

FECHA DE ADQUISICION	_____
NUM. DE INVENTARIO	_____
PROCEDENCIA	DONACION
NÚM. DE CATALOGACION	_____
PRECIO	_____

PROYECTO, LOCALIZACION Y TRAZO DE UN CANAL
EN EL DISTRITO DE RIEGO DE COLIMA, COL.

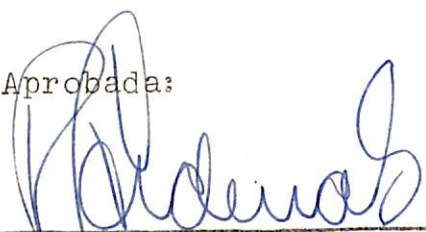
Por

JULIO MARTINEZ GARCIA

Tesis

que somete a la consideración del H. Jurado Examinador, como
requisito parcial para obtener el título de Ingeniero
Agrónomo.

Aprobada:


El Presidente del Jurado


El Director de la Escuela

UNIVERSIDAD DE COAHUILA
ESCUELA SUPERIOR DE AGRICULTURA "ANTONIO NARRO"
Buenavista, Coah., febrero de 1960

BIOGRAFIA.

El autor nació el 12 de abril de 1925 en el ejido de Mayrán municipio de San Pedro, Coah., siendo hijo del Sr. Juan Martínez (Q.E.P.D) y de la Sra. Ma. Cruz García Vda. de Martínez.

Cursó su instrucción primaria y secundaria en la Escuela - Rural del Ejido Mayrán y Escuela Práctica de Agricultura "Agua-nueva" de San Pedro, Coahuila durante los años de 1938-1943.

Ingresó a la Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro" en el año de 1945, recibiendo su certificado de pasante de Ingeniero Agrónomo en noviembre de 1949.

Trabajó en 1950 en el Distrito de Riego del Río Colorado - en Mexicali, Baja California; de 1951 a 1955 en el Comité Pro-Drenajes del Valle de Mexicali y actualmente en el Distrito de Riego de Colima, Col.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece su cooperación a los C.C. Extensionista en Tehuantepec, Oax. Ing. Felipe Rodríguez Cano y residente en Presa Derivadora de "Peñitas" en Colima Ing. José Lucio Islas.

También agradece la ayuda que le prestaron para la mejor presentación de este modesto trabajo, a los Catedráticos de la Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro", Dr. Roberto -- Rodríguez D. e Ing. Raúl Cárdenas C.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre

Con todo cariño a mi esposa e hijo

Con profundo y sincero afecto a mi madre y mis hermanos

Con eterna gratitud y respeto

A mi Escuela y a los Maestros que me impartieron sus
conocimientos.

CONTENIDO DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Valores de los espaciamientos	4
Tabla 2. Valores para (n)	8
Tabla 3. Capacidades necesarias en los canales de acuerdo con la superficie dominada	15
Tabla 4. Taludes necesarios según las características de los suelos	17

INDICE.

	Página
BIOGRAFIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO DE TABLAS	iv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
Determinación del Gasto de la Corriente	3
OBSERVACION Y ESTUDIO	11
Estudios Agrológicos	11
Canal Principal	12
BIBLIOGRAFIA	36

INTRODUCCION

Siendo nuestro país netamente agrícola y ganadero, el Gobierno Federal le ha dado un gran impulso a estos aspectos a través de la Secretaría correspondiente.

La Secretaría de Agricultura, introduciendo métodos modernos de cultivo, uso de abonos, insecticidas, semillas mejoradas, maquinaria moderna, así como en el ramo de la ganadería, se han importado sementales para el mejoramiento de nuestro ganado - - criollo, lo mismo que se han establecido plantas de inseminación artificial que reportan magníficos resultados al ganadero en pequeño principalmente.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos también a contribuido a este progreso, construyendo obras que sirven para aprovechar el agua que antes se perdía en gran parte o que perjudicaba los cultivos, inundándolos por no haber medio de controlar las grandes avenidas.

Por todo esto, la Secretaría de Recursos Hidráulicos ha dividido al país en cuencas hidrológicas estableciendo en cada una de ellas, estaciones de aforo que por medio de observaciones directas e indirectas, logran cuantificar los recursos hidráulicos de todas las corrientes para que, tomando en cuenta el incremento que en los últimos años han tenido las obras de irrigación - en el país, se cuente en el futuro con datos exactos en el conocimiento de los regímenes de dichas corrientes.

Expuesto lo anterior, en seguida se explica las condiciones

que debe llenar el proyecto y trazo de un canal principal para un buen funcionamiento, ya que éste es el tema de la presente tesis:

El canal principal deberá localizarse de tal manera que domine la mayor parte de la superficie por regar, ya que hay que tener en cuenta la posibilidad de construir una obra de almacenamiento que aumentará los recursos hidráulicos aprovechables y como consecuencia aumentará la superficie irrigable. En estas condiciones, con solo modificar su sección, podrá seguir funcionando como canal principal.

El gasto o volumen de agua que deberá conducir el canal, - se determinará en función de la superficie por regar y del coeficiente de riego, considerando las condiciones agrológicas de la zona que se pretenda regar.

Es necesario conocer también la constitución geológica del terreno en donde irá el canal, con el objeto de determinar:

1. Pérdidas por conducción
2. Inclinação de los taludes
3. Coeficiente de rugosidad

Su pendiente será tal que la velocidad resultante no deberá producir azolves ni erosionar la base y taludes del canal.

REVISION DE LITERATURA.

Determinación del Gasto de la Corriente.

Para determinar el gasto de la corriente para el abastecimiento del agua de riego se cuenta con un método directo y un método indirecto.

