



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL PRINCIPAL “EL TICUZ”
Y SU ESTRUCTURA DE CRUCE CON EL RÍO DUERO,
CORRESPONDIENTE AL DISTRITO DE RIEGO 061**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ROSENDO DOMÍNGUEZ CONTRERAS

ASESOR DE TESIS:

M. I. JESÚS MARTÍN CABALLERO ULAJE

**Morelia, Michoacán, México
Mayo de 2016**





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

**DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL PRINCIPAL “EL TICUZ” Y SU ESTRUCTURA
DE CRUCE CON EL RÍO DUERO, CORRESPONDIENTE
AL DISTRITO DE RIEGO 061**

ROSENDO DOMÍNGUEZ CONTRERAS

INDICE

DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL PRINCIPAL “EL TICUZ” Y SU ESTRUCTURA DE CRUCE CON EL RIO DUERO, CORRESPONDIENTE AL DISTRITO DE RIEGO 061

	PÁGINA
INDICE	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	4
CAPÍTULO III. DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL PRINCIPAL “EL TICUZ”	50
CAPÍTULO IV. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SIFÓN Km. 0+341.88	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	78

A MIS HERMANOS:

María Esther
Rosa María
Félix
Martha Alicia
Mario Alberto
Guillermo
Elisa Leticia
Beatriz Eugenia
Esperanza
María Guadalupe
Yolanda
Ma. Concepción (+)

A LAS INSTITUCIONES:

"Colegio Vasco de Quiroga".

Instituto "Cristobal Colón" de Zamora,
Mich.

Instituto "Francisco Javier" de
Guadalajara, Jal.

Preparatoria "Sixto Verduzco".

"Universidad Michoacana de San Nicolás
de Hidalgo".

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS.

Con afecto, agradeciendo sus
enseñanzas y amistad.



**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE LA
S.A.R.H. EN ZAMORA MICH.**

A LA FAMILIA AGUILAR DOMINGUEZ.

Con afecto y agradeciendo su apoyo.



RESUMEN

El cruce del canal principal del distrito de riego 061 “El Ticuz” con el río Duero en las cercanías de la ciudad de Zamora, Michoacán, se realizaba mediante una tubería de acero funcionando como alcantarilla. Con la finalidad de dar mayor eficiencia hidráulica al cruce, salir del mismo a una elevación mayor de la SLA y cubrir mayor superficie de riego; se propuso revestir el canal El Ticuz en una longitud de 2.52 km y hacer que la tubería funcionara como Sifón. Para ello se realizó el diseño hidráulico del tramo de canal y se diseñó el Sifón, en el cadenamiento 0+341.88 del canal El Ticuz, haciendo que la tubería existente funcionase a tubo lleno. Se puede concluir que la propuesta fue viable, se realizaron los cálculos y planos necesarios y, se llevó a cabo la construcción. A la fecha el canal “El Ticuz” y el Sifón siguen funcionando adecuadamente.

Palabras clave: Canal revestido, sifón, diseño hidráulico, estructura de cruce, distrito de riego.

ABSTRACT

The crossing of the main channel for the Distrito de Riego 061 “El Ticuz” with the Duero river, near the city of Zamora, Michoacán, used a steel pipe functioning as a culvert. With the goal of achieving greater efficiency, and obtaining a larger water depth to serve a bigger surface, it was proposed to coat the El Ticuz channel in a length of 2.52 km and using the pipe as a syphon. To this end, the hydraulic design of the segment of channel and syphon was made, with the syphon being located at station 0+341.88, forcing the pipe to work at full capacity. It can be concluded that the proposal was viable, and then plans and construction was done. To this day, the El Ticuz channel and its syphon continue to work adequately.

CAPITULO I.- INTRODUCCION

La función de una Zona de Riego está encaminada a satisfacer la demanda de productos vegetales y animales que servirán para el consumo humano.

