen otras prácticas que modifican a la sección tales como terraplenes, cortes, banquetas, taludes laterales, etc. Considerando además los aspectos constructivo y económico.



## b) Localización de los drenes.

Para la localización de una red de drenaje superficial, se debe tomar en cuenta:

- Aprovechar los cauces naturales para alojar los canales abiertos de drenaje superficial, en el caso del dren principal.
- Localizar los drenes colectores siguiendo los talwegs lo más recto posible y cuando existen curvas horizontales inevitables, diseñarlos con radios que arrojen una curvatura amplia, en los tramos donde los gastos que escurran sean de consideración.
- Cuando existen terrenos de propiedad particular dentro de la zona de riego, los drenes deben de respetar al máximo posible linderos de dichas propiedades, salvo si existen situaciones de convenio previos.
- En zonas de riego, el drenaje natural es suficiente, pero si por las condiciones específicas, se detecta la necesidad de drenaje parcelario, esta necesidad será verificada por un estudio que deberá realizarse.
- Las experiencias obtenidas en los Distritos de Riego de las zonas áridas y semi-áridas con problemas de drenaje y salinidad, muestran la necesidad de drenaje parcelario, tomando como base los siguientes aspectos:

- a) Profundidad del manto freático.
- b) Capacidad de drenaje natural de los suelos.

a) Mantos freáticos con salinidad mayor de 2,000 p.p.m. y una profundidad menor de 2.00 m. de la superficie del suelo requieren de drenaje parcelario.

b) La capacidad de drenaje natural de los suelos se determina mediante el valor que resulta al calcular el parámetro  $Ae$ :

$$Ae = \frac{B^2}{4KT\alpha} = \frac{t}{tm}$$

El segundo miembro de la igualdad proporciona en días el descenso o abatimiento del manto freático que se verifica en el suelo. En la fórmula anterior:

$t$  = Lapso de tiempo del descenso seleccionado en la gráfica de niveles freáticos.

$t$  = Coeficiente de abatimiento en un tiempo dado.

$m$  = Coeficiente de drenaje.





si  $A_e \geq 80$  días, se requerirá el drenaje parcelario.

Ya verificada la necesidad de drenaje parcelario, la red de drenaje de apoyo (colectores) se diseñan con base en la topografía y se puede recomendar que vaya por las partes bajas, con una profundidad deseable no menor de 3.30 m. los 0.30 m. se dejan para proporcionales cierta capacidad para azolves, un medio metro para el tirante normal del caudal que por lo general conducirá.

Con objeto de que la descarga de los drenes parcelarios se haga a una profundidad de 2.5 m. y que pueda tener dichos drenes una profundidad media de 2.00 m. con el fin de abatir el manto freático debajo de un metro cuando menos, para evitar que el agua freática limite el crecimiento radicular de las plantas y se facilite el proceso de salinización por capilaridad y evaporación.

Los drenes parcelarios, por las funciones que desempeñan, pueden dividirse en dos tipos:

- 1.- Drenes permanentes para mantener los niveles freáticos a profundidades convenientes.
- 2.- Drenes temporales para fines de lavado de suelos.

El problema a resolver en el cálculo de los drenes parcelarios, es el determinar a que separación deben de encontrarse cada par de drenes, para abatir el manto freático debajo de un metro de profundidad, con una profundidad en los drenes generalmente de 2.00 m.

Este problema se ha estudiado con base en la mecánica de fluidos, pero la mayor parte de las soluciones propuestas se refieren a sistemas establecidos en medios isotrópicos y homogéneos. La dificultad para el cálculo de los drenes subterráneos, además de la heterogeneidad del suelo, se estima en que tanto el caudal por drenar como la profundidad permisible de los mantos freáticos varían con el tiempo, es decir el régimen es no establecido, por lo tanto se encontrarán soluciones aproximadas, aplicables a medios homogéneos e isotrópicos.

Al considerar lo ya expuesto, no puede esperarse con mucha exactitud de ningún método propuesto para calcular la separación de los drenes, por lo que debe tomarse en cuenta la siguiente regla "construir los drenes al doble de la separación calculada y después de observar su comportamiento, construir los intermedios, de ser necesarios".

Para el cálculo de la separación entre drenes se puede utilizar la fórmula de Averyanov:

$$B = 2H \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2T}{H}\right) \alpha}$$

En la que:

$B$  = Separación entre dos drenes en m.

$H$  =  $(p-a)$  en m.

$k$  = Coeficiente medio de conductividad hidráulica en m/día.

$q$  = Intensidad media de alimentación, de infiltración de agua de lluvia y/o sobre riego. durante el periodo crítico, en m/día.

$p$  = Profundidad de la colocación de tubos o rasante.

$a$  = Profundidad permisible del manto freático en la mitad de la separación, en m.

$T$  = Profundidad del hidroapoyo al piso de los drenes.

$\alpha$  = Coeficiente de suspensión.

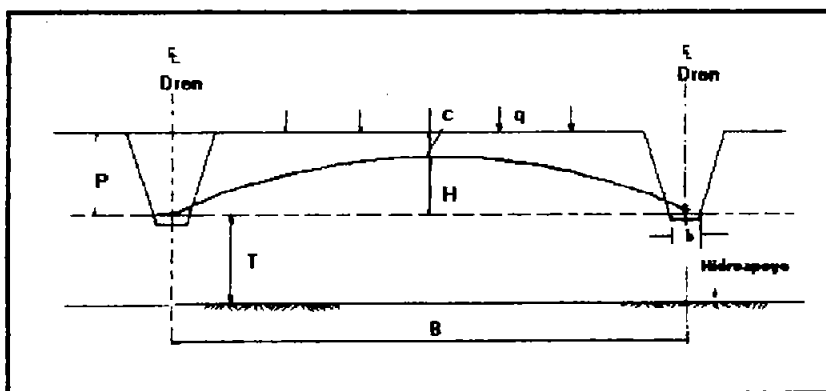


Figura 4.6.4.1 Diagrama de separación de drenes parcelarios

#### 4.7.- Normas Generales de Diseño de Canales.

##### 4.7.1.- Capacidad de los canales.

La capacidad de los canales de la red de distribución estará dada en función del área denominada por cada canal, del método de distribución del agua y de plan de cultivos. Para determinar la capacidad de los canales será necesario elaborar la curva de coeficientes unitarios de riego.

##### Coeficientes Unitarios de Riego.

El coeficiente unitario de riego representa el gasto que requiere una hectárea y se utiliza en la determinación de la capacidad del canal correspondiente considerando el área tributaria.



## Factores que Intervienen.

### Estudios Agrológicos.

Al hablar de los estudios agrológicos en los proyectos de riego y en la investigación de los recursos naturales, existen varios propósitos para hacer la cartografía de los suelos y estos son los siguientes.

- 1.- El que se refiere a la guía y al estudio previo para la construcción adecuada de una obra de riego.
- 2.- El de hacer una planeación basada en el estudio de los suelos para el aprovechamiento de los recursos renovables de una gran área.
- 3.- El que se refiere al estudio de los suelos para un aprovechamiento agrícola para determinar los factores que intervienen para mejorar los rendimientos agrícolas, y para indicar cuales son los cultivos más apropiados para distintas clases de suelos que existen en cada lugar de clima diferente.
- 4.- El de conservación de suelos para evitar su pérdida y la conservación de su fertilidad, que se origina por la erosión y el intemperismo general.

Las unidades edafológicas empleadas en los planos y cartas agrológicas son las siguientes:

- 1.- El tipo de suelos.
  - 2.- La fase de los tipos de suelos, que indica las pequeñas variaciones en el perfil del suelo.
  - 3.- Las clases agrícolas que son cuatro para los fines de obras de riego y para los estudios regionales que pueden tener 6, 7 y 8 clases diferentes.
  - 4.- Los suelos complejos, para las pequeñas áreas presentan muchas variaciones.
- La fotointerpretación aérea se considera un método moderno e indispensable para el estudio de los suelos.

### Características Físicas de los Suelos.

**Textura.** Es la relación entre los diferentes tamaños o dimensiones de las partículas que constituyen un suelo determinado. Las partículas pueden ser desde arena fina a arcilla. Las que tienen un diámetro superior a 1 mm. se denominan gravas, de 0.05 a 1.00 mm. arenas, entre 0.002 y 0.05 mm. limos, y menores de 0.002 mm. arcillas. La mayoría de los suelos contienen una mezcla de arena, limo y arcilla. Si predomina la arena, los suelos se denominan arenosos. Si es arcilla el elemento predominante el suelo es arcilloso. Los limos están comprendidos entre las arcillas y las arenas. Los suelos francos tienen textura media con cantidades análogas de partículas de arcilla, limo y arena.

**Estructura.** La estructura de un suelo se expresa por la forma de agruparse de sus partículas. Las condiciones que contribuyen a la formación de la estructura del suelo son la sequía, la humedad, las heladas, aumentos de temperatura y las combinaciones de estas.



**Color de los Suelos.** El color de los suelos se determina en una suspensión en agua por comparación con una escala de colores, indicando primero el color predominante y enseguida el tono o matiz de otro color.

**Peso Específico Real.** El peso específico real de un suelo es una cantidad sin dimensión que se define como el cociente entre el peso de una partícula de suelo y el peso de un volumen de agua igual al de la partícula. El peso específico de la mayoría de los minerales que forman el suelo varía de 2.5 a 5. El peso específico real de los suelos tiene un bajo porcentaje de materia orgánica, aproximándose mucho como término medio a 2.65, que es el peso específico del cuarzo.

**Peso Específico Aparente.** El peso específico aparente de un suelo se define como el cociente entre el peso de un volumen dado de un suelo seco, incluido el espacio de poros, y el peso de un volumen igual de agua.

#### **Densidad Real de un Suelo.**

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso del suelo en estado seco y el volumen de sus partículas.

$$D_r = \frac{PSS}{V_p}$$

Si se considera que:

$D_r$  = Densidad real.

PSS = Peso del suelo seco.

$V_p$  = Volumen de las partículas.

#### **Densidad Aparente.**

Se llama densidad aparente de un suelo a la relación que existe entre el peso del suelo en estado seco y el volumen total incluyendo poros.

$$D_a = \frac{PSS}{V_t}$$

Donde:

$D_a$  = Densidad aparente.

$V_t$  = Volumen total.



**Procedimiento para Determinar la Densidad Aparente.**

En el terreno se hace una excavación o zanja introduciendo un tubo de bordes cortantes en el terreno con lo que se obtiene un alma no compacta en el interior del instrumento. La porción del suelo así obtenida se somete a secado. El volumen se calcula cubicando el agujero, mediante la colocación de un tubo de plástico o de goma flexible y determinar su volumen por el agua que se necesita.

Valores dados de los pesos volumétricos secos

Arena	1.6 ton/m <sup>3</sup>
Limos	1.3 ton/m <sup>3</sup>
Arcillas	1.0 ton/m <sup>3</sup>
Suelos orgánicos-menos de	1.0 ton/m <sup>3</sup>

**Porosidad.**

Se define como porosidad a la relación entre el volumen de espacio vacío, y el volumen total del suelo, se expresa en porcentaje.

$$P_r = \frac{\text{volumen de vacíos}}{\text{volumen total}} \times 100$$

$$P_r = \frac{D_r - D_a}{D_r} \times 100$$

Donde:

P<sub>r</sub> = Porosidad.

D<sub>r</sub> = Densidad real.

D<sub>a</sub> = Densidad aparente.

El espacio poroso tiene un papel importante en lo que respecta al valor productivo de los suelos sobre el movimiento del aire, del agua y el enraizamiento de las plantas en el terreno.

**Infiltración.**

Una propiedad de los suelos, de gran importancia para los regantes, es la velocidad a la que el agua se filtra. La velocidad de infiltración es mucho mayor al principio del riego de lluvia que varias horas después, y que esta influida por las propiedades del suelo y por el gradiente hidráulico, la disminución de filtración a medida que transcurre el tiempo después del humedecimiento de un suelo, es de gran importancia para el estudio de las pérdidas de agua de lluvia y de riego.



El agua que se aplica a los suelos arenosos, de estructura gravosa o gruesa, se infiltra tan rápidamente hacia el interior, que la superficie del agua puede descender varios centímetros en una hora. En los suelos arcillosos de textura fina, se acumulará y permanecerá en el suelo con mucha poca filtración aparente durante muchos días. Entre estos extremos se encuentran los ideales de la velocidad de filtración. Una forma de expresar la filtración es el descenso de la superficie del agua en centímetros por hora.

La velocidad de infiltración del agua a través de un suelo, aplicando la ecuación de Darcy es la siguiente:

$$V = K \frac{hL}{L}$$

Siempre que el régimen no sea turbulento.

Donde:

V = Velocidad de infiltración.

K = Coeficiente de permeabilidad.

$\frac{hL}{L}$  = Pendiente de la línea piezométrica.

Para medición de la permeabilidad de los suelos se utilizan los computadores de permeabilidad de altura constante y los de altura variable.

### **El Clima y Salinidad.**

Los suelos de las regiones áridas contienen grandes cantidades de sales solubles. Una alta pluviometría anual, como en el caso de las regiones húmedas, hace que el agua se filtre a través de los suelos y lleve a los arroyos, ríos y mares grandes cantidades de sustancias minerales solubles.

La mayor profundidad a la que penetra el agua proviene de las precipitaciones, o de las lluvias de la estación húmeda, varía entre 0.3 m. y 1.2 m. y depende del volumen y duración de la precipitación y de la naturaleza del suelo. La falta de infiltración en los suelos de las regiones áridas, con la excesiva evaporación del agua, produce la acumulación, en la parte superficial del suelo, de sales solubles.

### **Influencia del Nivel Freático.**

Los cultivadores de regadío defienden las ventajas de conservar la capa freática a poca distancia de la superficie del suelo, basándose en los altos rendimientos obtenidos durante los primeros años después de haber elevado esta desde mayores profundidades.



La cantidad de humedad proporcionada por una capa de agua cercana a la superficie del suelo puede ser causa de altos rendimientos de las cosechas, en las zonas en donde existen sales alcalinas.

Se puede descender la capa freática tomando medidas tales como impedir las pérdidas por filtración de los canales, que se producen con exceso, aplicando racionalmente el agua para riego, y drenando artificialmente zonas en el que el desagüe natural no sea adecuado a sus necesidades.

### Sistema Agua-Suelo.

Contenido de humedad. El suelo, aparte de sus partículas constituyentes, tiene un gran número de poros de muy diferentes diámetros; éstos generalmente están llenos de aire cuando el suelo está seco, pero al irse humedeciendo, el aire es desalojado y el agua va ocupando su lugar, hasta que llega el momento en que todos los poros están llenos y escurre libremente debido a la acción de la gravedad o bien de otras fuerzas al formarse un gradiente de energía; en ese momento se dice que el suelo está saturado.

Entre un suelo saturado y un suelo seco, existe una variación muy considerable en su contenido de humedad; este contenido se expresa generalmente en porcentaje respecto al peso del suelo seco; es decir, la relación de peso de agua contenida, a peso de suelo seco multiplicada esta relación por cien.

Los métodos directos o gravimétricos para determinar la humedad contenida en el suelo, aunque laboriosos y costosos son de gran valor. La practica consiste en taladrar hasta la profundidad deseada con una barrena, extraer las muestras de suelo húmedo y colocarlas en botes con tapadera y llevarlas al laboratorio para su posterior desecación y pesado.

Las muestras de suelo húmedo de 100 granos o más, se colocan en hornos a una temperatura de 105° a 110°C, hasta que quedan exentas de humedad.

La pérdida de peso por desecación dividida por el peso del suelo desecado y multiplicado el cociente por 100; es el tanto por ciento de humedad referido a peso seco.

$$P_s = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_o} \times 100$$

Donde:

$P_{SS}$  = Peso del suelo seco.

$P_{SH}$  = Peso del suelo húmedo.

$P_a$  = Peso del agua contenida.

$P_s$  = Porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco.



### Capacidad de Campo.

Es el contenido de humedad de un suelo expresado en por ciento ( $P_s$ ), después de un riego pesado, una vez que se ha eliminado el exceso de agua por acción de la fuerza de gravedad. Esta condición se obtiene dos días después del riego. Esta constante de humedad depende fundamentalmente de la textura, estructura y grado de compactación.

En el campo se puede determinar la ecuación después de un riego, tomando muestras diarias y determinando su porcentaje de humedad con respecto al peso del suelo seco ( $P_s$ ), hasta que más o menos permanezca constante; expresado en términos matemáticos cuando

$$\frac{dP_s}{dt} = 0$$

Para estimaciones, también se puede valer de la tabla siguiente en función de la textura para obtener un valor aproximado de la capacidad de campo.

Textura	Capacidad de campo
Arena	5 a 15
Migajones arenosos	10 a 20
Suelos francos	15 a 30
Migajones arcillosos	25 a 30
Arcilla	30 a 70

### Porcentaje de Marchitamiento Permanente.

Es el contenido de humedad de un suelo, cuando las plantas se marchitan permanentemente y corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por los vegetales. Una planta se marchitará cuando no es capaz de seguir obteniendo humedad suficiente para hacer frente a sus necesidades hídricas. Cuando soplan vientos cálidos puede producirse un marchitamiento transitorio, pero a continuación las plantas se recuperan en la parte más fría del día.