En forma general se explica a continuación la forma de operar para llevar a cabo las observaciones y obtener los datos necesarios para el conocimiento del régimen de una corriente:

Una serie de observaciones practicadas en la misma determinan su gasto, las cuales se hacen en estaciones de aforo que registran (1) las fluctuaciones del nivel de la lámina de agua -- (2) la sección del río y (3) la velocidad media de la corriente, contándose así con datos suficientes para calcular el volumen de agua que pasa por una sección cualquiera de la corriente en la unidad de tiempo, que es el segundo.

A esta serie de observaciones que se practican, se le denomina aforo.

Las estaciones de aforo deben llenar ciertas condiciones -- siendo algunas de ellas las siguientes:

Elección del Tramo. El tramo, indistintamente del método que se siga, deberá ser lo más recto posible, con una longitud en tangente de 50 metros, procurándose que sea regular, sin obstáculos (árboles, piedras grandes, basura detenida, etc), que impida el curso libre del agua.

Los métodos usuales para determinar el gasto de una corriente

te son el directo (sección y velocidad) y el indirecto (sección y pendiente hidráulica).

En el método de sección y velocidad, se determina la primera por medio de sondeos que permiten conocer la profundidad del agua en diferentes puntos de la misma, cuyas distancias horizontales están referidas a un punto fijo llamado origen y los espaciamientos se hacen considerando el ancho de la sección y la rugosidad del fondo del cauce. A continuación se dá una tabla -- con valores correspondientes a dichos espaciamientos.

Tabla 1. Valores de los espaciamientos.

Ancho				Espaciamientos
metros				metros
Hasta			1.20	0.20
de	1.20	a	2.10	0.30
"	2.10	"	4.00	0.50
"	4.00	"	8.00	1.00
"	8.00	"	15.00	1.50
"	15.00	"	25.00	2.00
"	25.00	"	50.00	3.00
"	50.00	"	100.00	4.00
"	100.00	"	en adelante	5.00

Para determinar la distancia vertical entre un punto de la superficie del agua y el fondo del cauce, se utilizan las sondas rígidas o flexibles, siendo las segundas las que mayor uso tienen en la práctica y consisten en un cable o cadena llamado son

daliza, que tiene en el extremo inferior un plomo llamado escan
dallo, de forma tal, que debe presentar la menor resistencia po
sible a la corriente.

La posición de los sondeos a lo largo de la sección de afo
ros, se va determinando por medio de marcas hechas previamente
en la estructura, si ésta es un puente, o fijadas en un cable -
auxiliar tendido de una margen a la otra, si se trata de una es
tación de cable. Estas marcas, se colocan generalmente a inter
valos iguales al espaciamiento en que se deben practicar los --
sondeos, que como ya se dijo antes, es variable de acuerdo con
el ancho de la sección y la regularidad del cauce, midiéndose -
aquellos horizontalmente a partir de un punto llamado origen y
el cual, deberá estar situado fuera de la parte que invaden las
aguas en sus máximas avenidas, anotándose dichas distancias con
forme se vayan haciendo los sondeos. Es importantísimo tener -
especial cuidado al tomar las lecturas que fijan la posición de
las orillas del agua y que generalmente, son puntos de profundi
dad nula.

En el caso de que la corriente tenga un cauce invariable,
conviene tomar cuidadosamente el perfil de la sección, ya sea -
por medio de los sondeos, o bien con nivel montado, si es posi
ble, para concretarse más tarde a observar únicamente las velo
cidades cuando se efectúen los aforos. Conviene repetir los --
sondeos periódicamente para verificar la sección, y cuando se -
note cambio en ella, se procederá a hacer la modificación corres
pondiente. Obtenida la sección, la velocidad media de la corrien

te se determina por cualquiera de los métodos antes mencionados (directo e indirecto) utilizándose para el primero, los flotadores y el molinete hidráulico; en el segundo, como su nombre lo indica, dicha velocidad se determina por medio de la pendiente hidráulica, en forma analítica.

El molinete hidráulico es el que se usa con más frecuencia en los aforos, explicándose a continuación, la forma en que se llevan a cabo los trabajos con el mismo:

Consta el molinete hidráulico de una hélice o una rueda de aspas o copas, que accionada por la fuerza de la corriente, gira alrededor de un eje montado en un dispositivo de suspensión, transmitiendo su movimiento a un sistema registrador que permite conocer el número de vueltas que da la hélice o rueda con un tiempo determinado. La relación entre la rapidez con que gira y el tiempo en segundos, es proporcional a la velocidad de la corriente. Esta velocidad se deduce del número de revoluciones que da la rueda al ser accionada por el agua en segundos de tiempo para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$V = a + bn + cn^2$$

en la que

V = velocidad media de la corriente

a, b, c = coeficientes que dependen del instrumento

n = número de revoluciones por segundo

En las cajas de los molinetes, están anotados los valores de las constantes, formándose con ellos tablas que dan la velocidad en función del número de revoluciones por segundo.

Cuando hay fuertes avenidas en la corriente, no es conveniente para el aforo utilizar el aparato antes indicado, por el peligro de que se destruya o averíe con los objetos que arrastra la corriente, indicándose en ese caso para la determinación de la velocidad el método indirecto.

Este método consiste en obtener la velocidad media de la corriente por medio del cálculo, empleando para ello, los elementos necesarios que se determinan por observaciones en las estaciones de aforo. Para el caso se utilizan fórmulas empíricas como la debida a Chezy, que es:

$$V = C \sqrt{Rs} \dots\dots (1)$$

en la que

V = velocidad media de la corriente

C = coeficiente de gasto que depende de la naturaleza del cauce, del radio hidráulico y de la pendiente.

s = pendiente hidráulica

Para C hay varios valores debidos a distintos autores, -- siendo el de uso más frecuente el que da la fórmula de Manning:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

la que substituida en la (1) da la siguiente:

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

en la que (n), es un coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza del cauce.