La explosión demográfica en nuestro País se ha venido agudizando en los últimos años, lo cual ha determinado que la primera necesidad para atender en su debida oportunidad sea la producción de alimentos. Para lograr lo anterior es necesaria la intervención de diferentes disciplinas en las que la Ingeniería Civil tiene a su cargo la Planeación, Construcción, Conservación y Rehabilitación de la infraestructura hidráulica con el objeto de suministrar a tiempo y en cantidades suficientes el agua a los terrenos de cultivo.

Con la promulgación de la Ley de Irrigación el día 8 de enero de 1926 por el C. Presidente de la República Mexicana, General Plutarco Elías Calles, se inició la construcción y financiamiento de las obras de riego en el País con bases técnicas, creando así la Comisión Nacional de Irrigación, pasando a ser después Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y actualmente Comisión Nacional del Agua.

Los Distritos o Unidades de Riego están constituidos por las obras siguientes:

Obras de cabecera:

Presas de almacenamiento,
Presas derivadoras, Pozos
profundos, Manantiales,
Tomas directas, etc.



Red de Distribución:

Canales principales y secundarios.

Red de Drenaje:

Principales, colectores y secundarios.

Red de Caminos:

Oficiales, principales, secundarios y de enlace.

Obras Complementarias:

Oficinas, casas para preseros y canaleros, red telefónica, radio, etc.

Obras de Defensa:

Bordos de protección, encausamientos o rectificaciones de corrientes.



CAPITULO II.- GENERALIDADES

II.1.- LOCALIZACION DE LA RED DE DISTRIBUCION.

Para la localización de los canales existen cuatro criterios generales a seguir y son los siguientes:

- 1.- Siguiendo la topografía (curvas de nivel).
- 2.- Según la cuadrícula.
- 3.- Respetando los linderos que ya existen.
- 4.- Sistema combinado.

Localización siguiendo la topografía.

Este sistema de localización de canales es seguramente el más económico, porque los canales se localizan por parte-aguas y van dominando hacia ambos lados, por lo cual la red de distribución resulta mas corta en relación con cualquier otro sistema. Además se aprovechan los talwegs para alojar los drenes. Tiene como inconveniente que resultan lotes de formas irregulares y dificulta el trazo de los canales.

Localización siguiendo la cuadrícula.



El sistema de localización de canales siguiendo la cuadrícula con la que se hizo el levantamiento topográfico de la zona regable, es conveniente para usarse en terrenos vírgenes de gran extensión con topografía muy plana y de poca pendiente, porque facilita su trazo en el campo y obtenemos lotes de formas regulares de las extensiones que sean autorizados.

Además presenta las ventajas de facilitar grandemente la operación y conservación del sistema de riego. Tiene como inconveniente que la red de distribución resulta más larga que cuando se sigue la topografía. Se riega únicamente para un lado, por lo que aumenta el número de tomas y estructuras adicionales requiriendo la construcción alternada de un dren y un canal para desalojar los sobrantes de agua.

Localización respetando linderos.

En algunas ocasiones cuando ya existe la propiedad bien definida en el campo, es necesario localizar los canales siguiendo precisamente los linderos hasta donde las condiciones topográficas lo permitan, pues de otro modo se originan grandes trastornos en el régimen de la propiedad en el caso de invasiones.

Localización siguiendo un sistema combinado.

El el sistema combinado, la localización de los canales se va adaptando en ocasiones a la topografía del terreno, en otras se sigue la cuadrícula y donde



hay lotes de propiedad privada, se hacen los quiebres necesarios para respetar los linderos. Este sistema es el más conveniente.

Lotificación y localización de tomas.

La lotificación representa la etapa mediante la cual los terrenos se subdividen en áreas prefijadas y según el tipo de lotificación propuesto. Cada lote deberá contar con una bocatoma, la cual deberá localizarse en la parte que mejor domine al mismo, procurando que la bocatoma no quede a una distancia mayor de un kilómetro del punto mas alejado del lote.