El marchitamiento permanente, de la misma manera que el temporal, depende del agua utilizada por el vegetal, de la profundidad de la zona radicular y de la capacidad de retención del terreno.

El tanto por ciento de marchitamiento permanente puede ser estimado dividiendo la capacidad de campo por un factor cuyo valor oscila entre 2.0 y 2.4.





### Procedimiento para Determinar el Porcentaje de Marchitamiento Permanente (P.M.P).

Se llenan unos botes de lámina de 500 gr aproximadamente de tierra, se fertiliza para lograr un mejor desarrollo de la planta y se siembran semillas indicadoras de girasol, una vez que la planta se ha desarrollado hasta tener cuatro hojas, se deja secar el suelo, determinando su Ps, cuando se notan, síntomas de marchitamiento permanente es decir, cuando la planta no se recupera llevándola a una atmósfera saturada.

Existen otros métodos de laboratorio indirectos para estimar el P.M.P.

Para poder valuar de una forma general, el P.M.P. se puede utilizar la siguiente tabla:

Textura	Porcentaje de marchitamiento permanente
Arenas	3 a 18
Migajones arenosos	6 a 12
Suelos francos	8 a 17
Migajones arcillosos	13 a 20
Arcillas	17 a 40

### Humedad Aprovechable.

La humedad aprovechable por las plantas es la diferencia entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente, es decir a capacidad de campo, la humedad aprovechable es de 100% y a punto de marchitamiento será 0%.

Por tanto, la lámina máxima que podemos aplicar para humedecer un suelo a una profundidad  $P_r$ , sin desperdiciar agua es:

$$L = (PS_{cc} - PS_{mpm}) \times D_a \times P_r$$

$PS_{cc}$  = Porcentaje de humedad a capacidad de campo.

$PS_{mpm}$  = Porcentaje de marchitamiento permanente.



### Uso Consuntivo.

Se define como uso consuntivo a la cantidad de agua consumida sin posible recuperación, para que las plantas cultivadas se desarrollen completamente y maduren su cosecha; agua empleada por las mismas para transpirarla o acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones, suspensiones o soluciones; o el agua que es evaporada a la atmósfera directamente desde el suelo y que no puede conservarse o recuperarse, así el uso consuntivo del agua para un período de tiempo considerado, será la cantidad promedio empleada por un cultivo entre riegos normales.

Uso del agua por la planta = Agua usada en la construcción de tejidos + transpiración + evaporación.

También se utiliza el término evapotranspiración para denominar los dos últimos conceptos considerando que son los más importantes, ya que el 99% del consumo del agua por la planta se debe a ellos.

### Evaporación.

Es el fenómeno mediante el cual el agua retenida por las hojas, así como la que existen en la superficie es evaporada. En muchas localidades existen zonas de suelos húmedos en los que la capa freática se halla muy próxima a su superficie. En estos casos la evaporación del suelo es casi igual a la de una superficie libre de agua, mientras que con niveles freáticos más profundos la evaporación disminuye hasta eliminarse, cuando la humedad no llega a alcanzar la superficie del suelo por la acción de la capilaridad.

### Transpiración.

Se denomina transpiración al proceso por el cual el vapor del agua se desprende de las plantas vivas, principalmente de las hojas y pasa a la atmósfera. Durante el período de desarrollo de un cultivo, hay un continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de la planta. La velocidad y el movimiento del agua a través de la planta varía de 0.3 a 1.8 m. por hora; Pero en condiciones de temperatura excepcionalmente altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso esta velocidad puede aumentar enormemente.

Las plantas retienen solo una pequeña parte del agua que absorben las raíces. Si la velocidad de evaporación en las hojas excede la de absorción de las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento y el desarrollo del vegetal. La fuente de calor ideal para el fenómeno de transpiración es el sol.

### Factores que intervienen en el uso consuntivo.

La variabilidad del uso consuntivo de las plantas depende de diversos factores, en su mayoría determinantes del desarrollo vegetativo de las mismas y del consumo de agua:



**Suelo.** (Textura, estructura, fertilidad, salinidad, capacidad de retención del agua, profundidad, nivel freático).

**Cultivo.** (Especie, variedad, ciclo vegetativo, fase de desarrollo, fisiología).

**Agua.** (Disponibilidad, prácticas de riego, eficiencia de aplicación de riego).

**Clima.** (Temperatura, fotoperíodo, calor aprovechable, precipitación, estado higrométrico del aire, vientos, nubosidad).

Los factores anteriormente enumerados tienen influencia los unos sobre los otros y nunca actúan independientemente.

De las influencias naturales las más importantes son: el clima, la provisión de agua, los suelos y la topografía. Los factores climáticos que afectan en especial al uso consuntivo de agua son: la precipitación, la temperatura, la radiación solar, la humedad, el movimiento del viento, duración de la etapa de crecimiento, latitud y luz solar.

### **Precipitación.**

La intensidad de la precipitación puede tener algún efecto sobre la cantidad del agua consumida, bajo ciertas condiciones la precipitación puede presentarse como una serie de lloviznas ligeras y frecuentes durante la época calurosa del verano, que pueden agregar poco o nada a la humedad del suelo para uso por las plantas a través de la transpiración, pero que disminuye la extracción de la humedad almacenada.

Tal precipitación puede perderse grandemente por evaporación directamente de la superficie del follaje de la planta y del suelo.

Parte de la precipitación de los aguaceros fuertes pueden perderse por escurrimiento superficial y otra parte penetra al suelo y está disponible para la transpiración de la planta. Tal condición reduce la cantidad necesaria del agua de riego. Se pueden emplear diferentes condiciones de clima, suelo y cultivo.

### **Temperatura.**

El promedio del uso consuntivo del agua por los cultivos en cualquier localidad, es probablemente afectado mucho más por la temperatura que por cualquier otro factor, ya que, para lapsos largos es una buena medida de la radiación solar. Temperaturas bajas retardan el crecimiento de las plantas.

El uso consuntivo del agua, puede variar grandemente aún en años de iguales temperaturas acumuladas debido a las desviaciones de la distribución normal estacional. La transpiración no está influenciada exclusivamente por la temperatura, sino también por el área foliar y las necesidades fisiológicas de la planta, las que están relacionadas a la etapa de madurez.



## Humedad.

La evaporación y la transpiración aumentan en días de baja humedad y disminuye durante periodos de humedad alta por la variación de tensiones.

## Condiciones del lugar.

Es sabido que el uso consuntivo del agua varía en las regiones áridas con respecto a las regiones húmedas. Se ha estimado que el uso consuntivo del agua es muy alto para cultivos situados en tierras bajo riego adyacentes a los desiertos.

Esto se debe al calor extra que es transportado lateralmente por el movimiento del aire sobre los terrenos bajo riego. Por otra parte los cultivos bajo riego que crecen en terrenos donde los vientos predominantes provienen de áreas húmedas pantanosas, pueden tener un uso consuntivo relativamente bajo.

Varios investigadores han estudiado la medida en que la temperatura, humedad, velocidad del viento presión de vapor y radiación solar influyen sobre la evapotranspiración; entre los que sobresalen el Dr. C. W. Thornthwaite, Harry P. Blaney y W.D Criddle. A continuación se citan los métodos que se emplean para la determinación del uso consuntivo:

### Métodos directos.

- 1.- Del Lisímetro
- 2.- De integración
- 3.- De entradas y consumo de agua
- 4.- Aerodinámico
- 5.- De Dalton
- 6.- De balance de energía
- 7.- Combinados

### Métodos indirectos.

- 1.- De Thornthwaite
- 2.- De Blaney y Criddle
- 3.- De Penman
- 4.- De Crassi-Christiansen
- 5.- Racional
- 6.- De Lowry y Johnson
- 7.- De Ture

De los métodos indirectos que se aplican en el Departamento de Canales de la Dirección de Proyectos de Irrigación y Control de Ríos de la Comisión Nacional del Agua son los siguiente:



- 1.- Método de Thornthwaite
- 2.- Método de Blaney y Criddle

### Método de Thornthwaite.

C.W. Thornthwaite buscando una expresión simple que emplea datos climatológicos accesibles desarrolló una fórmula empírica basada en la latitud y la temperatura, demostrando teóricamente que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar .

$$E_i = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

En donde:

$E_i$  = evapotranspiración mensual, en cm.

$T$  = temperatura media mensual, en °C.

$a$  = constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual, de temperatura ( $I$ ), cuyo valor es:

$$a = 0.000000675I^3 - 0.000077I^2 + 0.017921 + 0.49239.$$

$I$  = Índice anual de calor (o temperatura). Es la suma de los índices de las eficiencias mensuales de temperatura ( $i$ ).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i ; i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

### Aplicación del Método Thornthwaite.

Este método da resultados aceptables en zonas húmedas con vegetación abundante, aumentando los errores en zonas semiáridas o áridas. Para aplicar la fórmula obtenida por el Dr. C.W.Thornthwaite se aconseja seguir los siguientes pasos:

1° Se calculan las temperaturas medias mensuales ( $T$ ).

2° Se calculan los valores de las eficiencias mensuales de la temperatura, por medio de la fórmula:

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

Se puede utilizar la tabla "1" que incluye diferentes valores de la temperatura.

3° Se determina la eficiencia anual de la temperatura, sumando los valores calculados

4° se calcula el exponente "a" aplicando la fórmula.



$$a = 0.0000006751^3 - 0.0000771^2 + 0.017921 + 0.49239$$

a = Eficiencia anual.

5° Se estima la evapotranspiración en el mes considerado en función de la temperatura media mensual aplicando la fórmula

$$E_t = 1.6 \left( \frac{10T}{J} \right) a$$

Esta fórmula de la evapotranspiración se encuentra directamente aplicando el nomograma correspondiente a la Tabla "2". Que se puede ver en la pág. 60 referencia núm. 10.

### **Influencia del Viento.**

La evaporación del agua de las superficies del suelo y de la planta, se efectúa más rápidamente cuando hay aire en movimiento que cuando se presentan condiciones bajo aire en calma. Vientos cálidos secos y otras condiciones inusitadas del aire durante el período de crecimiento, incrementan la cantidad de agua consumida.

Sin embargo hay un límite en el cual la cantidad de agua que puede perderse en la evapotranspiración, puesto que, tan pronto como se seca la superficie del suelo, la evaporación se detiene prácticamente y la transpiración es restringida por la capacidad de la vegetación para extraer y conducir la humedad del suelo a través de sus tejidos.

### **Latitud y Luminosidad.**

La latitud tiene influencia considerable la cantidad del uso consuntivo del agua de diversas plantas. Debido al movimiento de la tierra y a la inclinación del eje de la misma, la duración del día durante el verano es mayor en las latitudes boreales que en el Ecuador ya que el sol es la fuente de toda la energía empleada en el desarrollo de los cultivos y en la evaporación del agua, esta duración permite a las plantas el continuar transpirando por un período mayor durante cada día, lo que produce un efecto similar a la prolongación del período de crecimiento.

### **Calidad del Agua.**

Este factor puede tener un efecto apreciable en el uso consuntivo del agua por la vegetación.

El que las plantas transpiren más o menos cuando el agua es muy salina está sujeto a discusión, sin embargo, si es necesaria la aplicación del agua salina adicional a las tierras bajo riego para arrastrar las sales a través del suelo, se tendrá más evaporación en la superficie del suelo.



°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	--	--	.01	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.18	.20	.21	.23
2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.27	5.35	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	16.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	189.53	19.61	19.69	19.78

Tabla 1.- Para calcular el valor mensual de T-E  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$



Para determinar los valores de evapotranspiración potencial consultar la gráfica de la página 60 de la referencia núm. 8

°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
26	...	...	...	...	...	13.50	13.68	13.77	13.86	.09	...	...
27	13.95	14.03	14.12	14.20	14.19	14.37	14.45	14.53	14.62	14.70	.084	.082
28	14.78	14.86	14.94	15.01	15.09	15.17	15.24	15.32	15.39	15.47	.078	.074
29	15.54	15.61	15.68	15.75	15.82	15.89	15.95	16.02	16.08	16.15	.070	.064
30	16.21	16.27	16.33	16.40	16.46	16.52	16.58	16.63	16.69	16.74	.062	.056
31	16.80	16.85	16.91	16.96	17.02	17.07	17.12	17.17	17.21	17.26	.054	.048
32	17.31	17.35	17.40	17.44	17.49	17.53	17.57	17.61	17.64	17.68	.044	.038
33	17.72	17.76	17.79	17.83	17.86	17.90	17.93	17.96	17.99	18.02	.036	.030
34	18.05	18.08	18.10	18.13	18.15	18.18	18.20	18.22	18.25	18.27	.026	.022
35	18.29	18.31	18.32	18.34	18.35	18.37	18.38	18.39	18.41	18.42	.016	.012
36	18.43	18.44	18.45	18.45	18.46	18.47	18.47	18.48	18.48	18.49	.008	.004
37	18.49	18.49	18.49	18.50	18.50	18.50	....	....	....	....	.002	....
38	18.50	...	....	...	....	...	....	....	....	....	....	....

La Tabla "3" Corresponde a los Factores de Corrección Mensuales, que debe hacerse a la evaporación potencial no ajustada, para la duración posible del fotoperíodo de acuerdo con el mes y la latitud de la estación.

Lat. N.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.04	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
35	.87	.86	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.19	1.04	.96	.83	.81
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70

Tabla 4.- Duración Promedio Posible del Fotoperíodo en los Hemisferios Norte y Sur Expresado en Unidades de 30 Días de 12 Horas cada uno.

6° Multiplíquese los valores no ajustado de la evapotranspiración potencial por los factores de corrección apropiados para obtener la evaporación potencial ajustada en centímetros.

7° Tabúlese la precipitación mensual.





**Lámina neta ( $L_n$ ).** Es el agua que se suministra al terreno (lotes, parcelas), necesaria para satisfacer la lámina de uso consuntivo disminuida por la precipitación efectiva incluyendo pérdidas por infiltración profunda, escurrimiento superficial, evaporación en el terreno, se determina, aplicando la siguiente expresión:

$$L_n = \frac{Luc - Pe}{na}$$

En la que:

- $L_n$  = Lámina neta, en cm.
- $Luc$  = Lámina de uso consuntivo.
- $Pe$  = Precipitación efectiva, en cm.
- $na$  = Eficiencia de aplicación o parcelaria.

La aplicación del agua de riego por gravedad, se estima que es posible aplicar láminas netas inferiores a 10 cm. por lo que se verificarán los ajustes siguientes:

- Láminas menores de 5 cm en el mes, considerarlas cero.
- Láminas entre 5 y 10 cm considerarlas 10 cm.

Con estos valores se verificarán los ajustes necesarios a la lámina neta para todo el ciclo del cultivo, no debiendo exceder en más del 10% de la lámina neta necesaria.

**Lámina bruta ( $L_B$ ),** es el agua que se necesita en la toma de la fuente de abastecimiento, para abastecer las tomas granja y regar una determinada superficie, incluyendo pérdidas por infiltración, evaporación y fugas en los canales y todo el sistema de distribución.

$$L_B = \frac{L_N}{n_c}$$

En la que:

- $L_B$  = Lámina bruta, en cm.
- $L_N$  = Lámina neta, en cm.
- $n_c$  = Eficiencia de conducción.

### Selección y Distribución de los Cultivos.

Para la selección y distribución de cultivos de la zona de riego, se hace con base a un estudio de factibilidad técnico-económica que se lleva a cabo en la Dirección de Integración de Proyectos y Programa de la Dirección General de Planeación de la Comisión Nacional del Agua.



## Intervalos y Láminas de Riego.

Con los usos consuntivos calculados para cada cultivo, así como las láminas teóricas de riego, se procede a determinar los intervalos de riego ajustando de tal forma las láminas para que dichos intervalos sean múltiplos de cinco días, esto es con el objeto de simplificar al máximo los cálculos. Estos intervalos se obtienen dibujando la gráfica uso consuntivo acumulado o tiempo de cada cultivo. Sobre el eje de los usos consuntivos de dicha gráfica se llevan las láminas aplicadas encontrándose los respectivos intervalos.

## Método para Cuantificar la Lluvia.

Para determinar la lluvia efectiva existen varios criterios, únicamente se aplicará el método que se aplica en los Distritos de Riego y el método empleado en el Departamento de Canales de la Comisión Nacional del Agua.

Método aplicado en Distritos de Riego para considerar la lluvia efectiva:

1° Consiste en analizar la lluvia que cae, en la región en los últimos años y se registra en la estación climatológica más cercana a la zona en estudio. Esta lluvia se agrupa en forma decenal de cada mes, correspondiente a cada año, para mayor aproximación.

2° Se suma la lluvia decenal de cada mes, obteniéndose la precipitación mensual, para cada año de observación.

3° Se ordenan las lluvias mensuales de mayor a menor precipitación, correspondiente a cada año.