En consecuencia, el aforo, consiste: lo. en determinar --

los valores para (n), considerando la naturaleza de los materiales que constituyen la sección del cauce y el estado en que este se encuentre. De acuerdo con lo anterior se dan a continuación una serie de valores para (n) debidos a Horton (tabla 2).

Tabla 2. Valores para (n)

Cauce	Condiciones de las paredes			
	Perfec- tas	buenas	media- nas	malas
1. Limpio, bordos rectos llenos, sin hendeduras ni charcos profundos.	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual al primero pero con algo de hierba y piedra.	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuosos, con algunos charcos, limpio.	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual al 3, de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente.	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual al 3, con algo de hierba y piedra.	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual al 4, secciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado con charcos profundos.	0.050	0.060	0.070	0.080

El valor de (R), se determina por la lectura en la escala observada y depende de la gráfica construida con los datos obtenidos por los levantamientos de las secciones hechos con nivel montado.

El valor de (s), que resulta de dividir la diferencia de -

lecturas hechas simultáneamente en las escalas situadas en los extremos del tramo de aforos, entre la longitud del mismo, y por último, para cuando se tiene que calcular el gasto por medio de la fórmula: $Q = AV$, obteniéndose el valor de A de la tabla de valores formada al hacerse el levantamiento de las secciones -- que delimitan el tramo de aforo.

Los aforos se harán a diferentes niveles mientras la sección del cauce conserve las mismas condiciones que al iniciarse éstos, y con los datos que se vayan obteniendo, se irá construyendo la curva de gastos de la corriente, que servirá más tarde para proyectos posteriores.

El método de sección y pendiente hidráulica, se aplica con suficiente aproximación cuando se trata de estimar gastos de corrientes en grandes crecientes, para lo cual hay necesidad de observar las huellas dejadas por el agua y como se dijo anteriormente, cuando los aforos directos son impracticables.

Es de importancia, determinar en las mismas estaciones de aforo, las cantidades de sedimentos que lleve la corriente, ya que éstos influyen directamente en el proyecto de la presa y -- del canal principal.

Con los datos proporcionados por las estaciones hidrométricas de la región, se determina el gasto mínimo de la corriente por aprovechar en las condiciones más desfavorables, o sea, el caso de una presa de derivación en época de estiaje, siendo de capital importancia el conocimiento del mismo, para el proyecto

del sistema de distribución, en virtud de que la superficie por regar y las condiciones del riego, están en función directa del mismo; tomando como unidad de superficie (una hectárea) requiere un litro de agua por segundo para satisfacer las demandas me dias de los cultivos a que se dedique dicha superficie

Explicada en forma general como se determina el gasto de - la corriente, se procede en seguida al desarrollo

OBSERVACION Y ESTUDIO

Estudios Agrológicos.

1. Clasificación de tierras. Los estudios agrológicos de una zona de riego, tienen como objeto conocer las posibilidades agrícolas de los suelos que la integran, así como la determinación del coeficiente de riego, considerando el área por regar - y los cultivos a que se destinarán las tierras.

Para llevar a cabo éstos estudios es indispensable contar con los planos topográficos de la zona considerada, puesto que éstos, sirven de base para la formación del plano agrológico, - en el que se fijan las zonas que son susceptibles de dedicarse a determinados cultivos y con relación a ellos, el número de -- riegos, con el fin de completar su ciclo vegetativo.

Para la clasificación de las tierras, se consideran: (1) - calidad, (2) topografía, (3) alcalinidad y (4) drenaje. De -- acuerdo con ello se determinan las superficies destinadas al -- cultivo, marcándose en el plano respectivo, y distinguiéndose - unas de otras en forma convencional por medio de colores.

2. Limitación de la zona de riego. Para la limitación de dicha zona de riego habrá necesidad de calcular la demanda de - agua en función de las superficies antes mencionadas y del coeficiente de riego, expresado como una lámina de agua cuyo espesor varía de acuerdo con el cultivo considerado y relacionado a una superficie unitaria, entendiéndose que esta demanda será el volumen requerido para satisfacer las necesidades de un solo -

riego.

Como el ciclo vegetativo de los cultivos, requiere un número variado de riegos en diferentes épocas del año, se calcula cuál es el mes de máxima demanda y en función de ésta, el volumen de agua necesario para satisfacerla, determinando a su vez el gasto por segundo que se obtiene al dividir el volumen total entre el número de segundos de tiempo en un mes. En general, la suma de las láminas de agua necesarias para el riego de máxima demanda, multiplicada por la superficie que se necesita regar en ese mes, da el volumen o gasto de máxima demanda; considerando desde luego las pérdidas que por filtración y evaporación tenga el canal principal en su tramo de conducción.

Comparando el valor del gasto por segundo obtenido en la forma antes expuesta, con el correspondiente a la corriente alimentadora, también ya conocido, se puede determinar la ampliación o reducción de la zona de riego, fijando el límite de la misma.

Hasta aquí, en forma general, se han ido determinando cada uno de los elementos más indispensables para el proyecto de un canal principal, como son: aprovechamiento hidráulico con su --gasto disponible, y demanda de agua para el riego.