Cadenamiento y nomenclatura.

Para poder referenciar las bocatomas a los canales es necesario fijar una nomenclatura que vaya de acuerdo con su situación dentro de la zona.

El nombre se fija cuando haya referencias importantes cerca, y cuando no las haya, como es el caso mas general, se le asigna el nombre de kilometraje correspondiente a la estación del canal del cual se alimenta. El cadenamiento en canales se lleva a partir del origen con el kilometraje 0+000 e incrementándose en el sentido del escurrimiento.

Dimensiones.



Una vez conocida la superficie que va a servir el canal, así como el perfil del terreno para conocer la pendiente que debe tener, se escogerá en la tabla de secciones tipo, la sección necesaria para esa superficie y esa pendiente.

En el anexo número 2 se presentan secciones típicas de canales con sus características hidráulicas fijas. Con el objeto de tener uniformidad en las secciones, siempre deberá escogerse alguna de las que aparecen en las tablas. En caso de que ninguna de las secciones dé el gasto preciso, deberá elegirse la sección con el gasto inmediatamente superior.



II.2.- CLASIFICACION DE CANALES.

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

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

- Canal principal
- Canales laterales, sublaterales, ramales, subrramales y regaderas.

Canal principal.

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

Canales laterales.

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

- 10.- Los laterales, que son aquellos que dominan las divisiones principales del área regable y abastecen a los sub-laterales.



2o.- Los sub-laterales, que son necesarios para ramificar un lateral en dos o más canales.

3o - Los ramales, que son abastecidos por los sub-laterales y que a su vez abastecen a las regaderas. En algunos Distritos de riego aún es necesario subdividir los ramales y en esos casos se construyen los sub-ramales, antes de llegar a las regaderas, que en todos los casos son las últimas ramificaciones de la red de distribución.

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

En el anexo número 1 se presenta una planeación típica de un sistema de distribución.

II.3.- LINEAMIENTOS.

Los canales son conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión ya que la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera.

Debemos hacer la aclaración que las tuberías, cuando trabajan sin presión, por lo general parcialmente llenas, se considera que funcionan como canal.

II.4.- CLASIFICACION DE FLUJOS.

INTRODUCCION



Experimentalmente Reynolds hizo circular un líquido a través de un tubo variando la velocidad progresivamente, llegando a encontrar que al iniciar el movimiento, las partículas se movían longitudinalmente sin acercarse ni alejarse entre ellas, resultando lo que llamó régimen laminar o tranquilo.

Al aumentar la velocidad, las partículas circularon describiendo trayectorias irregulares, es decir entrecruzándose, y lo llamó régimen turbulento.

El valor que tiene que alcanzar el líquido para pasar de régimen laminar a turbulento, se le llama velocidad crítica alta. También si tenemos un líquido circulando con régimen turbulento y disminuimos su velocidad hasta tener un régimen laminar, en ese momento tendremos una velocidad crítica baja.

Para definir los valores de estas velocidades críticas, se hicieron numerosos experimentos, llegando a la conclusión de que cuando un escurrimiento tiene el número de Reynolds menor de 2,100 el régimen es laminar y cuando es mayor a 3,000, el escurrimiento es turbulento.

Reynolds determinó las siguientes clases, tomando en cuenta el movimiento del agua:

a).- FLUJO LAMINAR.

Este se realiza según caminos completamente definidos y paralelos a cada una de las partículas.

b).- FLUJO TURBULENTO.



Tiene lugar siguiendo caminos irregulares, sinuosos y entrecruzándose las partículas. En la práctica este es el movimiento mas común. En este movimiento podemos observar a su vez los siguientes escurrimientos:

- Movimiento Uniforme

- Movimiento no Uniforme

Gradualmente
variado.

Brúscamente
variado.



c).- FLUJO UNIFORME.

Cuando el gasto en cualquier sección transversal es el mismo y las características geométricas en cada sección son constantes, existe el escurrimiento uniforme o sea que la superficie del agua es paralela al fondo del canal y paralela al gradiente de energía.

d).- FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.