4° Una vez ordenada la precipitación mensual, se escoge una probabilidad del 80% de los años de observación y el año que resulte representa la precipitación que se tomará en cuenta.

En el Departamento de Canales de la Comisión Nacional del Agua se aplica la fórmula de Prescott para cuantificar la lluvia efectiva. Dicha fórmula considera que cuando el 0.8 de la precipitación es mayor o igual a 0.9 la evapotranspiración a la potencia de 0.75 determinada por el método de Thornthwaite, se toma en cuenta.

Es decir,  $0.8 P \geq 0.9E^{0.75}$

P = Precipitación

E = Evapotranspiración determinada por el Método de Thornthwaite.

## Plan de Riegos Ley de Demandas.

Para llevar a cabo un plan de riegos, es necesario hacer la distribución de las superficies de los diferentes cultivos durante su respectiva época de siembra, siguiendo una ley triangular.



## Determinación del Coeficiente Unitario de Riego.

La determinación del coeficiente unitario de riego, se hace con base al mes de máxima demanda. Los cultivos de este mes con sus áreas y volúmenes correspondientes se ordenan en función de los cultivos que tengan de mayor a menor uso consuntivo diario. Dividiendo el volumen acumulado correspondiente al mes crítico entre el área acumulada y el tiempo en segundos del mes, se obtiene el coeficiente unitario de riego.

## Método de Blaney y Criddle.

Blaney y Criddle propusieron el método de tipo , en el que se toma en cuenta el coeficiente para diferentes plantas en función de su evolución durante el ciclo vegetativo. La fórmula obtenida por estos autores, relaciona la temperatura media del lugar, con la luminosidad, y la evapotranspiración, además introducen un factor de corrección que depende de la época de desarrollo de la planta y del cultivo considerado. Esta expresión es mucho más simple que la que obtuvo el Dr. C.W, Thornhwaite.

La fórmula de Blaney y Criddle es la siguiente:

$$E_t = Kf$$

Donde:

$E_t$  = Evapotranspiración total, en centímetros.

$K$  = Coeficiente de corrección que depende del cultivo y su época de desarrollo, es el promedio de los  $K$  mensuales.

$f$  = factor de temperatura y luminosidad, suma de  $f$  mensuales.

Los llamados "Coeficientes de Uso Consuntivo", deben de ser determinados en cada localidad para cada una de las especies y variedades vegetales que interesen. Esto lleva a la necesidad de experimentar, lo cual requiere elementos físicos, humanos y un período de tiempo largo.

El método adoptado, por la accesibilidad de los datos que se requiere es modificado en cuanto al efecto de la temperatura y ampliado a lo que se refiere a los coeficientes del uso consuntivo. Como una guía, Blaney y Criddle fijan límites probables de variación del coeficiente de uso consuntivo para las especies más importantes, pero dicho coeficiente es global, es decir, el valor medio del ciclo.

Blaney y Criddle, dan una serie de valores para una  $K$  global en una tabla publicada por el Departamento de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (**k global**) para diversos cultivos en la tabla 5, en donde los valores máximos corresponden a las zonas de climas áridos y semiáridos y los valores mínimos o zonas húmedas y semihúmedas que es la siguiente:



Cultivo	Periodo Vegetativo	Coefficiente Global (k global)
Aguacate	Perenne	0.50-0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.80
Alfalfa	Entre heladas	0.80-0.85
	En invierno	0.60
Algodón	6 o 7 meses	0.60-0.65
Arroz	3 a 5 meses	1.00-1.20
Cacahuate	5 meses	0.60-0.65
Cacao	Perenne	0.75-0.80
Café	Perenne	0.75-0.80
Camote	5 a 6 meses	0.60
Caña de azúcar	Perenne	0.75-0.90
Cartamo	5 a 8 meses	0.55-0.65
Cereales de grano pequeño, (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo).	3 a 6 meses	0.75-0.85
Citricos	7 a 8 meses	0.50-0.65
Chile	3 a 4 meses	0.60
Espárrago	6 a 7 meses	0.60
Fresa	Perenne	0.45-0.60
Frijol	3 a 4 meses	0.60-0.70
Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	Entre heladas	0.60-0.70
Garbanzo	4 a 5 meses	0.60-0.70
Girasol	4 meses	0.50-0.65
Gladiolo	3 a 4 meses	0.60
Haba	4 a 5 meses	0.60-0.70
Hortalizas	2 a 4 meses	0.60
Jitomate	4 meses	0.70
Lechuga y col	3 meses	0.70
Lenteja	4 meses	0.60-0.70
Maiz	4 meses	0.60-0.70
Maiz	4 a 7 meses	0.75-0.85
Mango	Perenne	0.75-0.80
Melón	3 a 4 meses	0.60
Nogal	Entre heladas	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65-0.75
Palma datilera	Perenne	0.65-0.80
Palma cocotera	Perenne	0.80-0.90
Papaya	Perenne	0.60-0.80
Plátano	Perenne	0.80-1.00
Pastos de gramíneas	Perenne	0.75
Remolacha	6 meses	0.60-0.70
Sandía	3 a 4 meses	0.60
Sorgo	3 a 5 meses	0.60-0.70
Soya	3 a 5 meses	0.70-0.80
Tabaco	4 a 5 meses	0.70-0.80
Tomate	4 a 5 meses	0.80-0.85
Trébol ladino	Perenne	0.80-0.85
Zanahoria	2 a 4 meses	0.60

Tabla 5. Coeficientes Globales de Evapotranspiración Estacional.



El factor de temperatura luminosidad, se calcula en el periodo deseado mediante la fórmula:

$$f = \frac{t \times p}{100}$$

En donde:

f = Factor de temperatura luminosidad.

t = Temperatura media para el periodo °F.

p = Porcentaje horas luz para el periodo respecto al total anual.

Si la temperatura se expresa en °C la ecuación corregida es la siguiente:

$$f = p \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$$

Los valores de los porcentajes de horas luz están indicados en la tabla siguiente:

Latit "N" Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75	7.88
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	7.52
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.92	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	121.39	12.31	10.70	8.51	6.98	9.04	4.22
Latitud Sur												
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.68	7.76	8.51	8.15	8.34	8.05	8.33	8.38	8.19	8.56	8.37	8.68
10	8.86	7.87	8.53	8.09	8.18	7.86	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
15	9.05	7.98	8.55	8.02	8.02	7.65	7.95	8.15	8.15	8.68	8.70	9.10
20	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	8.13	8.76	8.87	9.33
25	9.46	8.21	8.60	7.84	7.66	7.23	7.54	7.90	8.11	8.86	9.04	9.58
30	9.70	8.33	8.62	7.73	7.45	6.96	7.31	7.76	8.07	8.97	9.24	9.85
36	10.03	8.51	8.65	7.59	7.18	6.62	6.99	7.56	8.04	9.11	9.51	10.21
40	10.27	8.63	8.67	7.49	6.97	6.37	6.76	7.41	8.02	9.21	9.71	10.49
46	10.69	8.86	8.70	7.32	6.61	5.02	6.37	7.16	7.96	9.37	10.07	10.97

Tabla 6. Porcentaje de Horas de Sol Diarias.

Los valores de la expresión  $\left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$  se encuentran tabulados en la tabla número "3"



°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.954	0.959	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995
5	1.046	1.051	1.055	1.060	1.064	1.069	1.074	1.078	1.083	1.087
10	1.276	1.281	1.285	1.290	1.294	1.299	1.304	1.308	1.313	1.317
15	1.506	1.511	1.515	1.520	1.524	1.529	1.534	1.538	1.543	1.547
20	1.736	1.741	1.745	1.750	1.754	1.759	1.764	1.768	1.773	1.777
25	1.966	1.971	1.975	1.980	1.984	1.989	1.994	1.998	2.003	2.007
30	2.196	2.201	2.205	2.210	2.214	2.219	2.224	2.228	2.233	2.237
35	2.426	2.431	2.431	2.436	2.440	2.445	2.450	2.454	2.459	2.463

Tabla 7. Relación con Temperaturas Medias en °C, para usarse en la fórmula de Blaney y Criddle.

En investigaciones más recientes se ha encontrado que para zonas áridas con lluvias en verano, es necesario corregir el factor de temperatura para ajustar convenientemente la relación Temperatura-Evapotranspiración. Esta corrección se logra introduciendo un nuevo coeficiente que en la fórmula se denomina  $k_t$  y cuyo valor esta dado por la siguiente expresión:

$$K_t = 0.03114 t + 0.2396$$

Donde:

$t$  = Temperatura en °C

En la tabla número "4", se encuentran los valores corregidos del factor  $k_t$  de acuerdo con la expresión anterior:

$$K_t \times \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.317	0.322	0.327	0.331	0.335	0.340	0.345	0.349	0.354	0.359
5	0.413	0.418	0.423	0.428	0.433	0.439	0.444	0.449	0.455	0.460
10	0.702	0.708	0.714	0.722	0.729	0.735	0.742	0.748	0.7555	0.762
15	1.063	1.071	1.079	1.086	1.095	1.103	1.111	1.119	1.127	1.135
20	1.495	1.505	1.513	1.523	1.533	1.542	1.551	1.561	1.571	1.580
25	1.999	2.010	2.020	2.031	2.042	2.053	2.064	2.074	2.086	2.096
30	2.574	2.586	2.598	2.610	2.623	2.635	2.647	2.660	2.672	2.685
35	3.220	3.234	3.247	3.261	3.274	3.289	3.303	3.316	3.330	3.344

Tabla 8. Valores corregidos del factor  $k_t$ .

Los valores de la expresión  $K_t \times \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$  en relación con las temperaturas medias en °C para usarse en la fórmula de Blaney Criddle.

La formulación de gráficas permite conocer el coeficiente del uso consuntivo en función del desarrollo de las plantas, ya sea en porcentaje del ciclo total, o en tiempo después del nacimiento de las mismas. A los coeficientes se les denomina "Coeficientes de Desarrollo".



Multiplicando los valores del porcentaje de horas-luz por los valores de  $K_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$ , se obtiene como resultado el factor de temperatura luminosidad "f" para cada mes, o sea:

$$f = p \times k_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right)$$

### Periodos de Siembra y Recolección de los Cultivos.

En las tablas anteriores se puede observar las fechas probables de siembra para los cultivos, así como el periodo de cosecha en función de su ciclo vegetativo y los métodos de siembra, etc.

Dichos coeficientes de desarrollo ( $k_c$ ) multiplicados por los factores de temperatura luminosidad de acuerdo con la fecha probable de siembra, dan como resultado el uso consuntivo mensual.

Sumando los correspondientes usos consuntivos mensuales se obtiene el uso consuntivo total. En ocasiones es necesario ajustar el uso consuntivo, introduciendo un nuevo coeficiente.

### Eficiencias.

Uno de los factores de mayor importancia que puede modificar la capacidad de los canales, es la eficiencia de conducción y la eficiencia parcelaria.

**La eficiencia de conducción ( $n_c$ )** es aquella que depende únicamente del revestimiento del canal de derivación, se expresa en %.

**La eficiencia parcelaria ( $n_a$ )** depende directamente del agricultor y de la asistencia técnica que se haya proporcionado. Entendiendo por eficiencia parcelaria la relación entre el agua que se requiere para reponer al suelo el agua consumida por los cultivos. Sin que en muchas ocasiones, por estar desnivelado el terreno, puede regarse debidamente toda la superficie y lograrse este objetivo.

**La eficiencia total ( $n_t$ )** de un Distrito o unidad de Riego se define como el producto de la eficiencia de conducción por la eficiencia parcelaria:  $n_t = n_c \times n_a$

Esta eficiencia puede variar desde un 50% a un 75%.

La eficiencia parcelaria depende de dos factores principales:

- 1.- Conocimiento del usuario de la técnica de riego.
- 2.- Nivelación de su parcela.



De acuerdo a datos obtenidos en Distrito así como en unidades de riego, se consideran las siguientes eficiencias como promedio.

a) Para canales en tierra.

Eficiencia parcelaria.	75%
Eficiencia de conducción.	75%
Eficiencia total en la unidad de riego.	56.2%

b) Para canales revestidos de mampostería.

Eficiencia parcelaria.	75%
Eficiencia de conducción.	80%
Eficiencia total en la unidad de riego.	60%

c) Para canales revestidos de concreto.

Eficiencia parcelaria.	75%
Eficiencia de conducción.	85%
Eficiencia total en la unidad de riego.	63.7%

#### Utilización de Coeficientes Empíricos.

Cuando no hay posibilidades de disponer de la información, o no se tienen datos de Distritos y Unidades de Riego, en operación bajo condiciones similares al que va a ponerse en explotación, a la vez que se necesita con urgencia obtener la capacidad de los canales, por lo general se recomiendan coeficientes ampliamente experimentados en la práctica, en los que se toma en cuenta la pérdida por conducción en condiciones normales, para canales en tierra, y son los siguientes:

De 100 a 1,200	ha	1.75 L.p.s./ha
De 1,200 a 2,000	ha	1.41 L.p.s./ha
De 2,000 a 10,000	ha	1.16 L.p.s./ha

El inconveniente de estos coeficientes es cuando se tiene una superficie cercana a las fronteras que los definen, en cuyo caso se presentan valores dobles de gasto con la inseguridad en el valor escogido.

Para obtener la capacidad necesaria en los canales consultar la grafica de la pág. 82 de la referencia núm.3.





## Conducciones Libres.

Los canales son cauces para la conducción del agua, en los que la corriente líquida tiene una superficie libre de contacto con la atmósfera y su movimiento se debe a la pendiente del cauce y de la superficie libre del líquido.

Los canales pueden utilizarse abastecimiento de poblaciones, regadíos, drenaje agrícola, etc. Pueden revestirse y construirse de mampostería o ladrillo, concreto simple o concreto reforzado; estos revestimientos evitan las pérdidas por infiltraciones y la erosión de las paredes del canal.

### Diseño de un Canal.

Existen diferentes tipos de secciones, de los canales como elementos de conducción de las aguas para el riego.

#### 4.7.2.- Dimensionamiento.

Una vez fijada la capacidad de los canales es necesario elegir la forma geométrica. En general, los canales tendrán una sección trapezoidal en que intervienen los cinco elementos de diseño siguientes:

- 1.- El ancho de la plantilla, que se acostumbra designar con la letra "b".
- 2.- El tirante del agua, que se designa con la letra "d" ó "y".
- 3.- El coeficiente de rugosidad se designa con la letra "n".

Tepetates, tobas, pizarras, etc.	$n = 0.027$
Tierra	$n = 0.030$
Roca	$n = 0.033$
Revestimiento de mampostería	$n = 0.023$
Revestimiento de concreto	$n = 0.017$

Cuando se trata de materiales que presentan características especiales, para elegir el coeficiente de rugosidad "n", así como en canales que conducirán aguas claras que proporcionen el desarrollo de plantas acuáticas, se deberá incrementar el coeficiente de rugosidad "n" con el fin de tener un incremento de área y así contrarrestar en parte la reducción de la sección por crecimiento de plantas o depósito de azolves.

4.- La pendiente que se designa con la letra "S" debe ser en general la máxima que permita dominar la mayor superficie posible de tierras y que a la vez, de valores para la velocidad que no causen erosión del material en que esta alojado, ni depósito de azolves.



5.- Los taludes se designan como la relación de la distancia horizontal al desnivel en las paredes inclinadas, y se fijaran de acuerdo con la consistencia del material en el que se excava el canal. El talud en cada caso será dado de acuerdo con los resultados de los estudios de Mecánica de Suelos y se designa con las letras m, k ó z..

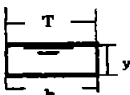
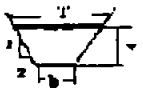
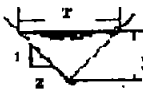

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho de la superficie libre T	Tirante y	Talud z
 <p>Rectángulo</p>	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$	$y$	$by^{1.5}$
 <p>Trapezoido</p>	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 <p>Triángulo</p>	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 <p>Círculo</p>	$\frac{\pi D^2}{8}$	$\frac{\pi D}{2}$	$\frac{D}{4}$	$(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin \frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{32(\sin \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$

Tabla IV.7.2.1 Elementos Geométricos y Secciones de Canales.

6.- Radio hidráulico. Una vez determinada la pendiente y el coeficiente de rugosidad, se puede hacer variar la velocidad variando el radio hidráulico, (r) que como se sabe la relación que existe entre el área hidráulica y el perímetro mojado, los cuales dependen del ancho de la base, el tirante y la inclinación de los taludes.

7.-Borde libre. Con objeto de tener un margen de seguridad en la operación de los canales, conviene dejar cierto desnivel entre la superficie libre del agua para el tirante normal y la corona de los bordos. A este nivel se le llama bordo libre y en cada caso se indicarán sus valores.



#### 4.7.3.- Velocidad.

Se sujetará a las siguientes condiciones:

1.- La velocidad media se determina por medio de la fórmula Manning.

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

2.- Para que no haya depósito de materiales sólidos en suspensión la velocidad mínima será de 0.40 m/seg.