Canal Principal

El canal principal es la obra primordial del proyecto para conducir y distribuir las aguas almacenadas, o bien, derivadas directamente del río por medio de una presa de derivación. Como su función al llegar a la zona de riego, es la de abastecer

a los canales laterales que de él se deriven, éste, topográficamente, se localizará en la parte dominante del área regable.

Los canales laterales constituyen lo que se denomina red de distribución, y se dividen en laterales primarios, laterales secundarios, y ramales. Los primeros, que tienen su origen en la bocatoma construida para el caso en el canal principal, son los que dominan las divisiones principales del área regable y abastecen de agua a los segundos o sean a los secundarios. Estos últimos se utilizan para ramificar en dos o más canales a los primarios. Por último, los ramales constituyen las ramificaciones finales de la red, siendo abastecidos a su vez por los canales secundarios.

Para la regulación, división y manejo del agua, hay necesidad de proyectar y construir una serie de estructuras tales, como las que en seguida se enumeran:

Represas. Sirven para el control y elevación del agua con el objeto de que el canal principal conduzca un gasto suficiente para el abastecimiento de los canales laterales y las tomas directas.

Bocatomas. Estas estructuras sirven para la derivación -- del agua del canal principal a los laterales.

Caídas y Rápidas. Indicadas en aquellos casos en que la inclinación del terreno natural es mayor que la rasante del canal, resultando una pendiente excesiva.

Puentes y Alcantarillas. Para el cruce de caminos, etc.

Sifones, Desfogues y Puentes-Canales, etc. Son estructuras que en cada caso sirven para protección del sistema de distribución y eliminación de los excedentes de agua.

Proyecto. Determinadas las superficies que se destinarán al cultivo, en función de ellas se fija la capacidad del canal principal, considerando que para una hectárea de tierra dominada, se necesita un litro de agua por segundo; base considerada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, para los proyectos, excepto en algunos casos especiales o cuando gran parte del área dominada se dedica al cultivo de arroz o de caña de azúcar, en los que se necesita gran cantidad de agua y en cuyo caso se requieren estudios especiales.

Para el cálculo de la capacidad del canal se emplean fórmulas empíricas, puesto que por los distintos factores que influyen en la determinación de dicha capacidad, no es posible el empleo de ecuaciones rigurosas. Estos factores, de carácter local en cada región, como pérdidas por conducción (evaporación y filtración), originan la modificación de la misma, indicándose que en terrenos muy arenosos y permeables deberá aumentarse de 10 a 20 por ciento, y en el caso de entarquinamientos, puede llegar a ser hasta de 50 por ciento.

Otro factor que debe tomarse muy en cuenta, es la variedad de cultivos de cada región.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos ha formulado una tabla denominada: Tabla de Capacidades Necesarias en los Canales,

de Acuerdo con la Superficie Dominada, que indica el volumen o gasto necesario para cada riego, de acuerdo con el cultivo que sea, determinando así, la capacidad del canal principal en proyecto.

A continuación se dá dicha tabla:

Tabla 3. Capacidades necesarias en los canales de acuerdo con la superficie dominada.

Superficie dominada has	Condicio- nes medias m3/s	Riego aguas brocas culti- vos diversos m3/s.	Riego m3/s.	Monocultivos Caña de azúcar m3/s	Arroz m3/s	has	has
100 a 1200	1 para	570	2 para	570	2 para	570	4.5 para 570
1200 a 2000	1 "	710	2 "	710	2 "	710	4.5 " 710
2000 a 10000	1 "	860	2 "	860	2 "	860	4.5 " 860
más de 10000	1 "	1000	2 "	1000	2 "	1000	4.5 " 1000

Notas:

1. Las condiciones medias, son para terrenos medianamente permeables, para agua regularizada y cultivos diversificados en la zona de riego.

2. Los riegos con aguas broncas, son para terrenos medianamente permeables y aprovechamiento de riego durante el período de avenidas.

3. La capacidad de canales para monocultivos son para terrenos medianamente permeables con aprovechamiento de aguas regularizadas.

Fijada la capacidad del canal principal, se procede al cálculo de sus dimensiones eligiendo su forma geométrica que, en general, es trapezoidal.

Secciones de máxima eficiencia. En el proyecto de un canal para conducir cierta cantidad de agua, hay que excavar una cantidad de material, procurándose sea el menor volumen de tierra posible. En ciertas condiciones de topografía y de clase de suelo, puede presentarse el problema, dando la sección y pendiente que debe tener el canal, de determinar cuál es la forma que debe dársele para conducir el mayor gasto. En la expresión:

$$Q = AV = \frac{A}{n} R^{2/3} s^{1/2}$$

la condición de gasto máximo se reduce a la del radio hidráulico máximo (R), puesto que A, n, y s, son conocidos.

La inclinación de los taludes, varía de acuerdo con la consistencia del terreno en que se alojan, datos que proporciona el estudio agrológico, al considerarse el acomodamiento libre del material que se extrae para su estudio y que permite fijar dicha inclinación, considerando que: en material rocoso se pueden permitir taludes casi o completamente verticales, sucediendo lo contrario en terrenos sueltos en los que, deberán tener cierta inclinación para evitar derrumbes u otros trastornos que elevan el costo de la conservación de el canal (tabla 4).

Tabla 4. Taludes necesarios según las características de los suelos.

Características de los suelos	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca en buenas condiciones	Verticales	1/4 : 1
Roca fija, arcillas consolidadas o conglomerados	1/2 : 1	1 : 1
Tierras arcillosas, tepetates blandos, areniscas blancas, etc	1 1/2 : 1	2 : 1
Terrenos poco resistentes, como arenas sueltas	2 : 1	3 : 1

Considerando la figura 1, se calculan todos los elementos necesarios para la determinación de la sección del canal principal en proyecto.