En este tipo de escurrimiento la profundidad del flujo varía gradualmente a lo largo del canal y las velocidades medias en dos secciones sucesivas de la conducción no son iguales.

Para calcular las pérdidas de energía de dos secciones comprendidas en una longitud L, se aplica el principio de la energía expresada por la ecuación de Bernoulli, valuando dichas pérdidas en función de la velocidad media y radio hidráulico medio.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{W} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{W} + Z_2 + HL$$

Esta es la expresión matemática del teorema de energía de Bernoulli y significa lo siguiente:

"Con flujo continuo y estacionario, la carga total en cualquier punto de una corriente es igual a la carga total en cualquier punto aguas abajo, más la pérdida de carga entre los dos puntos".

En donde tenemos:



$$\frac{V^2}{2g}$$

Es la energía o carga de velocidad.

$$\frac{P_1}{W}$$

Es la energía o carga de elevación con respecto a un plano de referencia.

Z

Es la energía o carga de presión en el fluido.

HL

Es la pérdida de carga o energía debida a la fricción del fluido en las paredes que lo contienen.

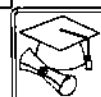
e).- FLUJO BRUSCAMENTE VARIADO.

El escurrimiento rápidamente variado se presenta cuando las profundidades del agua cambian bruscamente en una distancia relativamente corta.

Gasto o caudal.

Es el volumen de agua que pasa en la unidad de tiempo por la sección transversal de un determinado conducto. También se puede expresar como el producto del área hidráulica de la sección del conducto por su velocidad media, siendo ésta la ecuación de continuidad de los líquidos incompresibles que escurren con movimiento permanente y es la siguiente:

$$Q = A V$$



En donde tenemos:

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

$A = \text{Area hidráulica en m}^2.$

$V = \text{Velocidad en m/seg.}$

Existen varias fórmulas para calcular la velocidad media que lleva el agua en una conducción y generalmente son fórmulas empíricas basadas en estudios efectuados tanto en el campo como en el laboratorio, que incluye factores como la rugosidad, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica.

Para problemas de irrigación se han generalizado varias fórmulas, siendo la más utilizada la siguiente:

$$V = C \sqrt{rs}$$

En donde:

$V = \text{Velocidad media.}$

$C = \text{Coeficiente que depende de la forma del canal y del coeficiente de rugosidad.}$

$r = \text{Radio hidráulico.}$

$s = \text{Pendiente hidráulica.}$



Siendo ésta la fórmula de Chezy para canales y es aplicable sólo cuando el régimen es uniforme.

El valor del coeficiente está dado por otras fórmulas "C" de diferentes investigadores como la de Ganguillet y Kutter:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{\bar{n}}}{1 + \frac{n}{\sqrt{r}} \left(23 + \frac{0.00155}{S} \right)}$$

que sustituyendo en la fórmula de Chezy nos queda la conocida fórmula de Kutter:

$$V = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{\bar{n}}}{1 + \frac{n}{\sqrt{r}} \left(23 + \frac{0.00155}{S} \right)} \sqrt{rs}$$

El coeficiente "C" para la fórmula de Chezy que fue propuesto por Bazin es:



$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{r}}}$$

Sustituyendo nos queda:

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

Otra fórmula para "C" que es mucho más simple que la anterior y que da valores de "V" muy aceptables es la propuesta por Manning.

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

que al sustituirla en la fórmula de Chezy nos queda la conocida fórmula de Manning:



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

La nomenclatura de las fórmulas anteriores es :

V= Velocidad media en metros por segundo.

r= Radio hidráulico en metros.

S= Pendiente hidráulica.

n= Coeficiente de rugosidad en la fórmula de Manning.

m= Coeficiente de rugosidad en la fórmula de Bazin.