3.- La velocidad máxima dependerá del tipo de suelo que quede alojado el canal. Estas velocidades máximas se indicarán cuando se estudie cada caso.

4.- Se admitirán velocidades mayores que la crítica únicamente en las rápidas, debiéndose tener cuidado de darle al canal una protección adecuada para evitar que se erosione.

5.- En los 100 metros inmediatos aguas arriba de las represas-toma, las velocidades no deberán ser mayores de 1.00 m/seg., para garantizar una correcta operación de las tomas y lograr una medida suficientemente aproximada de los gastos proporcionados por la toma.

Debe entenderse que esta velocidad máxima de 1.00 m/seg. será únicamente, en la proximidad de las tomas, y no necesariamente, será esta velocidad la de la conducción. La disminución de la velocidad se puede lograr ampliando la plantilla disminuyendo la pendiente del canal, en una distancia igual a "T" aguas arriba de la represa. Donde "T" será ancho de la superficie libre del agua de la sección ampliada, como se muestra en la figura 4.7.3.1

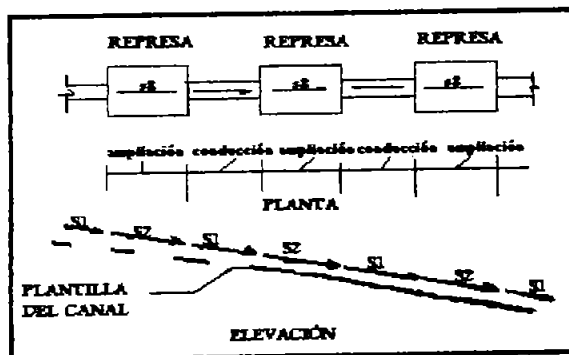


Figura 4.7.3.1 Superficie Libre



$S_1$  = pendiente en el canal de conducción

$S_2$  = pendiente en la ampliación del canal para operación

$$S_1 > S_2$$

#### 4.7.4.- Bordo Libre.

Con objeto de tener un margen de seguridad en la operación de los canales, conviene dejar cierto desnivel entre s.l.a. para el tirante normal y la corona de los bordos. A este desnivel se le llama bordo libre y en cada caso se indicará su valor.

**4.7.5.- Relación Plantilla-Tirante.** Para fijar la relación plantilla-tirante (b/d) que deben tener los canales en cada caso, se deben tener definidos:

- Talud.
- Tipo de revestimiento, en caso de ser necesario.
- Información completa de los suelos de zona.

Condiciones a estudiar para fijar b/d.

- Sección de máxima eficiencia.
- Problemas constructivos.
- Mínima filtración.

Condición de máxima eficiencia.- Es la que proporciona una relación plantilla-tirante:

$$b/d = 2tg \frac{\theta}{2}$$

En la que:

$\theta$  = ángulo del talud respecto a la horizontal.

Esta sección es la que da un mínimo de corte, usándose para canales revestidos.

Condición de mínima infiltración.- Es aquella que da una relación plantilla-tirante:

$$\frac{b}{d} = 4tg \frac{\theta}{2}$$



Talud	Ángulo	Máxima Eficiencia	Media	Mínima Filtración
Vertical	90 <sup>0</sup>	2.000	3.000	4.000
1/4:1	75 <sup>0</sup> 58'	1.562	2.342	3.123
2/5:1	68 <sup>0</sup> 12'	1.354	2.030	2.708
1/2:1	63 <sup>0</sup> 26'	1.236	1.854	2.472
3/4:1	53 <sup>0</sup> 08'	1.000	1.500	2.000
1:1	45 <sup>0</sup> 00'	0.828	1.243	1.657
1 1/4:1	38 <sup>0</sup> 40'	0.702	1.053	1.403
1 1/2:1	33 <sup>0</sup> 41'	0.605	0.908	1.211
2:1	26 <sup>0</sup> 34'	0.472	0.708	0.944
3:1	18 <sup>0</sup> 26'	0.325	0.487	0.649

Cuadro IV 7.5.1 Valores del cociente  $\frac{b}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$

#### 4.7.6 Determinación de la Carga Hidráulica Mínima en las Tomas-Granja.

En los canales de riego de la red de distribución, la ubicación de las tomas-granja depende de la lotificación proyectada en la zona de riego.

Se deberá tomar como base de diseño lo siguiente: extensión media del lote, una toma en el canal alimentador provista de una compuerta de servicio que se designa como "Toma-Granja" y que deberá tener la capacidad suficiente para servir al lote en función del área dominada.

Los dispositivos como los medidores estarán incorporados a las tomas granja o se instalarán aguas abajo de estas.

La carga hidráulica mínima en las tomas-granja que el proyectista debe asegurar, será lo que resulte de los tres pasos siguientes y que se ilustran en la figura 4.7.6.1.

- 1). En cada lote el proyectista determinará la elevación del terreno por regar en el punto o zona más crítica que por lo general son los más alejados de las tomas; a esa elevación se agregarán 15 cm. para obtener la carga hidráulica mínima de riego en esa zona.
- 2). Se considera una pendiente hidráulica adecuada a la regadera, entre el punto o zona crítica y la salida de la toma.

Esa pendiente multiplicada por la longitud estimada de la regadera hasta la toma, más los 15 cm. dará la distancia vertical "H" por agregar a la cota del terreno en la zona crítica, para obtener la elevación que debe mostrar el nivel del agua al pie o salida de la toma-granja y dispositivo de medición.



3). A la elevación del agua al pie de la toma-granja, se le agrega la diferencia de nivel adecuada ( $h_c + h_m$ ), para tomar en cuenta todas las pérdidas de carga en la toma granja y el dispositivo de medición que se adopte.

Esta dará la elevación mínima del agua, aguas arriba de la toma granja o sea en el canal alimentador frente a esta.

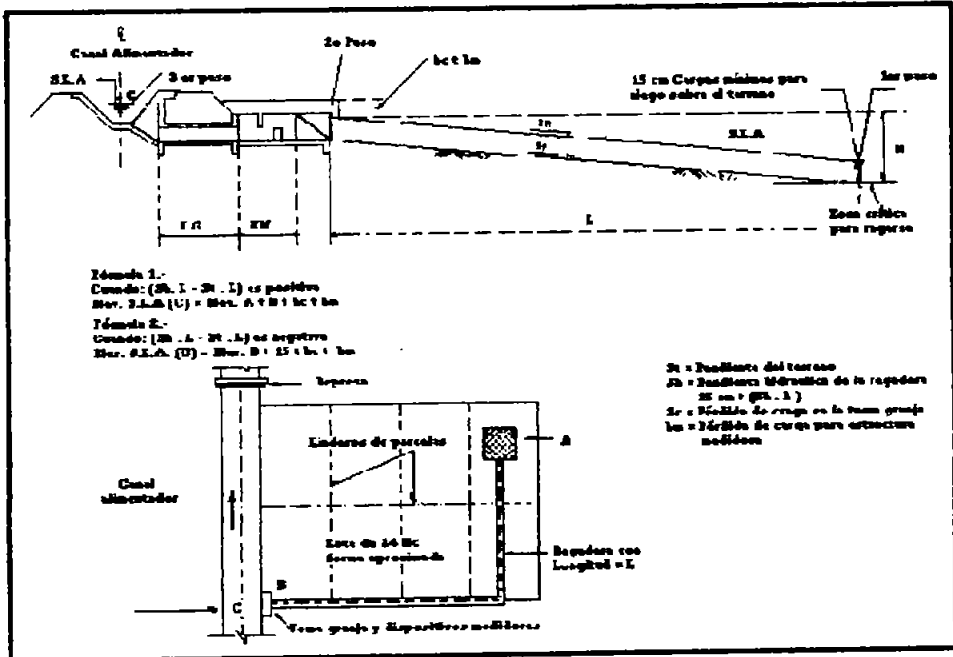


Figura 4.7.6.1 Determinación Hidráulica Mínima en la Toma Granja

#### 4.7.7.- Esguerrimiento del Agua en Canales.

Un canal es un conducto abierto en el cual el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión pues la superficie libre del líquido esta en contacto con la atmósfera.

De acuerdo a su funcionamiento hidráulico los canales se clasifican en:

#### Canales de Régimen Uniforme.

- a.- Esguerrimiento tranquilo
- b.- Esguerrimiento crítico
- c.- Esguerrimiento rápido



### Canales de Régimen Variado o no Uniforme.

- a.- Esguerrimiento gradualmente variado, que puede ser acelerado o retardado.
- b.- Esguerrimiento bruscamente variado (salto hidráulico).

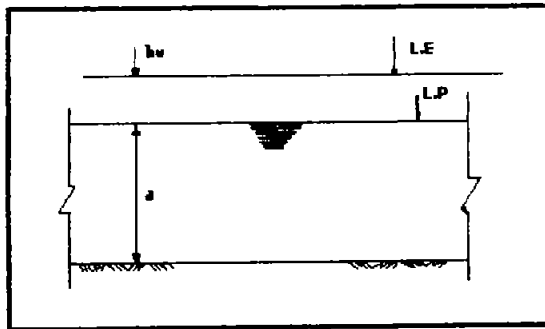
En una zona de riego los canales deben tener sección y características hidráulicas constantes (Régimen Uniforme) y una velocidad pequeña del agua que permita operar con eficiencia el sistema (esguerrimiento tranquilo).

Analizando las diferentes energías que se presentan en el movimiento del agua en un canal, se tiene:

La energía potencial ( $E_p$ ) denominada también mecánica o de presión se representa por el tirante ( $d$ ) o profundidad del agua en el canal.

La energía ( $E_c$ ) o de movimiento, se representa por la carga de velocidad ( $h_v$ ) en el canal.

La energía específica ( $E$ ) que es la suma de las dos anteriores.



La ecuación de la energía específica es:  $E = E_p + E_c = d + h_v = d + \frac{v^2}{2g}$

$$\frac{Q^2}{2g A^3} \text{ ----- Energía específica en un canal.}$$

Si se presenta gráficamente esta ecuación es un sistema de coordenadas cartesianas en las abscisas se tienen energías y por ordenadas tirantes.

La línea inclinada a  $45^\circ$  que pasa por el origen, representa a la energía potencial o tirante del agua en el canal.



La curva parabólica, a los ejes cartesianos "E" y "d", es la que representa a la energía cinética o carga de velocidad en el canal. La curva al eje de las abscisas "E" y una recta a 45° (Ep = d), representa a la energía específica o suma de las dos anteriores.

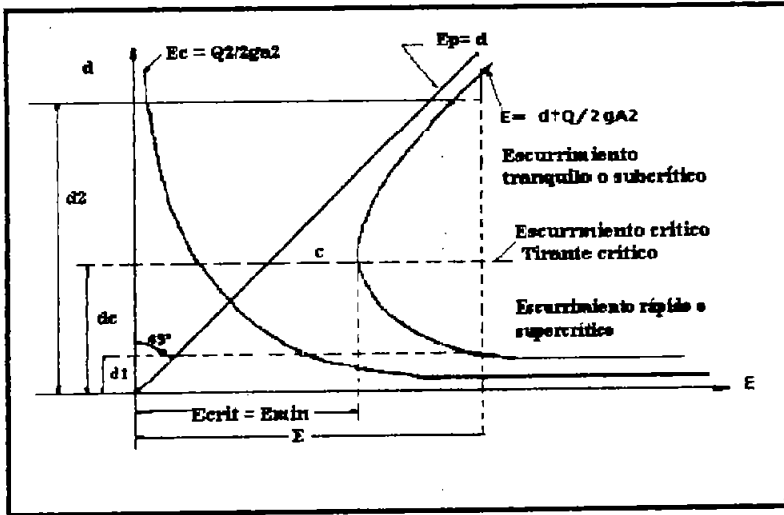


Figura 4.7.7.1 Curva de Energía Específica

Observando la curva de energía específica (E) se muestra que pasa por el punto "C" en el cual la energía es mínima, para la que existe un solo valor de tirante, este recibe el nombre de tirante crítico y se designa por "dc" al cual corresponde una velocidad llamada crítica. Al escurrimiento que se efectúa con el contenido mínimo de energía específica se le llama Régimen Crítico y a la sección en que se produce el tirante crítico se le denomina sección de control.

**Tirante crítico (dc).** Es la profundidad con la cual escurre un gasto Q en un canal con el mínimo de energía específica y que satisface la ecuación:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \text{ ----- Ecuación para el diseño de cualquier sección}$$

En la que:

Q = Gasto, en m<sup>3</sup>/seg.

g = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg.<sup>2</sup>.

A = Área hidráulica, en m<sup>2</sup>.

T = Ancho de la S.L.A. en la sección normal del canal en m.





**Tirante normal (d).** Es la profundidad con la cual escurre un gasto Q en un canal con régimen uniforme:

- En un escurrimiento tranquilo  $d > d_c$
- En un escurrimiento rápido  $d < d_c$
- En un escurrimiento crítico  $d = d_c$

**Pendiente crítica ( $\sigma$ ).** Es aquella con la cual escurre un gasto Q en régimen uniforme crítico y con una energía específica mínima; se calcula con la fórmula:

$$\sigma = \frac{A g n^2}{T r^{4/3}} \text{----- Ecuación para obtener la pendiente crítica}$$

En la que:

- $\sigma$  = Pendiente crítica.
- n = Coeficiente de rugosidad.
- T = Ancho de la S.L.A. en m.
- r = Radio hidráulico en m.

El régimen variado o no uniforme, se presenta cuando en un canal no se conservan constantes todos los elementos de la sección, de una sección a otra. Este flujo se presenta al existir variaciones en la velocidad media ocasionadas por un cambio en la sección del canal, una variación en la pendiente o por una estructura, así como un vertedor o compuerta interpuesta en la línea de flujo.

Todas estas alteraciones producen una variación gradual en el tirante a lo largo del canal, por lo que se le denomina Escurrimiento Gradualmente Variado; en un escurrimiento de estas características se presentan las siguientes alternativas o curvas de remanso (perfil de la s.l.a. a lo largo del eje del canal).

De acuerdo con la pendiente se clasifican en:

- Curvas "M".- Cuando la pendiente normal del canal es menor que la crítica ( $s_0 < \sigma$ ).
- Curvas "S".- Cuando la pendiente normal del canal es mayor que la crítica ( $s_0 > \sigma$ ).
- Curvas "C".- Cuando la pendiente normal del canal equivale a la crítica ( $s_0 = \sigma$ ).

En un canal con régimen gradualmente variado se distinguen tres zonas:

Arriba del tirante normal (d) y del tirante crítico ( $d_c$ ).

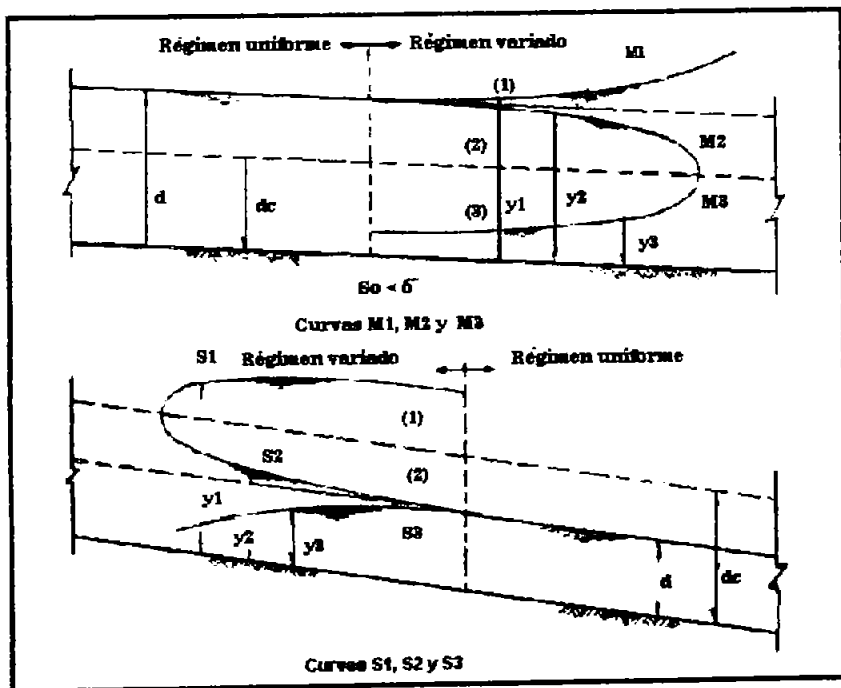
Entre los dos tirantes d y  $d_c$ . Debajo de los dos tirantes d y  $d_c$ .



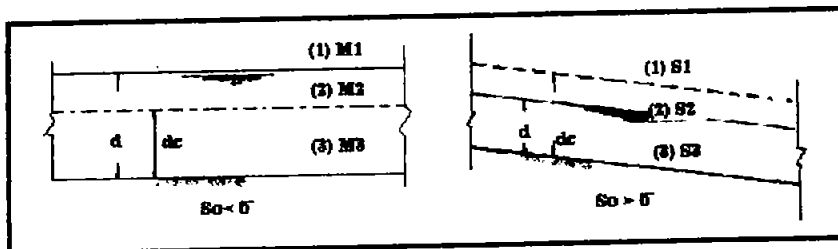
La zona en que todos losa tirantes (y) son mayores que el tirante normal (d) y el tirante crítico (dc) se le denomina zona (1).