Figura 1.

Para la determinación del área hidráulica de la sección, - se considera la siguiente fórmula:

$$A = bd + md^2$$

el radio hidráulico (R), lo da la siguiente expresión:

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

el perímetro mojado de la sección, se obtiene por medio de la fórmula:

$$P = b + 2d \sqrt{1 + m^2}$$

en las que a (m) le corresponden los valores de los taludes -- correspondientes, pudiendo ser: 0; 1/4 : 1, 1/2 : 1, 1 1/2 : 1, etc.

La velocidad de la corriente se determina por medio de la fórmula de Manning:

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

Para el cálculo de la pendiente hidráulica (S), se considera la fórmula de Chezy: $V = C \sqrt{Rs}$ la que elevando al cuadrado queda:

$$V^2 = C^2 Rs$$

$$S = \frac{V^2}{C^2 R}$$

fórmula que permite determinar el valor de la pendiente hidráulica y en la que:

V = velocidad media de la corriente

C = coeficiente de gasto

R = radio hidráulico

En la determinación de la velocidad media para el proyecto de un canal principal es conveniente considerar lo siguiente: - como el efecto del depósito de azolves influye en el mismo, la velocidad media comprendida entre los 60 y 80 cm/s, será la que

evite el depósito de materiales sólidos en suspensión y la erosión de las paredes del canal cuando éste se excava en tierra. Ahora bien, si el canal se aloja en terrenos cuyos materiales son de mayor consistencia que las tierras, como arcilla compacta, tepetate, caliche, etc., entonces dicha velocidad puede considerarse entre 1.00 y 1.20 metros; pudiendo ser mayores en aquellos casos en que el canal se construya en roca sana y compacta.

Hay una cierta relación entre clase de material, tirante y velocidad del agua, en la cual los efectos de la velocidad y erosión son prácticamente nulos y la cual se calcula por la fórmula empírica de Kennedy.

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

en la que:

V = velocidad en metros por segundo que no produce erosión ni depósito de azolves.

d = tirante del agua

Sin embargo, en la práctica se ha considerado adoptando generalmente el coeficiente 0.548 y como velocidad mínima la de un 80% de ésta, o sea $V = 0.437 d^{0.64}$ y en algunos casos particulares de material más abundante y pesado, una velocidad máxima de 20% más y que se calcula por la fórmula:

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

Como la velocidad depende del coeficiente de rugosidad (n), del radio hidráulico (R) y de la pendiente hidráulica (s), ésta deberá ser la mínima con el fin de dominar la mayor superficie

de tierras posibles, por lo que su valor variará entre los 10 y 50 cm/km.

Para el coeficiente de rugosidad, la Secretaría de Recursos Hidráulicos considera generalmente los valores 0.025 cuando las aguas que se conducen por el canal son turbias, y de 0.030 cuando son claras, siendo el primero el de uso más frecuente en los proyectos.

Determinados el coeficiente de rugosidad y la pendiente -- del canal, queda por fijar el radio hidráulico que depende de -- las dimensiones de el ancho de la plantilla (b) y el tirante de la lámina de agua (d). Este se determina considerando la fórmula:

$$A = bd + md^2 \dots (1)$$

en la que si pasamos el primer miembro al segundo y se iguala a 0, da una ecuación de segundo grado de la forma:
 $ax^2 + bx + c = 0$, cuyas raíces se calculan por la fórmula:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots (2)$$

por lo que, ordenando la (1) quedará:

$$md^2 + bd - A = 0$$

siendo $x = d$, la (2), quedará $d = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4mA}}{2m}$

fórmula que da el valor del tirante; pero como éste es una función que depende del valor de (b), será necesario dar valores a ésta para que la relación entre ambos permita determinar la llamada sección económica.

La sección económica es aquella en que el volumen de exca-

vación deberá ser igual hasta donde sea posible, al volumen necesario para la formación de bordos del canal; es decir, que si se considera la figura 2.

Figura 2

el volumen V deberá ser igual a la suma de los volúmenes de los bordos ($B_1 + B_2$), siendo V el volumen excavado.

De acuerdo con lo anterior, la Secretaría de Recursos Hidráulicos ha formulado una serie de tablas que permiten fijar las dimensiones de la base (b) y el tirante (d), así como los valores para obtener la sección económica.

A continuación se insertan algunas consideraciones que la Secretaría citada hace para el proyecto y determinación de las secciones de un canal principal y sus respectivos tirantes de acuerdo con la topografía y datos geológicos de la zona aplicando el siguiente criterio:

1. Cuando el canal queda alojado en ladera de roca con -- fuerte pendiente transversal, se deberá procurar que el tirante quede dentro de la excavación. Ahora, si dicha pendiente del --

terreno es muy abrupta, se dejará una banquetta desde la línea - del nivel máximo del agua, hasta la intersección con el terreno natural de una línea horizontal que pase por la del nivel máximo del agua.

Las dimensiones del ancho de la banquetta, tendrán como mínimo 2.0 metros, pudiendo ser hasta de 4.0 metros, de acuerdo - con las características del terreno; procurándose que ésta quede alojada en material firme y no bronqueado por los explosivos. En algunos casos, se procurará que dicha banquetta quede sobre - la línea del nivel máximo del agua de 0.50 a 1.00 metros.

2. Si el canal está en terreno compacto, como tepetate duro, caliche, compacto, etc., deberá procurarse que el tirante - del agua quede todo dentro de la excavación, dejando libre la - banquetta y los bordos, por la razón de que la clase de material con que se construyen éstos resultan permeables, originándose - filtraciones y posteriormente hasta la destrucción de los mismos.