Esta última es la más empleada ya que cuenta con amplios resultados de pruebas efectuadas para determinar el coeficiente de rugosidad "n" y, como incluye el radio hidráulico se puede utilizar en conductos de cualquier forma. Por su simplicidad de forma y resultados satisfactorios ha llegado a ser la mas utilizada para el cálculo de canales abiertos.

Así la fórmula de Manning se presenta en varias formas:

Para determinar la velocidad media se emplea en su forma original:



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

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

$$S = \frac{n^2 V^2}{r^{4/3}}$$

Para los canales de cualquier sección transversal el gasto se determina:

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

Valores del coeficiente de rugosidad en la fórmula de Manning.

Como una guía general se dan algunos valores del coeficiente de rugosidad "n" para canales nuevos sin revestir y revestidos en los sistemas de riego.

Canales abiertos sin revestir:



Tierra $n = 0.0225$

Tierra excavación c/draga $n = 0.0275$

Roca paredes lisas $n = 0.033$

Roca paredes irregulares $n = 0.040$

Canales abiertos revestidos:

1.- Canales revestidos de arcilla.-

En los canales abiertos revestidos de arcilla se ha utilizado un coeficiente $n = 0.025$ en canales con capacidad hasta de $35 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y valores de $n = 0.020$ hasta $n = 0.022$ para canales con capacidades mayores.

2.- Canales revestidos de concreto.-

El valor más bajo en un canal abierto revestido de concreto es de $n = 0.012$ con acabado muy bueno; y el valor mas alto ha sido $n = 0.027$ en un canal excavado en roca sin afine de la sección y revestido de concreto lanzado neumáticamente.

Algunos valores usados para el coeficiente "n" en canales con diversos tipos de revestimiento de concreto son:

Losas de concreto con juntas suaves.. $n = 0.012$

Concreto lanzado neumáticamente y
acabado rugoso..... $n = 0.018$



Concreto lazando neumáticamente y
con acabado terso..... $n= 0.017$

Mampostería de tercera..... $n= 0.025$

3.- Canales revestidos de alfalto.

Concreto asfáltico $n= 0.014$

Asfalto prefabricado..... $n= 0.015$

Asfalto con superficie rugosa..... $n= 0.016$

Para conocer el coeficiente de rugosidad por adoptar en el diseño de un canal de riego, el proyectista tiene que tomar en cuenta todas las condiciones en las que pueda encontrarse el canal en el transcurso del tiempo y que harán que se modifique la rugosidad de la superficie mojada del canal y por lo tanto su capacidad hidráulica.

Canales abiertos sin revestir.

En canales abiertos sin revestir se debe tener especial cuidado en seleccionar la velocidad permisible, ya que una velocidad impropia causa condiciones desfavorables, como erosión en el perímetro de la sección o depósito de sedimentos que deben ser removidos para conservar la capacidad adecuada de la sección e inhibir la proliferación y crecimiento de plantas acuáticas.



La facilidad con que un canal puede ser erosionado depende del tamaño de las partículas y características del material que forma la sección ; los terrenos arenosos y sueltos se erosionan fácilmente y los terrenos con arcilla, arena o grava con constituyentes cementantes, son más resistentes a la erosión.

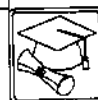
También puede afectar la erosión y azolvamiento en los canales, la forma de la sección transversal y la curvatura en el alineamiento.