La zona en que todos los tirantes (y) están comprendidos entre el tirante normal (d) y el tirante crítico (dc) se le denomina zona (2).

La zona en que todos los tirantes (y) son menores que el tirante normal (d) y el tirante crítico se le denomina zona (3).



Si se trata de un canal donde se llegue a presentar el régimen crítico  $so = \sigma$ , el tirante normal será igual al crítico ( $d = dc$ ), en tales condiciones desaparece la zona (2) y solo hay curvas  $C_1$  y  $C_3$ .





### Zonas Existentes en un Canal con Régimen Gradualmente Variado.

Así se tienen:

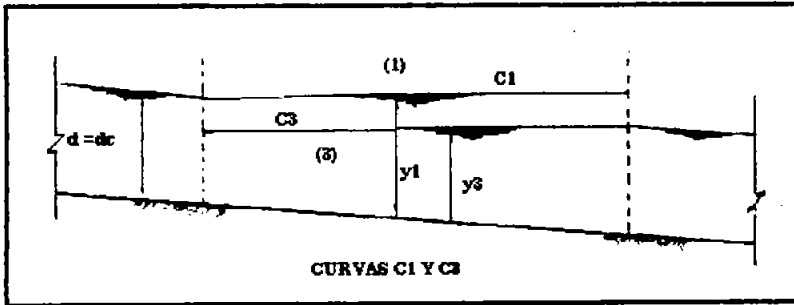


Figura 4.7.7.2 Representaciones del Régimen Gradualmente Variado en Canales de Riego

La fórmula que resuelve el régimen gradualmente variado es:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{so - \frac{V^2}{C^2 r}}{1 - \frac{Q^2 T}{A^3 g}} \text{----- Ecuación diferencial del remanso}$$

El numerador depende del tirante normal y el denominador del tirante crítico.

Para el cálculo de las curvas de remanso existen varios procedimientos, mencionando los siguientes:

- Procedimiento de Bresse para secciones rectangulares de gran ancho.
- Procedimiento de Tokmit para secciones sección, los siguientes procedimientos:
- Procedimiento de incremento finitos.
- Procedimiento de Bakhmeteff.
- Procedimiento de integración gráfica.

Cuando las profundidades del agua en el canal cambia bruscamente en una distancia relativamente corta, entonces se tiene el escurrimiento bruscamente variado.



Al fenómeno que produce este cambio brusco se le conoce como Salto Hidráulico y generalmente se genera cuando en una corriente rápida existe un obstáculo o un cambio brusco de pendiente; sucede por lo general al pie de estructuras hidráulicas, tales como vertedores de demasias, rápidas, caídas, salidas de compuertas con descarga de fondo, etc.

**4.8. Canales sin Revestir.**

a). **Las secciones de canales en tierra sin revestimiento.** Se usarán en zonas de suelos arcillosos pesados, en los que la pérdida de agua por infiltración es mínima y no se justifica su revestimiento por alguna razón. Si los estudios indican una impermeabilidad menor de  $3 \times 10^{-5}$  cm/seg los canales no deben de revestirse.

b). **Pendiente longitudinal.** Será escogida mediante la fórmula de Manning con un coeficiente de rugosidad de  $n = 0.030$ . En materiales como grava o roca, el valor de "n" será ajustado hacia arriba para tomar en cuenta el aumento de rugosidad.

c). **Perímetro mojado de los canales.** Debe quedar alojado en material compactado cuando una parte o la totalidad de la sección del canal quede arriba del terreno natural.

d). **Altura del terraplén por compactar.** La altura del terraplén por compactar arriba de la superficie máxima del agua en el canal, se muestra en la tabla siguiente:

Gasto (m <sup>3</sup> /seg)	Altura terraplén Por compactar (m)
0- 1.00	0.15
1.0- 2.8	0.20

El resto del bordo recibirá solamente la compactación que puede dar el equipo de transportación y colocación.

e). **Bordos libres de canales en tierra.** Para zonas de riego, los bordos libres de canales en tierra y el ancho de la corona para los bordos del canal sin camino recomendados, serán los siguientes en función del gasto:

Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Bordo libre (m)	Berma con camino (m)	Berma sin Camino (m)
0-0.5	0.35	4.00	1.50
0.5-1	0.40	4.00	1.50
1-2	0.50	4.00	2.00
2-3	0.55	4.00	2.00
3-4	0.60	4.00	2.00
4-10	0.70	4.00	2.00



**f). Velocidades admisibles en canal sin revestir.** Las velocidades medias deberán quedar entre los valores de 0.40 m/seg y 1.20m/seg. La velocidad seleccionada dependerá del tipo de suelos, la forma de la sección, el tirante máximo y de la cantidad de tamaño de sedimento que lleve el agua en suspensión. La velocidad media escogida se debe proporcionar por lo que a esta se refiere para tener una sección estable sin que permita un depósito excesivo de azolves para gastos pequeños o erosión cuando el canal trabaje a una capacidad máxima.

La velocidad máxima dependerá del tipo del suelo en que quede alojado el canal. La velocidad máxima permisible tendrá los siguientes valores:

<b>Material</b>	<b>(V m/s)</b>
Arena fina en condiciones inestables	0.30 m/s
Suelo arenoso	0.75 m/s
Arena arcillosa	0.90 m/s
Suelo arcilloso-arenoso o arcilloso limoso	1.10 m/s
Arcillas	1.00 m/s
Arenas	1.25 m/s
Gravas	2.00 m/s
Conglomerado	2.25 m/s
Rocas sedimentaria suave	2.50 m/s
Roca dura	3.00 m/s

Las velocidades máximas no deberán ser mayores de lo especificado, es decir:

$$V_{\text{máx}} \leq 0.8 V_{\text{crit}}$$

**g) Área adicional para azolves y crecimiento de hierbas.**

En los canales sin revestir para prever la reducción del área hidráulica del canal por el depósito de azolves y crecimiento de hierbas, se ha considerado conveniente incrementar el coeficiente de rugosidad original de 0.030 de modo que proporcione un incremento del 10% a 20% de área adicional.

Este incremento se hará según la capacidad del canal y de acuerdo con la siguiente tabla:

<b>Gasto m<sup>3</sup>/seg</b>	<b>Coefficiente de rugosidad</b>	<b>Área adicional equivalente</b>
0-1.00	n = 0.033	20%
1.00-2.00	n = 0.032	15%
2.00-6.00	n = 0.031	10%



## **4.9. Canales Revestidos.**

### **4.9.1. Criterios Generales.**

La necesidad o conveniencia de proponer un revestimiento de cualquier tipo en un canal de riego, se origina por los tres siguientes motivos:

- Reducir las pérdidas por filtración.
- Aumentar la velocidad media en el canal por razones de orden económico.
- Reducir los costos anuales de conservación.

El revestir un canal con cualquier tipo de material, necesita siempre justificarse económicamente. Los conceptos más importantes que intervienen en los estudios económicos son:

- Permeabilidad de los suelos.
- Permeabilidad del material considerado para revestimiento.
- El drenaje de las tierras colindantes en caso de ser necesario.
- Los valores de construcción por metro lineal de la excavación del canal.
- El costo de revestimiento.
- El efecto económico que representa el incremento en superficie regable por el mayor volumen de agua disponible, debido del ahorro del agua infiltrada.
- Los ahorros en derecho de vía que puede obtenerse.
- La reducción de las cargas anuales de operación y conservación.

La selección del tipo de revestimiento: Compactada, mampostería, asfalto o membranas enterradas, dependerá en cada caso del estudio económico respectivo que tome en cuenta todos y cada uno de los factores, así como también los conceptos adicionales.

## **4.10. Revestimiento de Canales.**

Las pérdidas de agua que pueden tenerse en un distrito o zona de riego, se pueden clasificar en inevitables y susceptibles de evitarse o disminuirse.

### **A. Pérdidas inevitables.**

- a). Evaporación.
- b). Infiltración en parcelas.



## **B. Pérdidas susceptibles de evitarse.**

### **a) Pérdidas de conducción en canales:**

- fugas.
- infiltración.

### **b) Pérdidas por distribución.**

### **c) Pérdidas en las parcelas, debidas a:**

- Distribución poco uniforme resultante de campos mal preparados y un defectuoso manejo del agua.
- Riego excesivo.
- Evaporación (evitable solo en parte).

## **4.10.1 Pérdidas de Agua en Canales.**

En condiciones normales, las principales pérdidas en canales son las debidas a infiltración en la conducción, distribución y en el riego directamente.

Factores que afectan la infiltración en canales sin revestir:

- Textura y estructura del suelo.
- Contenido de sólidos en suspensión en el agua que conducen los canales y velocidad de sedimentación.
- Relación de las dimensiones del canal al gasto.
- Capilaridad del material.
- Posición del nivel freático respecto del canal.

En resumen, las pérdidas por infiltración en canales excavados en tierra, se deben a presiones hidrostáticas, fuerza de gravedad, temperatura del agua y suelo así como tensiones capilares combinadas con los factores enunciados, variando a lo largo de cada canal, conforme cambian los factores que intervienen definiendo la permeabilidad en bordos y plantilla.



#### **4.10.2. Tipos de Revestimiento.**

##### **A. Revestimiento de superficie dura.**

- a) Concreto reforzado o simple, colado en el sitio o precolado en losas y bloques.
- b) Gunita (mortero aplicado neumáticamente).
- c) Suelo-cemento.
- d) Concreto asfáltico, colado en el sitio o precolado.
- e) Mampostería de piedra o tabique.

##### **B. Revestimiento de membrana expuesta.**

- a) Membrana asfáltica.
- b) Película de plástico y hule sintético.

##### **C. Revestimiento de membrana enterrada.**

- a) Membrana asfáltica aplicada en el sitio.
- b) Película de plástico y hule sintético.
- c) Membrana asfáltica prefabricada.
- d) Membrana de Bentonita.

##### **D. Revestimiento de tierra.**

- a) Revestimiento de tierra compactada.
- b) Colchones de tierra suelta.
- c) Mezcla de suelos.
- d) Mezcla de suelos con aditivos.





### **Efectos de un revestimiento.**

Los principales resultados del revestimiento de canales, son:

- Mejoramiento de características hidráulicas con respecto a canales de tierra.
- Evita la ruptura de bordos y fugas de agua a través de tuercas.
- Estabiliza la sección del canal.
- Permite mayores pendientes.
- Reduce el número y tamaño de las estructuras, ahorro de agua.
- Restauración al uso agrícola de tierras empantanadas y ensalitradas por infiltración.
- Reduce el costo de drenaje.
- Reduce el costo de operación y mantenimiento.

#### **4.10.3 Selección del Tipo de Revestimiento.**

Los factores que determinan la selección del tipo de revestimiento, son:

- Pérdidas por percolación.
- Costos anuales de conservación.
- Velocidad media baja en el canal, que por razones económicas hay que aumentar.

#### **4.10.4 Canales Revestidos de Concreto.**

##### **A. Sección del canal.**

Se proporcionará de tal forma que se acerque a la condición de máxima eficiencia, se usarán por lo general taludes 1:1 y eventualmente de 1.25:1.

##### **B. Coeficiente de rugosidad.**

Por lo general se utilizará un coeficiente de rugosidad de  $n = 0.017$ , pudiendo variarse a 0.018 ó a 0.020 dependiendo las condiciones específicas.



**C. Área hidráulica adicional.**

Cuando se proyecten en detalle las secciones tipo se debe tomar en cuenta lo siguiente: En las secciones con tirantes menores de 2.00 m. se considerará un área adicional de 15 % para canales con velocidades mayores a 0.60 m/seg., del 20 % para canales con velocidades menores a 0.60 m/seg.

Este incremento de área se dará para contrarrestar la pérdida del área hidráulica debida a las hierbas acuáticas y al deposito de azolves entre los periodos de limpia de los canales.

El aumento del área se dará mediante una disminución en la capacidad nominal del canal incluida en las tablas de características hidráulicas de las secciones tipo.

La sección incrementada será comprobada para la "n" de diseño reducida en 0.003, obteniéndose la velocidad máxima admisible cuyo valor será aproximadamente igual al 80% de la velocidad critica, debiendo cerciorarse que el funcionamiento hidráulico de canales y estructuras, incluyendo las tomas de riego sea satisfactorio desde el punto de vista del servicio.

**D. Velocidades.**

La velocidad máxima será igual al 80% de la velocidad critica y en la proximidad de las tomas, en un tramo de 60 a 80 m. aproximadamente aguas arriba, se comprobará que la velocidad media sea menor a 1 m/seg. La velocidad admisible para el concreto simple se puede considerar de 6m/seg.

**E. Espesor de los revestimientos, libres bordos y ancho de corona.**

Gasto m <sup>3</sup> /seg	Revestimiento (cm)	Bordo libre (cm)	Berma con camino (cm)	Berma sin camino (cm)
0-0.5	5	15	400	250
0.5-1	5	20	400	250
1-2	5	25	400	250
2-3	6	25	400	250
3-4	6	30	400	250
4-10	7	30	400	250

**F. Ranuras para el control del agrietamiento en canales revestidos de concreto.**

Una losa de concreto delgada se agrietará y a través de las fracturas ocurrirán filtraciones de agua en el canal.



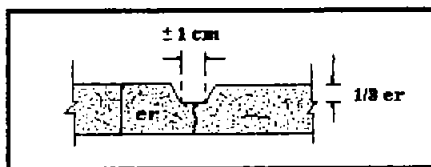
### G. Ranuras para el control del agrietamiento en canales revestidos de concreto.

Una losa delgada se agrietará y a través de las fracturas ocurrirán filtraciones de agua en el canal para determinar la localización de las grietas se ubicarán y trazarán ranuras longitudinales y transversales en el revestimiento; para evitar la filtración se sellan las ranuras, mediante la colocación de un sello plástico o mástique que puede ser Polysulfida Modificado, Plasticement de Protexa, Igas Pressure de Sika.

El sello sobre las ranuras se puede omitir solamente cuando los tirantes sean pequeños o cuando los suelos donde queda alojado el canal sean relativamente impermeables y el agua lleve en suspensión sedimentos coloidales, o bien cuando el revestimiento tenga exclusivamente como objeto otros usos diferentes del control de filtraciones.

El tipo de sello que se escoja estará en función de los costos y la disponibilidad de los productos existentes en el mercado.

La profundidad de la ranura después de haber fraguado el concreto debe tener una dimensión ligeramente mayor de un tercio del espesor del revestimiento, además la ranura debe tener en el fondo un ancho de un centímetro aproximadamente, con lo que se asegura que la ranura aloje un volumen satisfactorio de sello, como se puede usar en la siguiente figura.



Las ranuras longitudinales no son necesarias en secciones pequeñas, o cuando el canal es alojado en secciones estables. Cuando el perímetro mojado sea igual o mayor de 15.00 metros o cuando se tengan suelos inestables, las ranuras longitudinales se trazarán en ambos taludes a una distancia de la intersección de la plantilla y el talud de 30 a 60 cm. medidos sobre el talud.

#### 4.10.5. Revestimiento de Mampostería en Canales.

Cualquiera que sea el tamaño del canal se considera necesario que el concreto se apoye en una superficie lisa, y regular, debidamente compactada. Cuando se tenga sobreexcavación, esta se rellenará con suelo cemento u otro material adecuado debidamente compactado, de manera que el espesor del revestimiento no se reduzca en más de un 10 % y el espesor medio que se aproxime al del diseño.



Los terraplenes de los bordos en contacto con los revestimientos, deberán compactarse al 95 % de la prueba Proctor en caso de que se trate de suelos arcillosos. En suelos arenosos se deberá compactar al 75 % usando el criterio de densidad relativa, empleando el equipo vibratorio adecuado.

Los suelos limo-arenosos se compactan hidráulicamente mediante inundación previa a la excavación del canal, cuando este quede alojado fuera del espacio ocupado por un canal en servicio.

El tiempo de inundación será necesario para provocar la mayor parte del asentamiento del suelo y se tenga la compactación recomendable que indique las pruebas de Mecánica Suelos.

Los terraplenes con alturas mayores de 3 m. requerirán un diseño especial de sus respectivas secciones de acuerdo con la cimentación y los materiales disponibles.

**a) Coeficiente de rugosidad (n).**

Para canales revestidos de mampostería el valor de "n" será de 0.020 a 0.022 para radios de 1.20 a 5.00 m.

El valor de los taludes del canal por revestir dependerá de las condiciones de estabilidad de los mismos, siendo generalmente 0.4:1.

El espesor máximo recomendable será de 30 cm. tratando de reducirlo cuando sea posible.