El tirante en estas secciones será igual a un medio de la base y las banquetas, con el objeto de que se puedan aprovechar en los trabajos de conservación, tendrán como mínimo 2 metros - de ancho contados a partir del pié del talud del bordo y la - orilla de la excavación.

3. En terrenos heterogéneos, cuyo material sea de dureza variable, como tepetate duro alternado con tepetate suave, tierra con boleó, etc., el tirante del agua estará en las condiciones del segundo caso, así como las banquetas.

4. Hay casos en que se tienen cortes grandes en material

algo heterogéneo que pueden resistir taludes de $1/4 : 1$ o $1/2 : 1$; estando seco, pero ya mojado se necesitan taludes de $1 1/2 : 1$; entonces se hará un tajo con el talud correspondiente al talud seco, y en la cubeta del canal se darán taludes más tendidos, - dejando una banquetta un poco arriba del nivel máximo del agua - en la de separación de los taludes.

Esta banquetta tiene por objeto facilitar la conservación - del canal y si hay derrumbes se detengan en ella.

5. Cuando el canal está en material blando, como tierras arenosas, ligeras o migajón, se proyectaran secciones muy tendidas en las que el tirante del agua sea igual a la cuarta o quinta parte de la base, con objeto de evitar cargas fuertes que darían lugar a filtraciones. En este caso, los taludes deberán - ser como mínimo de $1 1/2 : 1$, prefiriéndose el de $2 : 1$.

Es muy conveniente considerar que la construcción de secciones en balcón, deberá evitarse hasta donde sea posible, ya - que dan origen a fuertes filtraciones y derrumbes de los bordos. Solamente en casos extremos, como en terrenos muy escarpados, - se indica la construcción de tales secciones.

Considerando que con todo lo antes expuesto, queda explicado, aunque sea someramente lo referente al proyecto, se procede a desarrollar el siguiente aspecto.

Localización. La localización de un canal principal está regida fundamentalmente por la topografía de la zona y la pendiente permitida, considerando desde luego que la finalidad del mismo es de abastecer de agua a la zona de riego y bajo la con-

el objeto de obtener un corte económico. Además, se determinarán los elementos geométricos necesarios para su localización en el terreno, tales como deflexiones en cada vértice, longitud de las tangentes, medidas angulares para ligar los vértices de la poligonal con monumentos de la cuadrícula, etc.

Trazo preliminar. Con los datos obtenidos en el gabinete, se procede al trazo proyectado marcándolo materialmente en el terreno. Este se hará con tránsito y cinta de acero de 20 metros, para la medida de las distancias horizontales. En cada puesta de cinta se clavará un trompo con su respectivo testigo, en el cual se anotará el cadenamamiento o kilometraje que le corresponda. Se tendrá especial cuidado de que los vértices tengan el desnivel requerido. Para la comprobación del trazo de la línea, se calcularán las coordenadas de la poligonal, procurando llevar al día dicho cálculo, con el objeto de ir ligando con los monumentos de la cuadrícula, cotejando en esa forma la fidelidad del trabajo, tanto lineal como angularmente.

Considerando que el trazo esté bien hecho, es conveniente referir los vértices de la poligonal, así como los kilómetros de la misma, a monumentos de concreto colocados a un lado de la línea, de preferencia en la parte alta del terreno y a una distancia suficiente para que al construir el canal no sean destruídos. Se procura asimismo que queden frente al trompo correspondiente.

Cuando no se cuente con monumentos, se colocarán estacones de madera consistente, propia de la región en que se opere. Es

to se hace con el objeto de tener apoyos suficientes para reconstruir fácilmente la línea al hacerse posteriormente el trazo -- definitivo.

Nivelación. La brigada de nivel, se encargará de correr - sobre la línea una nivelación de perfil con nivel montado, acotando todos los puntos fijados al hacerse el trazo preliminar, con el objeto de obtener un perfil fiel de la misma.

Esta clase de nivelación deberá comprobarse debidamente, - para lo cual se checan en los monumentos de la cuadrícula, o -- cerrándola en el punto de partida.

Al hacerse la comprobación de la nivelación, se obtendrá - un error, cuyo valor, deberá ser igual o menor al que se obtenga de la fórmula:

$$T = 12.6 / \sqrt{n}$$

en la que

T = tolerancia en milímetros

n = desarrollo en kilómetros.

Se recomienda que al efectuar la nivelación, las distancias entre el aparato y el estadal, al fijarse los P.L. (puntos de liga) sean de 100 metros como máximo, pues de otra manera la operación de la lectura al mm resultaría imprecisa; solamente, cuando las condiciones atmosféricas sean propicias (tiempo nublado o muy temprano) las lecturas podrán hacerse a distancias hasta de 150 metros.

Los P.L. se fijarán colocando sobre el trompo del trazo un estoperol, con el objeto de poder dar al estadal el movimiento

de "bombeo" necesario para obtener la menor lectura aproximando al mm. Con todos estos datos, se dibuja el perfil de la línea con papel milimétrico, usándose los siguientes escalas:

Horizontal 1 : 2000

Vertical 1 : 200 o 1 : 100,

siendo posible en estas condiciones adaptar la localización al terreno, haciendo las modificaciones necesarias para evitar cortes o terraplenes excesivos.

Ahora bien, cuando la persona encargada del trazo, tiene experiencia en esta clase de trabajo, a-ntes de obtener el perfil, puede hacer dichas modificaciones directamente en el campo.