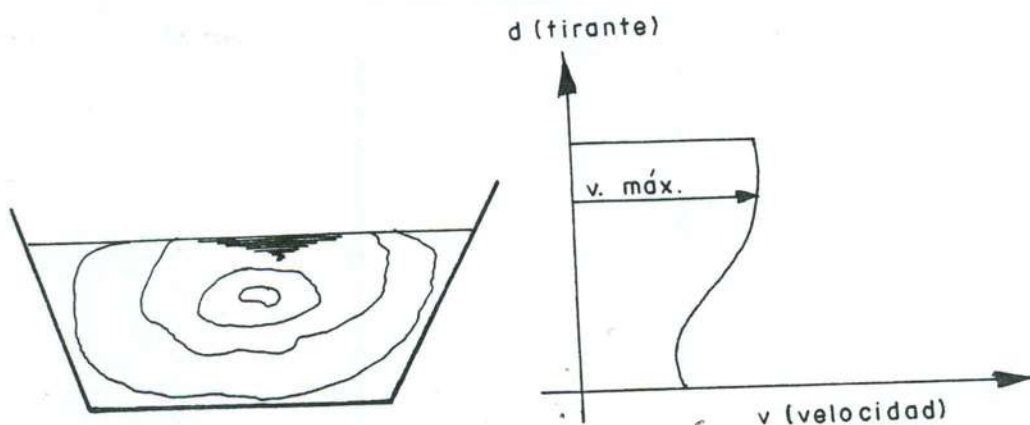
Velocidad máxima permisible.

Las fórmulas que se han desarrollado para el cálculo de la velocidad máxima permisible, son aproximados y únicamente dan resultados efectivos en canales ya estables, ya que la estabilidad de la sección depende en gran parte de las propiedades del material que forma la sección. No se ha podido señalar una línea divisoria entre las velocidades mínimas sin que se origine azolve por sedimentación y las velocidades máximas que provocan fenómenos de erosión.

Para tratar problemas relativos a la erosión se debe tomar en cuenta que la velocidad en un canal está afectada por el rozamiento, tensión superficial, irregularidades en la sección transversal y el alineamiento longitudinal.

En la figura siguiente se representa la distribución probable de las velocidades en un canal abierto.





De la figura se comprende que la velocidad que provoca la erosión es la del agua que está en contacto con las paredes del canal (taludes) y con el fondo del mismo, la cual siempre es menor que la velocidad media.

Existen dos métodos para conocer la velocidad máxima permisible en el diseño hidráulico de canales sin revestir; el método de la velocidad permisible y el de la fuerza tractiva.

Método de velocidad permisible

Este método está basado en los resultados de las investigaciones hechas en laboratorio que se han obtenido para una serie de velocidades permisibles para diferentes materiales.



Tipo de material

Velocidades (m/seg.)

Arena fina

0.48 - 0.76

Limo arenoso

0.53 - 0.76

Limo firme

0.76 - 1.07

Arcilla consistente

1.14 - 1.52

Grava fina

0.76 - 1.68

Material grueso

1.26 - 1.68

Pizarras y conglomerados

1.83 - 1.83

Método de la fuerza tractiva.

Fuerza tractiva es aquella que actuando sobre la superficie mojada del canal en la dirección del escurrimiento es capaz de poner en movimiento las partículas del suelo en que se aloja dicho canal.

La siguiente ecuación nos da la fuerza tractiva que actua sobre la sección transversal de un canal en tierra.

$$F_t = wrs$$



En donde :

F_t = Fuerza tractiva en Kg./M²

w = Peso específico del agua en Kg./M³

r = Radio hidráulico de la sección del canal.

s = pendiente hidráulica.

Al igual que para el método anterior se han estudiado una serie de materiales obteniendo por cada uno de ellos una gráfica con la fuerza tractiva permisible, la cual se compara con la fuerza tractiva obtenida con la fórmula anterior debiéndose satisfacer la condición.

F_t permisible F_t obtenida

Velocidad mínima permisible.

Actualmente no se ha podido definir un método general para el cálculo de la velocidad mínima permisible para que no se inicie el fenómeno de sedimentación.

La fórmula mas conocida para calcular la velocidad mínima para que no se produzca sedimentación es la de Kennedy:

$$V_s = 0.652 \, c d^{0.64}$$



En donde:

V_s = Velocidad de sedimentación en m./seg.

d = tirante del agua en metros.

c = coeficiente cuyo valor varía para los diferentes tipos de sedimentos.

Valores del coeficiente c .