**b) Bordo libre.**

Los bordos libres variarán en función del gasto, según la tabla que a continuación se muestra:

Gasto (m <sup>3</sup> /seg)	Hasta el revestimiento (cm)	Hasta la corona de los bordos (cm)
0-1	25	50
1-2	30	60
2-3	30	60
3-10	35	70
10-20	40	100

**c) Ancho de la corona de los bordos.**

El ancho de la corona de los bordos variará en función del gasto según la tabla siguiente:

Gasto (m <sup>3</sup> /seg)	Bordo c/camino (m)	Bordo s/camino (m)
0 - 4	4.00	2.00
0 - 10	4.00	2.50
0 - 20	4.00	3.00
0 - 40	6.00	4.00
0 - 60	6.00	4.00
0 - 100	7.00	

**d) Velocidades.**

La velocidad máxima será igual al 80 % de la velocidad crítica y en la proximidad de las tomas, en un tramo de 40 a 60 m. aguas arriba será como máximo de 1m/seg; la velocidad admisible para la mampostería se puede considerar:

$$V_{adm} = 3\text{m/seg.}$$

**e) Área hidráulica adicional.**

Quando se proyecta en detalle las secciones tipo debe tomarse en cuenta lo siguiente:

En las secciones con tirante de 2 m. o menores se considerará una área hidráulica adicional del 15 % para canales con velocidades mayores de 0.60 m/s y del 20 % para canales con velocidades menores de 0.60 m/seg. Este incremento de área se dará para contrarrestar la pérdida de área hidráulica debidas a las hierbas acuáticas y al deposito de azolves entre los periodos de limpia de los canales. Este aumento de área se hará mediante una disminución en la capacidad nominal del canal.

La sección incrementada será comprobada para la "n" de diseño reducida en 0.003, obteniéndose la velocidad máxima admisible cuyo valor será aproximadamente igual al 80% de la crítica, debiendo cerciorarse de que el funcionamiento hidráulico de canales y estructuras, incluyendo las tomas de riego, sea satisfactorio desde el punto de vista del servicio.

**f) Desfogues en canales.**

Se construirán desfogues parciales a cada 10 km. o donde haya un cambio sensible en la capacidad del canal.



#### 4.11 Planeación General de la zona de Riego.

La planeación general de la zona de riego es el proceso que se sigue para estructurar la forma de la red de distribución en función de la ubicación de las correspondientes redes de drenaje y caminos, determinado la localización y magnitud de tomas y estructuras necesarias en función del régimen de tenencia, forma y magnitud de lotes y parcelas por beneficiar con el servicio de riego.

Considerando que:

- La unidad fundamental de una zona de riego es la parcela.
- Un lote esta constituido por una o varias parcelas; siendo atendido por una toma granja de capacidad adecuada (50 l.p.s mínimo y 100 l.p.s. máximo para un lote hasta de 24 ha), localizada en un canal alimentador (canal principal, lateral o ramal) acompañada de su dispositivo de medición.
- Un lote debe tener acceso directo a un dren superficial para la evacuación de los sobrantes de riego y de las aguas de lluvia, sin perjudicar a los lotes colindantes.
- Un lote debe tener comunicación directa a un camino de red vial perteneciente al sistema de riego, de manera que facilite y haga posible la explotación eficiente de las tierras por cultivar.

Se harán los siguientes trabajos:

1.- Disponer de los planos a la escala adecuada que delimiten las superficies de la zona de proyecto.

2.- Proyectar el parcelamiento, la lotificación y la red de distribución correspondiente, incluyendo el canal o los canales alimentadores. Este proyecto se irá afinando por aproximaciones sucesivas de acuerdo con los resultados que se vayan obteniendo en los siguientes pasos.

3.- Para una lotificación y red de canales determinados, según las condiciones de topografía, de pendiente general del terreno y de que los canales queden alojados en excavación lo más posible; se procederá como sigue:

a).- Se definirá en cada lote el punto de control, entendiéndose por este punto el que define el nivel de operación en el canal alimentador para regar el lote, según la secuela mostrada, en el inciso 4.7.6.- Determinación de la carga hidráulica mínima en la toma-granja.

b).- Sobre los perfiles de los canales, en una zona dada, se ubicarán en una primera aproximación tanto las tomas de laterales como granja, así como las represas que van a darles servicio.

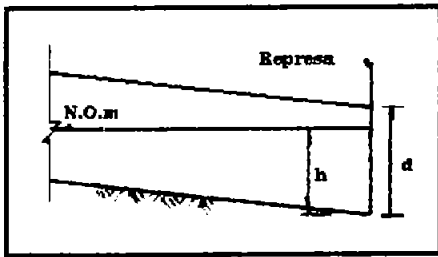


c).- Se localizarán en los canales alimentadores los niveles de operación necesarios enfrente de cada toma, para dar los caudales máximos requeridos de proyecto en dichas tomas; el punto de partida serán los puntos de control referidos anteriormente.

4.- Una vez definidos en cada tramo de canal los parámetros que limiten el diseño, se elegirá una sección tipo en una primera aproximación.

5.- Al llegar a este punto, la sección elegida se acomodará en el tramo en cuestión tratando de satisfacer las siguientes condiciones:

a).- En todas las tomas de laterales, ramales y tomas granja, el nivel de operación mínimo para derivar el gasto de proyecto, deberá estar definido por un plano horizontal situado a una altura "h" referida a la plantilla del canal en la represa, de acuerdo con las especificaciones siguientes:



d (cm)	h (cm)
Hasta 50	d-15
De 50 a 200	(d-15) a (d-30)

Esta condición define para una sección dada, la situación de la rasante longitudinal del canal y con ello las caídas que pudieran necesitarse, así como la parte del canal alojado en la excavación. Deberá tenerse especial cuidado, en esta etapa del diseño, de tomar en cuenta todas las pérdidas locales, para ir las acumulando y determinar así el gradiente hidráulico y rasante del fondo correspondiente.

b).- Hecho lo indicado en el punto anterior, se comprobará que por lo menos el 20% del tirante quede alojado en excavación, en la mayor parte del tramo del canal.

c).- De no satisfacerse las condiciones fijadas en los dos anteriores incisos conservando la sección tipo elegida, para aumentar el porcentaje de canal en excavación se podrán intentar según proceda en cada caso, los siguientes procedimientos:

c.1). Correr las tomas hacia aguas arriba; esto implicará ciertos cambios en la localización de represas y en los linderos de lote.

c.2). Ver la conveniencia de dejar sin riego los lotes colindantes a los canales. Esto generalmente se presenta en canales alojados en laderas.

c.3). Ensayar convenientemente una nueva lotificación, lo que puede implicar un cambio en la disposición de la red de distribución.



d).- Si con ninguno de estos procedimientos, se obtiene el resultado deseado, se puede cambiar la sección tipo repitiéndose toda la secuela.

e).- Si no obstante todo, la condición del 20% mencionado no se cumple, podrá ignorarse, como cuando se cruza un bajo, en cuyo caso según la importancia del canal podrá realizarse un estudio local de Mecánica de Suelos, determinando las características que deberán reunir los bordos en esas condiciones.

f).- Se deberá prever que el canal tenga una sobre capacidad en condiciones actuales de operación, entendiéndose que se invade al bordo libre, de un 25% adicional de capacidad y en las tomas-granja de un 50%.

La sobre carga estipulada más las fluctuaciones normales que resulten en la operación, pueden llenar parte del bordo libre, siempre y cuando el desnivel entre la s.l.a. y la corona del bordo no sea menor de 5 cm.

g).- Hasta donde sea posible, la rasante del canal se apegará a la topografía del terreno, utilizando caídas cuando así se requiera.

h).- Se tendrá cuidado de verificar la sección tipo finalmente seleccionada en los términos que a continuación se indican:

Las secciones se revisarán hidráulicamente para que no se rebase la velocidad límite, ( $v_{m\acute{a}x} \leq 0.8 \text{ cr\acute{i}t}$ ) usando una "n" de diseño disminuida en 0.003 a la del material que se trate y que corresponde a las condiciones del canal recién construido, asegurándose que el funcionamiento hidráulico de los canales y estructuras; incluyendo las tomas de riego, sea satisfactorio para el servicio que se requiere. Tomando como guía lo anterior, la planeación de la red de distribución, conviene llevarla a cabo como a continuación se indica:

Se formulará una planeación a escala pequeña (1:10,000 en zonas de riego) indicando la localización de los canales del sistema de distribución, drenes y caminos.

Con la localización del canal principal, según se mencionó anteriormente, se dibuja su trazo sobre los planos de la zona regable y se procede a proyectarla en planta, la red de drenaje, canales laterales y ramales.

Se delimitarán las divisiones principales de la zona de riego (superficie dominada por un lateral), limitada por el canal principal y dos líneas de drenaje natural, procurando dar una solución acorde a la topografía.

Se procurará proyectar los drenes siguiendo el fondo de los talwegs, que por lo general algunos confluyen para formar arroyos o cauces naturales. Esta red se señalará con pequeños trazos en forma de flecha, marcadas con color verde.





Una vez marcada la red de drenaje, se procede a localizar en planta los laterales cuyos canales tienen su origen en el canal principal y su desarrollo se hará (siempre y cuando la topografía así lo permita), siguiendo la línea del parte-aguas, localizado entre dos talwegs, en los que se han marcado líneas de drenaje. Al haber sido localizados los laterales por los parte-aguas, podrá dominar hacia ambos lados, por lo que se requiere proyectar las tomas (para ramal o toma-granja) de manera que permitan conducir el agua a todos y cada uno de los puntos de la zona regable.

Las tomas en los laterales se proyectan en base a la superficie mínima del lote la cuál depende de un gran número de circunstancias de orden técnico, económico y funcional; en zonas de riego, por lo heterogéneo de las condiciones que se presentan, la superficie mínima del lote se puede fijar en 6 ha y un máximo de 24 ha. con gasto de 50 y 100 l.p.s. respectivamente.

Los linderos de los lotes serán los laterales o ramales y las líneas de drenaje, procurando que tengan una superficie (área bruta) comprendida entre las dos mencionadas tendiendo siempre a la de 24 ha, en cuyo caso se tendrían menos tomas, dando por resultado un proyecto más económico. Una vez que se tiene elaborado el proyecto de la red de distribución y drenaje en esa división, se procede a obtener con planímetro el área bruta de cada uno de los lotes. Esta área bruta, verificada su superficie entre las dos (6 y 24 ha), permitirá aceptar como correcta la división principal que se trata, procediéndose con las demás.

Basándose en el plano a escala de doble magnitud (1:5,000). Partiendo de la superficie del lote hacia áreas mayores, indicando la localización de las tomas-granjas.

Posteriormente se elaborará un plano a escala 1:2,000 en el que se afinará la localización de los canales y drenes respetando, hasta donde sea posible, los linderos de propiedad.

Basados en la planeación elaborada y una vez que ha sido aprobada por quien corresponda, se hará el trazo en el campo de los diferentes canales y drenes, para que de acuerdo a la topografía se les hagan los ajustes necesarios, localizando las estructuras correspondientes.

Dentro de la planeación se deberá reservar determinadas superficies en donde se localizarán núcleos de población. Por lo general secundarios, situándose de tal manera que el campesino no tenga que recorrer más de dos kilómetros de la parcela a su casa habitación. Por cada cuatro o cinco núcleos de población secundarios se planeará un núcleo comercial secundario.

El siguiente paso es obtener la capacidad de cada uno de los canales en sus diversos tramos. Para obtener esta capacidad se procede a llenar la tabla H1 de 5 (pág. 138), en la cual se estipulan las áreas de riego que dominan los canales y tomas -granja, con los datos obtenidos al planimetrar las superficies de los lotes representados en los planos.



La **Tabla H-1 de 5** de áreas de riego, esta formada por siete columnas para registrar los datos correspondientes a cada toma, bien sean para ramal o granja en el canal principal de alguno de los especificados. En las columnas 1,3 y 5 se registran los kilometrajes de las tomas de acuerdo con su designación, y en las columnas 2, 4 y 6 se anotan las áreas brutas que dominan los canales cuyas tomas se marcan en la columna inmediata anterior.

El siguiente cuadro explica el uso que se le debe dar a cada columna de la tabla.

Columna	Uso
1	Para anotar kilometraje de tomas laterales y granja del canal principal.
3	Para anotar kilometraje de tomas ramales y granja del canal lateral.
5	Para anotar kilometraje de tomas granja del canal ramal.
2	Para anotar áreas brutas de los laterales y tomas granja del canal principal.
4	Para anotar áreas brutas de los ramales y tomas granja del canal lateral.
6	Para anotar áreas brutas de las tomas granja del ramal.
7	Para anotar el número de lotes de cada canal lateral o de toma granja del canal principal.

La suma de las áreas de las columnas 2,4 y 6 debe dar la superficie total de la zona de riego.

Se tomará un ejercicio práctico del esquema Ejemplo de Nomenclatura de Planeación (pág. 142). En este aparece un tramo de canal principal (K0 + 000 a K 2 + 100 ), con dos laterales 0 + 600 y 1 + 800 y con varias tomas granja; con los datos de kilometrajes, se procede a llenar la tabla. La primera toma sobre el canal principal, es la del km 0 + 300 que corresponde a una toma granja, se anota su kilometraje en la columna (1), según quedo explicado en el cuadro de usos para cada columna. Para establecer diferencias entre las tomas granja y las del canal lateral se marcan las primeras con un asterisco (\*). Como en las columnas 1 y 3 solo se registra el kilometraje de las tomas, en todas se marcará con un asterisco las que correspondan a tomas granja.

Como la toma del K 0 + 300 sobre el canal principal corresponde a una granja y riega solo un lote, en la columna (2) se anota el área bruta dominada o sea 9 ha. y en la columna (7), se anota un lote. La siguiente toma que se encuentra sobre el canal principal es la del lateral 0 + 600, cuyo kilometraje se anota a continuación del anterior en la columna (1). Dado que esta lateral tiene varias tomas-granja, el área bruta dominada por él, se computará después de que se hayan anotado las áreas parciales que se sumarán. La primera toma del lateral 0 + 600 es la toma granja 0+020 que se anota en la columna (3) con su área respectiva en la columna (4). Como en el km 0+300 hay dos tomas granja, primero se anota la de la derecha se le pone un \* y una D, y a continuación la del lado izquierdo con un \* y una I, con igual kilometraje. En el K 0 + 550 hay también dos tomas granja que se anotan de manera análoga a las anteriores. Se llega al kilómetro 1 + 000 y se encuentra el ramal para este cadenamamiento, se deja pendiente el dato de la superficie para pasarse a la columna (5) anotando las tomas granja del kilómetro 0 + 015, 0 + 380 y 0 + 700 y frente a estos en la columna (6) se registran las áreas dominadas por ellas.



Una vez terminado el registro de las tomas del ramal 1 + 000, y sus áreas en la columna (6) se suman estas poniéndola en la columna (4) en correspondencia con el ramal 1 + 000. Siguiendo con el lateral 0 + 60, se registran en la columna (3) las tomas granja 1 + 050 y 1 + 325 con sus áreas en la columna (4), se suman estas superficies adicionadas a las correspondientes de las otras tomas del canal lateral 0 + 600 y se coloca en la columna (2) en frente del lateral 0 + 600, registrando el número de lotes dominados que son 13 por este canal en la columna (7). Se vuelve al canal principal se registran las tomas granja del kilómetro 0 + 950 y 1 + 200 en la columna (1) y sus áreas en la columna (2). Colocando en la columna (7) el número de lotes dominados. Posteriormente se llega al cadenamamiento 1 + 800 en el cual esta el lateral que de ahí parte, colocando en la columna (1) tal estación, el dato del área dominada se deja la pendiente, registrando en la columna (3) los cadenamamientos 0 + 020, 0 + 280 y 0 + 650 con sus áreas en la (4) cuya suma se coloca en la columna (2) y el número de lotes en la columna (7).