En casos en que no se disponga de los planos topográficos de la zona o cuando la topografía levantada con anterioridad -- discrepe de la real fuertemente, la topografía es muy movida -- por lo que los datos obtenidos en los planos topográficos pueden adolecer de diferencias considerables, entonces, es conveniente hacer la localización del canal principal directamente en el -- terreno, levantando una faja del mismo, y de suficiente anchura, de tal manera que quepan en ella las alternativas a que diera -- lugar el estudio.

Los métodos topográficos indicados en estos casos son secciones transversales con nivel de mano o montado, plancheta y fotogrametría.

La aplicación de cada uno de ellos dependería de la naturaleza y topografía del terreno, prefiriéndose, hasta donde sea -- posible, el uso de la plancheta, que tiene la ventaja sobre el

primero, de obtener una topografía más detallada. Solamente en casos especiales, como cuando el terreno por donde se lleva la línea sea difícil de levantar, por ejemplo, acantilados, áreas boscosas, laderas sumamente inclinadas, etc., entonces, se recurre a la fotogrametría.

En general, la forma de proceder en estos casos, es la siguiente:

Se marcan en el terreno puntos que se van localizando con un nivel fijo, de tal manera que estos deberán tener una elevación de 30 a 50 cm abajo de la correspondiente a la línea del nivel máximo del agua en el canal, teniendo en cuenta la pendiente fijada de antemano. Todos estos puntos se van ligando por medio de una poligonal llevada con tránsito y cinta de acero de 50 metros midiendo las deflexiones en cada vértice de dicha poligonal y que corresponde a cada uno de los puntos localizados. En seguida, se procede a la configuración de la faja de terreno por cualquiera de los métodos topográficos antes citados, dibujándose posteriormente con el objeto de hacer sobre el plano -- que resulte el proyecto del canal principal.

Considerando el segundo caso o sea el de la localización del canal principal en terrenos de topografía muy movida, la secuela que se sigue es la siguiente:

Sobre los planos topográficos de la zona a escala de 1 : 20,000 se marcan dos o más rutas generales por donde se puede localizar el canal. Ya en el terreno se hace un reconocimiento de las mismas, marcando con nivel de mano o con clisímetro aque

llos puntos que se consideran obligados, como son puertos, acantilados, etc., y que sea necesario curzar.

En el reconocimiento, además de las condiciones topográficas, es necesario considerar las geológicas del terreno, suponiéndolo saturado de agua, que es la forma en que se va a funcionar.

Las rutas así localizadas se estudiarán, considerando aquellas en las que no haya peligro de derrumbees al construirse el canal, o cuando las obras de protección no originen un gasto -- excesivo; en caso contrario serán desechadas.

La línea o ruta que se considere se estudiará nuevamente, repitiendo el reconocimiento y fijando los puntos obligados antes mencionados y además aquellos en donde la superficie máxima del agua corte el terreno. Los puntos así localizados se inclinarán por medio de banderas, fijándose posteriormente en las hojas de plancheta, que en estos casos estarán dibujados a escalas de 1: 2,000 o 1:1,000, y en los que la topografía sea sumamente movida éstas se dibujarán a escala de 1: 500, siendo de utilidad tomar fotografías de diferentes ángulos.

Con las hojas de plancheta ya en el terreno y previamente fijados los puntos de control sobre las mismas, se hace un esbozo preliminar de la línea del canal en estudio. Si es necesario se detallará aún más la topografía de la faja considerada, obteniéndose mayores datos geológicos por medio de pozos. Del resultado de todo esto se decidirá si se acepta, modifica o deshecha el proyecto.

La localización se hace por tramos cortos cuya longitud dependerá de la naturaleza topográfica del terreno, variando por lo general entre 100 y 500 metros, concordando con la ruta general marcada en el plano a escala reducida.

Para el control vertical de la línea, es conveniente llevar la nivelación junto con la localización del canal, dejando bancos de nivel en monumentos de concreto firmemente fijados a distancias de 200 metros del lado en que sube el terreno y en cada kilómetro del trazo.

La nivelación se llevará al mm debidamente comprobada. Las cotas para los monumentos, serán las que resulten de promediar cuando menos tres valores, resultando de tres nivelaciones corridas con nivel montado y en las condiciones antes descritas.

Trazo Definitivo. El trazo definitivo se hará apoyándose en el preliminar modificado, ligando los lados de la poligonal por medio de curvas circulares y estableciendo igualdades en el cadenamamiento en que se hayan hecho modificaciones.

El trazo se hará, como ya se dijo, con tránsito y cinta de acero de 20 metros usando los cadeneros para las medidas de las distancias horizontales sus plomadas respectivas. En cada puesta de cinta se clavará un trompo con su respectivo testigo hasta llegar al primer vértice que será en este caso el P.I. (punto de inflexión) de la curva. (En los trazos preliminares no se hace el de las curvas circulares, concretándose únicamente a unir los lados de la poligonal por medio de P.I. o sean los vértices de la misma). Ya en el P.I. centrado y nivelado el aparato, se mi

de la deflexión correspondiente marcando en ambos lados los valores de las subtangentes de la curva respectiva, que son las distancias entre el P.I. y el P.C. (principio de la curva) y el P.T. (punto terminal de la misma) estas distancias son iguales, y se calculan por medio de la fórmula:

$$st = R \operatorname{Tg} \frac{1}{2} I$$

en la que

st = subtangente

R = radio de la curva

T = deflexión

La Secretaría de Recursos Hidráulicos en su instructivo, establece que para el uso de cuerdas en las curvas circulares se siga el siguiente criterio:

Para G 10° o menor, cuerdas de 20 m.

Para G 11° hasta 20°, cuerdas de 10 m.

Para G mayor de 20°, cuerdas de 5 m.