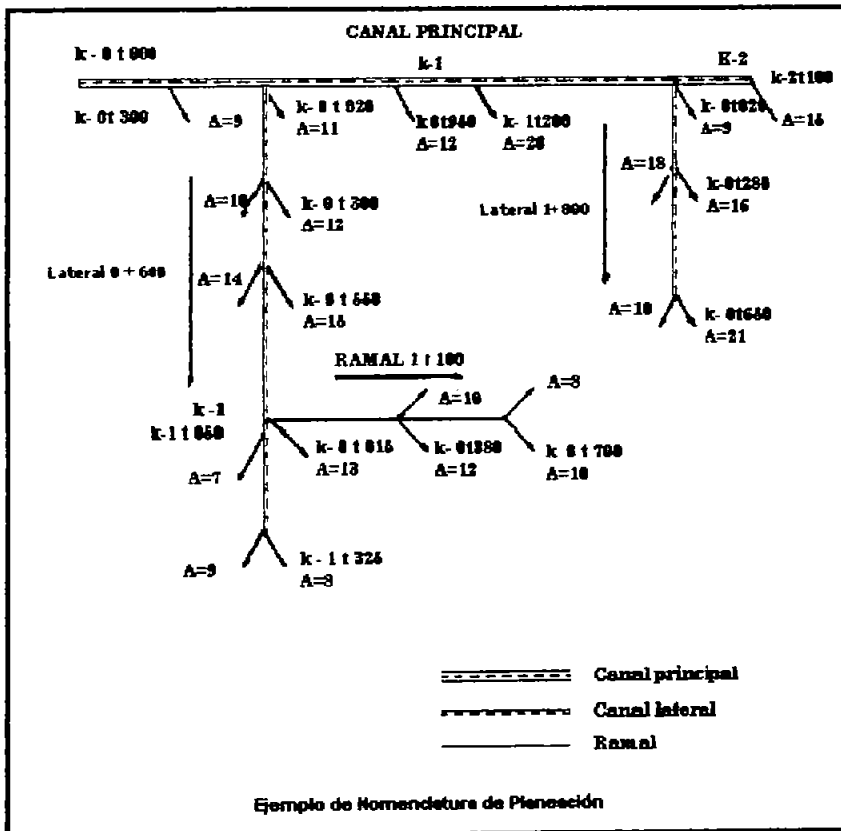


Figura 4.11.1 Nomenclatura de Planeación



## ÁREAS DE RIEGO

LATERAL O T.G *	AREA BRUTA	RAMAL O T.G*	AREA BRUTA	T.G	AREA BRUTA	NUM. LOTES
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
0 + 000						
0 + 300*	9					1
0 + 600	139	0 + 020*I	11			13
		0 + 300*D	10			
		0 + 300*I	12			
		0 + 550*D	14			
		0 + 550*I	15			
		1 + 000	53	0 + 015D	13	
				0 + 380D	12	
				0 + 380I	10	
				0 + 700D	10	
				0 + 700I	8	
		1 + 050*D	7			
		1 + 325*D	9			
		1 + 325*I	8			
0 + 950*	12					1
1 + 200*	20					1
1 + 800	74	0 + 020*I	9			5
		0 + 280*D	18			
		0 + 280*I	16			
		0 + 650*D	10			
		0 + 650*I	21			
2 + 100*	15					1
<b>TOTAL</b>	<b>269 ha</b>					<b>22</b>

## H 1 de 5

La suma total de las áreas de la columna (2) es el área bruta total que denomina la red estudiada y la suma de los datos registrados en la columna (7), es el total de los lotes en que se divide la superficie anterior.

Concluido lo anterior en rollos de papel milimétrico se dibuja previamente el perfil del terreno natural de cada uno de los canales de que consta la red (principal, lateral, ramal) y sobre este perfil se marcan las estaciones donde es necesario construir tomas, con la cota del nivel libre del agua en la toma, obtenida de la suma de pérdidas de carga ( $\sum P_c$ ), como mínimo arriba del nivel de la S.L.A. en el canal que recibe la derivación; una vez que se tienen marcados en el perfil de cada canal el nivel de la S.L.A. en cada una de las tomas, se unen estos puntos con líneas rectas y la pendiente de estas líneas será la que necesite tener la rasante del canal en cada uno de los tramos considerados. Esta pendiente "s" se anota en la columna (b) de la tabla H-2 de 5 (pág. 142) y en la columna (7) se anotan las estaciones en que es necesario construir represas. Una vez que se tienen vaciados los datos de las siete primeras columnas (según se detalla en la correspondiente al canal principal tabla H3 de 5, (pág. 139).



Se procede a diseñar la sección, que con la pendiente para cada tramo del gasto adoptado, cambiando de sección cuando se cuente con secciones tipo se escogerá la que de valores inmediatos superiores que los necesarios de gasto, adoptándose esos como definitivos.

Finalmente en esta misma tabla se marcan en dos ejes rectangulares la Gráfica de Áreas y Capacidades para cada ramal o lateral. En los ejes de las ordenadas se marca la capacidad adoptada de la columna (8) y la superficie de riego acumulada de la columna (4); en el que la abscisas se detallan los kilómetros del canal que se esta proyectando; sobre estos ejes rectangulares se dibuja la gráfica de capacidades (necesaria y adoptada) y la gráfica de áreas para cada canal lateral o ramal. Con los datos obtenidos para cada ramal, se acumulan en otra hoja de la misma Tabla H2 de 5 para el canal que lo abastece o sea el lateral (según se observa en las Tablas H2 de 5 y H2' de 5 págs. 143, y 144); quedando acumulados los ramales abastecidos por un lateral. Finalmente con los datos de cada uno de canales laterales se llena la Tabla H3 de 5, determinando las capacidades de los diversos tramos del canal principal, que corresponde a la hoja H4 de 5 (pág. 145).

Examinando esta gráfica y de acuerdo con las pendientes del terreno, se determinan ciertas capacidades para diferentes tramos del canal principal. El cambio de capacidad da origen a cambios de sección precisamente en los sitios en que cambia la capacidad. Así, la Tabla H3 de 5 se usara de la siguiente manera; en la columna (1) titulada "Toma", se anotan todas las tomas sobre el canal principal, especificando si son tomas simples o con alcantarilla para cruzar un camino de acuerdo con las abreviaturas que vienen en esa tabla.

CANAL PRINCIPAL DATOS PARA LA GRÁFICA DE ÁREAS CAPACIDADES										
TOMA	KM.	NÚM LOTES	ÁREA BRUTA	ÁREA POR REGAR	CAPACIDAD		DATOS HIDRÁULICOS			
					NECES.	ADOPT	s	v	b	d
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
G	0+300	1	9	269	0.410	0.500				
L	0+600	13	139	260	0.395	0.500				
G	0+950	1	12	121	0.300	0.400				
G	1+200	1	20	109	0.290	0.400				
L	1+800	5	74	89	0.270	0.400				
G	2+100	1	15	15	0.050	0.100				

PARA LATERAL  
(L Y A) PARA LATERAL Y ALCANTARILLA  
(G) PARA GRANJA  
(G Y A) PARA GRANJA Y ALCANTARILLA

H 3 de 5



Así, la Tabla H3 de 5 se usará de la siguiente manera; en la columna (1) titulada "Toma", se anotan todas las tomas sobre el canal principal, especificando si son tomas simples o con alcantarilla para cruzar un camino de acuerdo con las abreviaturas que vienen en esa tabla.

En la columna (2) se registra el kilometraje de cada una de las tomas; la columna (3) se llena con el número de lotes que sirve cada toma; en la columna (4) se anotan las áreas brutas dominadas por cada toma; la columna (5) se llena sumando de abajo hacia arriba las áreas brutas de la columna anterior; la columna (6) se llena auxiliándose con la gráfica, capacidad necesaria en los canales de acuerdo con la superficie dominada que se encuentra en la pág. 82 referencia 3, tomando como argumento la superficie por regar, se encuentra el valor del gasto que debe conducir el canal principal en cada tramo entre dos tomas consecutivas.

Con los datos anteriores se puede trazar la gráfica de áreas y capacidades, usando como abscisas el kilometraje de cada toma y como ordenadas las capacidades necesarias y las áreas por regar, según se ve en la Gráfica H4 de 5.

Como la capacidad correspondiente a la superficie dominada en cada tramo del canal principal puede tener variaciones muy pequeñas, en el caso de tomas-granja las dimensiones del canal principal varían en cantidades insignificantes, por lo cual se procede a formar grupos con varios tramos consecutivos del canal principal en los que sea posible dar el gasto requerido sin cambiar la sección; en la columna (7) se anotan las capacidades adoptadas, que en algunos tramos serán mayores que las necesarias estos cambios pueden estimarse de una manera objetiva al formar la gráfica H4 de 5.

Las cuatro columnas que siguen (s, v, b y d) Datos hidráulicos (gráfica H3 de 5), se refieren a las características del canal en el tramo anterior a la sección donde se encuentra la toma, estas corresponden al gasto adoptado.

Resumen general de la red de distribución. La Tabla H5 de 5 es un resumen numérico de toda red de distribución, ya que ella se registran los datos de todos los canales laterales y ramales con sus secciones; los datos hidráulicos de cada tramo; el volumen de terracerías y el número de estructuras de cada tipo.

En la primera columna de esta tabla se anota la toma para el canal abastecido; en la tercera columna se anota la longitud total del canal de que se trate y se le suma la longitud de todos los canales que de él dependan.

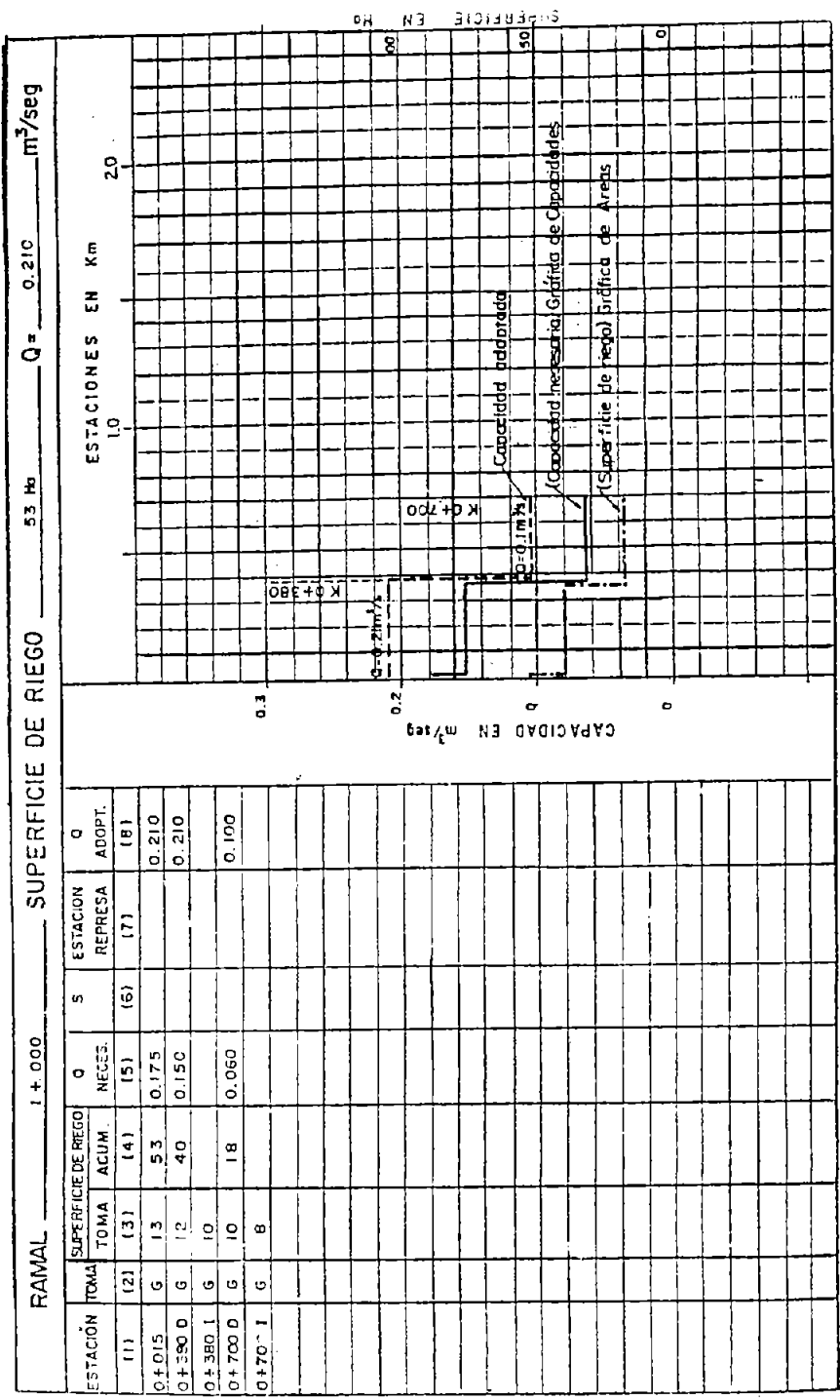
En las columnas 4ª, 5ª, 6ª, 7ª. Se anotan la plantilla, tirante, gasto y pendiente canal puede ir variando sus características hidráulicas anotadas en las cuatro columnas anteriores.



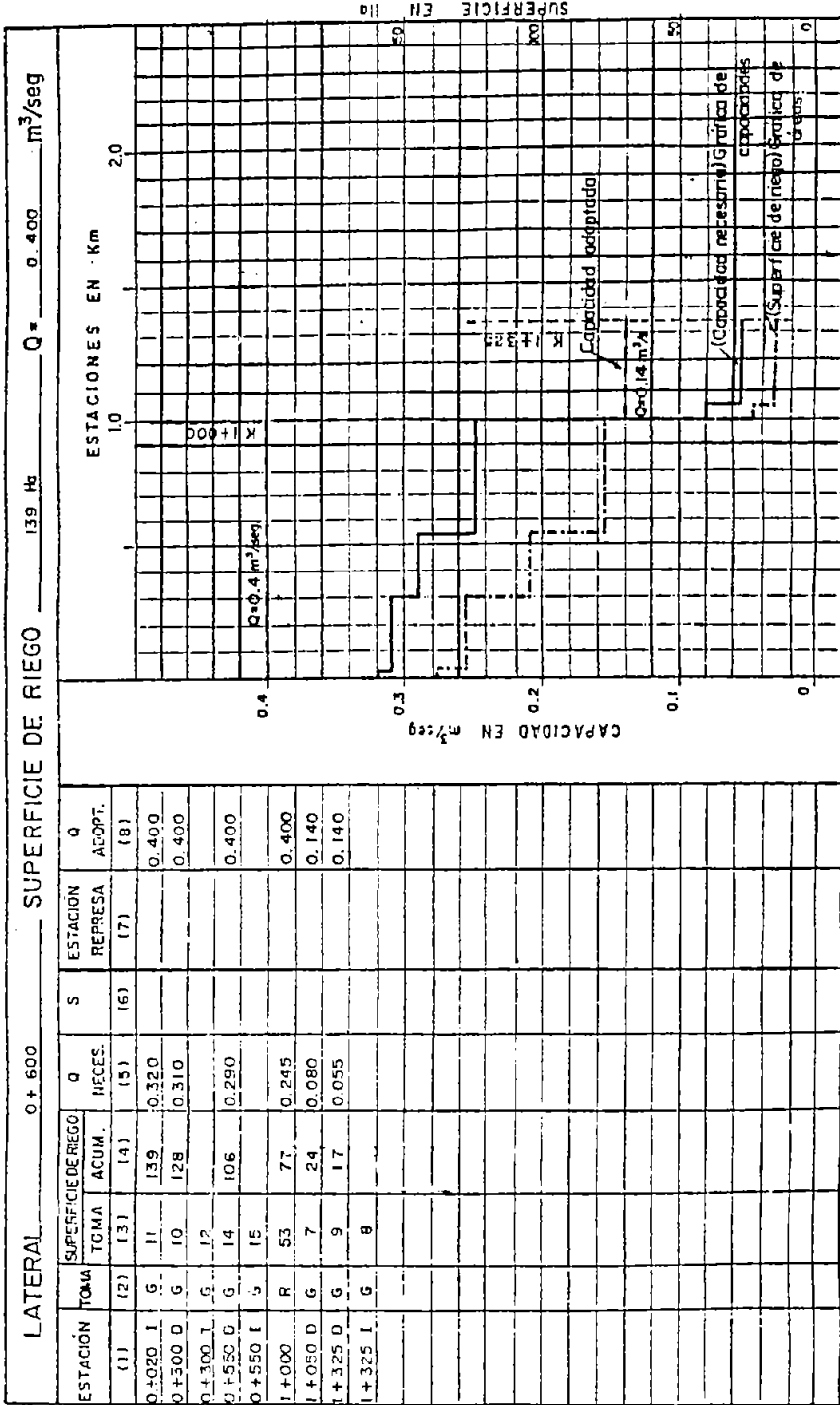
Estos distintos tramos que se han anotado pueden corresponder precisamente a las estaciones en que se desprende un ramal, entonces en las siguientes 4 columnas que son la 9, 10, 11 y 12, se anotan la plantilla, tirante, gasto y pendiente del ramal y en la siguiente columna 1ª 13ª, se anotan las estaciones iniciales y final del tramo que tiene las características de las cuatro columnas anteriores.

En las 3 columnas siguientes (14,15 y 16), se anotan los datos de excavaciones, préstamos y total de terracerías de cada uno de los tramos considerados.

Finalmente en las últimas columnas se anota el número de las estructuras que haya en cada tramo, de acuerdo a las abreviaturas expresadas en la tabla.

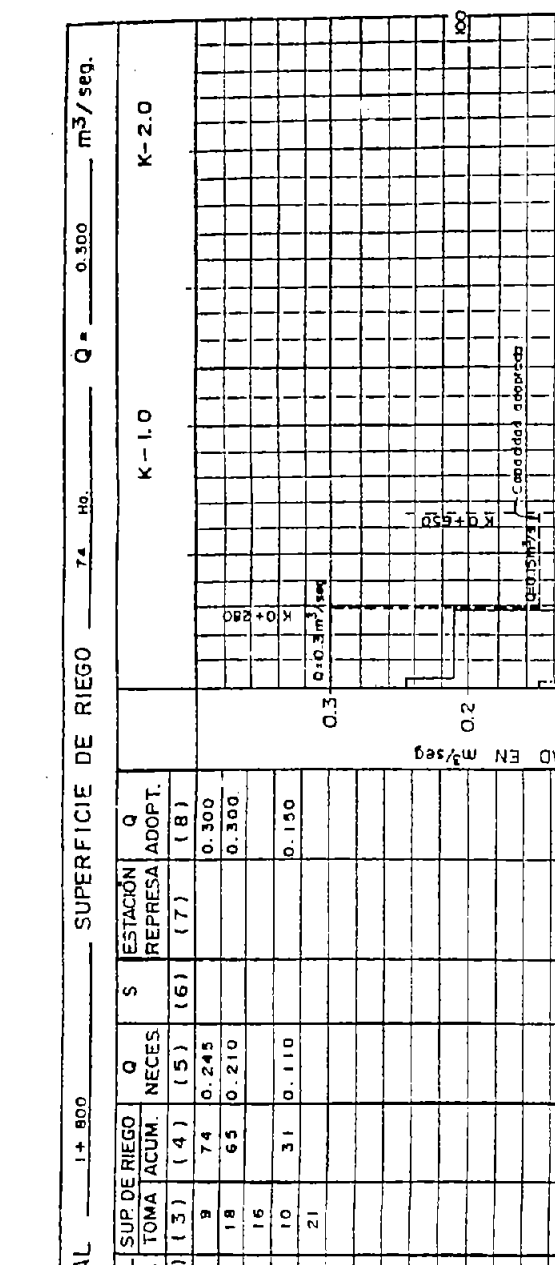






LATERAL 1+800 SUPERFICIE DE RIEGO 74 Hg. Q = 0.300 m<sup>3</sup>/seg.

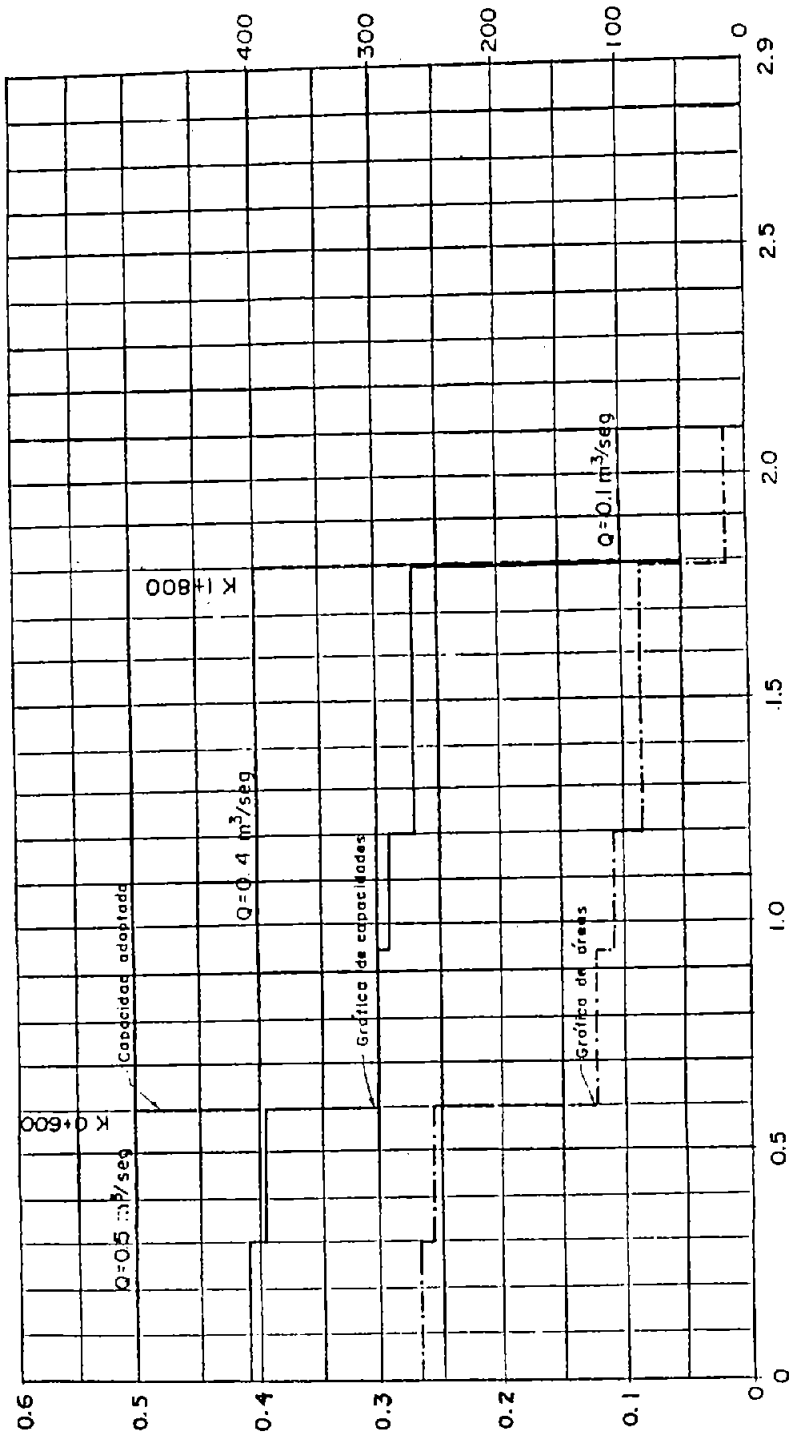
ESTACIÓN	TO. SUP. DE RIEGO		Q NECES.	S	ESTACIÓN REPRESA	Q ADOPT.
	MA. (2)	TOMA (3)				
0+020	I	G	9	74	0.245	0.300
0+280	G	G	18	65	0.210	0.300
0+280	I	G	16			
0+650	D	G	10	31	0.110	0.150
0+650	I	G	21			



Capacidad adoptada  
 Capacidad necesaria (Gráfica de capacidad)  
 Superficie necesaria (Gráfica de Areas)

# GRÁFICA DE ÁREAS Y CAPACIDADES

## CANAL PRINCIPAL



LONGITUD EN KILOMETROS

RED DE DISTRIBUCIÓN

TOMA	K/m	LONG. K/m	DATOS HIDRÁULICOS				TRAMO	DATOS HIDRÁULICOS				TRAMO	TERRACERIAS		G	E S T R U C T U R A S																							
			b	d	Q	s		b	d	Q	s		Evc.	Prót.		Total	dC	L	R	Rc	C	PR	FG	PC	P	D	r	S	Exp.										
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)																								
L	0+100	2.025					0+000																																
							1+000																																
							1+325																																
R	1+000	0.70						0.200				0+000																											
												0+390																											
												0+390																											
												0+700																											
L	1+900	0.650					0+000																																
							0+250																																
							0+250																																
							0+650																																

NOTAS: La longitud, estructuras y terracerías del lateral, comprende la de su red de distribución.

- ABREVIATURAS:
- G = Toma granja
  - dG = Doble Toma granja
  - L = Toma lateral
  - R = Represa
  - Rc = Represa caída
  - C = Caida
  - PR = Puento Repraso
  - FG = Puento Granja
  - PC = Puento camino
  - P = Puento
  - D = Destoque
  - r = Rápida
  - S = Sifón
  - b = Planilla
  - d = Tirante
  - Q = Gasto
  - s = Pendiente
  - Exp = Especial



## V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El producto de este trabajo como se menciona es el objetivo es contar con una metodología propuesto, en el análisis del proyecto.

Una propuesta es el considerar el diseño más usual de los diferentes tipos de canales y drenes que conforman una zona de riego.

Deberá ser necesario tomar en cuenta las diferentes alternativas de este trabajo en cuanto a las especificaciones que establece la C.N.A.

Finalmente, es importante mencionar que dentro de los proyectos en estudios de riego, es un trabajo multidisciplinario que lo conforman especialistas dentro de la Ingeniería Civil, como topógrafos, estructuralistas, geólogos, agrónomos, economistas, sociólogos, abogados, etc.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**AGUA DE BOMBEO.-** Es el agua que se extrae de los mantos subterráneos, de las corrientes o almacenamientos superficiales y que se eleva con el sistema mecánico hasta el nivel necesarios para su aprovechamiento.

**AGUA DE GRAVEDAD.-** Es el agua que se conduce desde el lugar de captación hasta su lugar de aprovechamiento por la acción de la gravedad utilizando la pendiente de las obras de conducción.

**AGUAS SUBTERRÁNEAS.-** Las aguas que se encuentren en el interior de la corteza terrestre, cualquiera que sea su origen . (aguas de lluvia, de origen interno).

**ÁREAS DE ASISTENCIA TÉCNICA.-** División del Distrito en zonas convencionales, a criterios de superficie, calidad de suelos, fuentes de abastecimiento, infraestructura, tenencia de la tierra, etc. En donde se asesora al productor lo relativo a los factores que intervienen en la producción: técnicas agrícolas y de riego, mercadeo, organización.

**ÁREAS POR FOLIAR.-** Es una evaluación del crecimiento de las plantas, su selección dependerá de un objetivo para la cual se necesita la medición del nivel de precisión deseado como son el tamaño de la muestra y la morfología de la hoja.

**BOCATOMA.-** Es un sistema para regularizar o controlar el paso del agua del río al canal

**CUENCA DE CAPTACIÓN.-** La zona cuyas aguas concurren a formar el caudal de una corriente, o los almacenamientos de un vaso.

**CULTIVOS DE HUMEDAD.-** Son aquellos que pueden prosperar y dar rendimientos económicamente satisfactorios, utilizando la humedad existente en el perfil del suelo, la cual proviene generalmente de filtraciones de depósitos continuos o de afloraciones.

**CULTIVOS DE TEMPORAL.-** No tratándose de las tierras comprendidas en los distritos de riego, se deben considerar los cultivos de temporal todos aquellos que es posible realizar aprovechando exclusivamente la humedad procedente de las lluvias.

**CLIMOGRAMA.-** Es un gráfico de doble entrada en el que se presentan los valores de precipitación y temperatura media de cada mes. Thornthwaite presenta una clasificación climática basada en clima, se presenta en las gráficas de evapotranspiración y esta dado en mm.

**DISTRITO DE RIEGO.-** Área dominada por obras de infraestructura hidráulica y manejada por el gobierno federal, en la que interactúan los factores: agua, suelo y clima que posibilitan una agricultura tecnificada.



**DISTRITO DE TEMPORAL TECNIFICADO.-** Áreas geográficas donde mediante el uso de técnicas se aminoran los daños que causa el temporal en zonas con lluvias fuertes y prolongadas. La tecnificación consiste principalmente en la construcción de drenes que desalojan los excesos de agua. A estas áreas se les denominan también distritos de drenaje.

**DOTACIÓN VOLUMÉTRICA.-** Superficie de riego de un distrito que recibe el servicio de entrega del agua por volumen.

**ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL VIRGEN.-** Parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.

**EFICIENCIA DE OPERACIÓN.-** Es producto de la relación que existe entre el agua entregada en la Parcela y el volumen del agua derivado de un río, de una presa o de otra fuente natural y la cual es conducida por un sistema de canales, produciéndose pérdidas por infiltración y evaporas principalmente.

**FOTOPERIODO.-** Espacio de tiempo o duración de luz en diversos fenómenos del crecimiento y desarrollo de las plantas.

**HOMOGENEIDAD.-** Compuesto cuyos elementos son de la misma naturaleza.

**ISOTERMAS.-** Líneas que unen los puntos de igual temperatura con el grado de calor.

**ISOYETAS.-** Líneas que unen puntos distintos donde se ha recogido la misma cantidad de precipitación.

**LÁMINA DE RIEGO.-** Cantidad de agua empleada para regar una superficie de tierra, medida por la altura en cms., que resulta de dividir el volumen de agua, entre la superficie regada.

**MELGA.-** Superficie de terreno que se divide con diques para sembrarse con igualdad.

**NITRIFICACIÓN.-** Es la combinación de nitratos con los mantos acuíferos subterráneos contaminándolos, además de contener otras bacterias o pesticidas que pueden causar problemas a la salud.

**NIVELACIÓN DE TIERRAS.-** Superficie de riego de un distrito o unidad en la cual se realiza trabajos de movimientos de tierra para que se den las condiciones topográficas que permitan un riego eficiente y una buena nacencia de la semilla.

**OBRA DE TOMA.-** Es la estructura o estructuras e instalaciones, construidas en una presa de almacenamiento, para extraer bajo control las aguas.



**RECUPERACIÓN DE SUELOS.-** Superficie de riego de un distrito o unidad en donde se efectuaron labores de eliminación de sales y acondicionamiento de suelos.

**REGIÓN ADMINISTRATIVA.-** Área territorial definida de acuerdo a criterios hidrológicos en la que se considera a la cuenca como unidad básica más apropiada para el manejo del agua y al municipio como la unidad mínima administrativa del país. La República Mexicana se ha dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas.

**SUPERFICIE COSECHADA.-** Es la total en la que se obtuvieron cosechas en el ciclo. Teóricamente, debe ser igual a la sembrada, pero suele ser menor por dos causas principales: siembras de cultivos frutales que darán cosecha en los próximos años y pérdidas de cultivos por plagas, enfermedades o factores climatológicos diversos.

**SUPERFICIE DOMINADA.-** Es la superficie total que abarca el distrito, incluyendo la ocupada dentro de sus límites por poblados, caminos, corrientes, zonas altas, obras hidráulicas, etc.

**SUPERFICIE REGABLE.-** Área susceptible de regarse en cada ciclo agrícola en función de las disponibilidades de recursos hidráulicos y de suelos.

**SUPERFICIE REGADA.-** Es la superficie que se ha regado en un ciclo dado, de acuerdo con las disponibilidades de agua y las solicitudes de riego hechas por los usuarios.

**SUPERFICIE CON SEGUNDOS CULTIVOS.-** Es la parte de la superficie regada en la que, después de levantada la cosecha principal, se puede sembrar un segundo cultivo, de tal modo que esa superficie el agricultor obtuvo dos cosechas en el mismo ciclo.

**SUPERFICIE SEMBRADA.-** Es aquella que se sembraron cultivos anuales en el ciclo o en la que existen cultivos perennes en pie. Debe ser sensiblemente igual a la total regada, incluyendo las superficies cultivadas de humedad o de temporal dentro del distrito, cuando existen.

**SUPERFICIE SUPERVISADA.-** Superficie de riego de una unidad, en la que la asociación de usuarios que la maneja, cuenta con la asesoría de personal técnico de la jefatura de unidades de riego del estado correspondiente.

**UNIDADES DE RIEGO PARA EL DESARROLLO RURAL.-** Pequeñas áreas dominadas por obras de infraestructura hidráulica y manejada por los productores, en las que interactúan los factores: agua, suelo y clima que posibilitan una agricultura tecnificada.

**USO CONSUNTIVO.-** Cantidad de agua que consume los cultivos para llegar a su total desarrollo, considerando el agua que se evapora directamente de la superficie sembrada, la que transpira el cultivo y, la que ocupa para la formación de sus tejidos.





## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Acosta A. Guillermo, de Azevedo J.M, Manual de Hidráulica, Editorial Harla, México D.F 1976
- 2.- Arteaga T., R. Eduardo, Normas y Criterios Generales que Rigen el Proyecto de un Bordo de Almacenamiento, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma de Chapingo, México 1975
- 3.- Arteaga T., R. Eduardo, Pequeñas Zonas de Riego Estudios y Proyecto Primera Parte, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma de Chapingo, México 1981
- 4.- Bruce Wither, Stanley Vipon, El Riego, Diseño y Practica, Editorial Diana
- 5.- Castañon Guillermo, Ingeniería del Riego, Utilización Racional del Agua, 2000
- 6.- Chow Ven Te, Hidráulica de Canales Abiertos, Editorial Mc Graw-Hill
- 7.- Comisión Federal de Electricidad, Manual de Obras Civiles, Hidráulica A.2.2 Obra de Toma para Plantas Hidroeléctricas, 1983
- 8.- Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, Edición 2003
- 9.- Dirección General de Distritos de Riego, Metodología Establecida para la Determinación de los Problemas de Drenaje en los Distritos de Riego de la República Mexicana, Memoradum técnico n<sup>o</sup> 341, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F 1975
- 10.- Dirección de Proyectos de Grande Irrigación, Proyecto de Zonas de Riego, Departamento de Canales, Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1977
- 11.- Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego, Editorial I.I.C.A., San José Costa Rica 1985
- 12.- Gurovich Luis A., Sistemas de Riego.
- 13.- Herrera Sotelo Luis E., Estudio de las Aguas del Canal de Xochimilco, para utilizarlas en una Red de Riego, E.N.E.P Aragón 1981
- 14.- Orive Alba Adolfo, Irrigación en México, Editorial Grijalbo, 1970
- 15.- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Diseño y Operación con Equipos de Riego, Material 395, México



---

16.- Sotelo Ávila Gilberto, Hidráulica de Canales, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodesica, Departamento de Hidráulica

17.- UNAM, E.N.E.P ARAGON, Estudio de Factibilidad Técnica de una Zona de Riego, 1988