Queda por determinar la longitud de la curva, que se obtiene por medio de la fórmula:

$$L = 20 \frac{I}{G}$$

en la que

LC = longitud de la curva

I = deflexión

G = grado de la curva que se fija al hacerse la localización definitiva del trazo.

Continuando con la forma de llevar a cabo el trazo defini-

tivo, fijadas las subtangentes, se traslada el aparato al P.C. de la curva fijada anteriormente al medir la subtangente respectiva, cuyo trompo tendrá una tachuela. Centrado, nivelado y -- orientándose con el P.I. hecha la coincidencia de los ceros del vernier y el limbo horizontal, se procede a medir una subdeflexión igual a la calculada (generalmente al P.C. y al P.T. de la curva no les corresponde un cadenamiento que sea múltiplo de la cuerda que se usa) midiendo los cadeneros la subcuerda correspondiente a partir del punto de estación (P.C+), clavando el -- trompo y su testigo respectivo; prosiguiendo en la misma forma, pero midiendo ahora deflexiones y cuerdas completas hasta llegar al último trompo que corresponde a un múltiplo de la cuerda usada y que estará antes de llegar al P.T., aquí habrá necesidad de medir otra subdeflexión con la sucuerda respectiva, checando en longitud y angularmente, lo cual se hará comparando la lectura angular cuando se vise al P.T. con el valor que le corresponda a $1/2$ de I, debiendo ser iguales para la comprobación lineal, el cadenamiento con que se llegue al P.T. final de la curva, deberá ser igual a la longitud de la misma sumada al cadenamiento que le corresponda al P.C. A continuación se da un ejemplo del cálculo de una curva y que es el correspondiente a la localizada en el K - 3 + 330 del canal principal del Distrito de Riego de Colima, Col.

Est.	P.V.	Dist.	Deflexión	Datos de la curva
PC	3+575 ²⁷	00	00 00'	PI = K - 3 + 575 ²⁷
	420	50	00 45'	I = 800 00' I
	440	25	30 45'	G = 60
	460	45	60 45'	R = 191.00 m.
	480	65	90 45'	ST = 160 ²⁷ m.
	500	85	120 45'	LC = 266 ⁶⁷ m.
	520	105	150 45'	d x m = 9'
	540	125	180 45'	
	560	145	210 45'	
	580	165	240 45'	
	600	185	270 45'	
	620	205	200 45'	
	640	225	330 45'	
	660	245	360 45'	
	680	265	390 45'	
PT	-3+ 681 ⁶⁷	266 ⁶⁷	400 00'	

Terminado el trazo se corre una nueva nivelación de perfil checando en los monumentos fijados anteriormente.

En terrenos de topografía muy movida, se levantarán secciones transversales en cada trompo del trazo, o sea cada 20 m. -- con el objeto de calcular los datos necesarios para la construcción del canal principal.

En el gabinete se procede a dibujar los planos correspondientes con los datos de campo.

Las secciones teóricas del canal se dibujan en papel milimétrico y sobre de ellas las obtenidas en el campo para obtener las áreas correspondientes por medio de un planímetro y poder calcular los volúmenes. Es conveniente para el control de lo anterior un registro como el que a continuación se expone:

Est.	Cotas	Ras.	Corte	Area	Suma de áreas	D/2	Vol.	Volumen acumulado.
------	-------	------	-------	------	------------------	-----	------	-----------------------

Los datos que se anotan en cada una de las columnas del registro anterior, son:

En la estación, la correspondiente a la sección; en la de cotas, la cota de la misma; en la de rasante (rasante del canal) la cota correspondiente en esa estación a la rasante del canal; en la de corte, la diferencia que haya entre la cota del terreno natural y la rasante del canal en la estación que se considere, indicándose por medio del signo (+) cuando haya corte y con el signo (-) cuando haya relleno; en la columna de área, se anota la correspondiente obtenida con el planímetro, o bien la calculada cuando por ser el terreno muy plano no haya necesidad de seccionar, obteniéndose éstas ya en la práctica en la siguiente forma:

Cuando los taludes son de $1/2 : 1$ $A = d(b + \frac{d}{2})$

Cuando los taludes son de $1 1/2 : 1$ $A = d(b + \frac{3d}{2})$

Cuando los taludes son de $1 : 1$ $A = d(b + d)$

Procediendo en igual forma para otros taludes.

En la columna suma de áreas, se anotará la suma de las áreas correspondientes a dos secciones consecutivas, es decir, el área de la estación $0 + 000$ más el área de la sección $0 + 020$ será la suma que se anote en la columna mencionada; luego, la suma del área $0 + 020$ más el área de la sección $0 + 040$, será la que se anote y así sucesivamente. En la columna D/2, se anota

tará la mitad de la distancia comprendida entre las dos secciones, lo que considerando esa distancia igual a 20 metros, quedará $20/2 = 10$; en la columna volumen, se anotará el producto de la suma de áreas correspondiente y el de $D/2$, y por último, en la columna volumen acumulado, se anotará la suma de los productos anotados antes mencionados.

En estas condiciones, se pueden fijar en el terreno las estacas correspondientes para la construcción del canal debiendo determinar aquellas: ancho de la plantilla, longitud de los taludes, ancho de la banquetta, y ancho de la corona del bordo.

Midiendo todas estas distancias a partir del trompo correspondiente que fija el eje del canal, siendo, por supuesto, estas distancias, normales a dicho eje y a uno y otro lado del mismo.

BIBLIOGRAFIA

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Instructivo para levantamientos Topográficos.

Toscano, R. Métodos Topográficos.

Trueba Coronel; R. Hidráulica.