Para el suelo arenoso y fino	0.84
Para suelo arenoso y grueso	0.92
Para limo arenoso	1.01
Para limos y acarreos gruesos	1.09

Cuando el agua es clara, exenta de sedimentos, la fórmula de Kennedy es la siguiente:

$$V_s = 0.552 C_d^{0.5}$$

Para evitar las condiciones que favorecen el crecimiento de la vegetación acuática, se recomienda no utilizar velocidades menores de 0.45, si el canal



tiene una profundidad menor de 0.50 m. ya que con velocidades menores rápidamente se cubren de musgo los canales.

Canales abiertos revestidos.

Un canal revestido se puede definir como un canal excavado en tierra o roca, con la sección recubierta con una capa de material impermeable o tratada convenientemente.

En suelos francamente permeables, el objeto principal de revestir un canal es el de reducir la pérdida de agua por filtración, además que al aumentar la velocidad máxima permisible se obtiene una sección más económica, un gradiente hidráulico mayor y se reducen los costos anuales de operación y conservación.

Velocidad máxima permisible.

Las velocidades máximas permisibles dependen del tipo de revestimiento utilizado.

En canales revestidos de material arcilloso compactado, la velocidad máxima permisible puede variar entre 0.60 y 1.25 m./seg.

Cuando el material arcilloso, especialmente el de los taludes, está protegido con una cubierta de material granular grueso, como grava o piedra triturada, la velocidad máxima será la adecuada para que estos materiales no se erosionen.

En canales revestidos de concreto reforzado, la velocidad media máxima permisible en tramos cortos sin estructuras puede variar de 1.00 a 3.75 m./seg., dependiendo de las condiciones del tipo de suelo en



que se aloje el canal, de la pendiente longitudinal disponible y de la ubicación de puentes, represas y tomas.

Cuando el revestimiento no tiene refuerzo, la velocidad media máxima recomendable no debe ser mayor de 0.7 de la velocidad crítica y no debe exceder de 2.50 m./seg. para evitar la posibilidad de que sea levantado el revestimiento.

Cuando el suelo en que se aloja el canal revestido de concreto, es de partículas finas y sin cohesión, como la arena, las velocidades altas tienden a desprender las partículas del suelo a través de las grietas que normalmente se forman en las losas o por las juntas defectuosas. En estos casos se recomienda que la velocidad media máxima no exceda de 1.50 m./seg.

Cuando en el canal, los tramos entre represas y tomas sean suficientemente largos y la pendiente longitudinal del terreno sea fuerte condicionada por la topografía, resulta económicamente justificable acercarse y aún sobrepasar la velocidad crítica, entonces el canal revestido de concreto se puede calcular como una rápida, con un tanque amortiguador en el extremo inferior.

En estos casos se pueden admitir velocidades hasta de 10.00 m./seg. siempre que la rápida y sus accesorios sean correctamente proyectados, hidráulica y estructuralmente.

Velocidad mínima permisible.

Esta velocidad no presenta un problema tan marcado como en los canales sin revestir, ya que al soportar la sección velocidades mayores sin poner en peligro la estabilidad del canal, puede aumentarse esta velocidad mínima permisible a valores que no



provoquen el fenómeno de sedimentación y que no propicien el crecimiento de plantas acuáticas, de musgo o lama.

En un canal existen factores que modifican la velocidad y que se deben tomar en cuenta par su diseño, como:

Gasto, radio hidráulico, pendiente longitudinal y coeficiente de rugosidad.

Pendiente longitudinal.

Esta pendiente depende principalmente de la propia pendiente longitudinal del terreno en donde va a estar alojado el canal y de la necesidad de que su sección permanezca en equilibrio durante la vida útil del mismo.

Cuando la pendiente natural del terreno es mayor que la permisible en el canal, la carga sobrante debe anularse mediante caídas o rápidas espaciadas a intervalos convenientemente estudiados a lo largo de la conducción para evitar la erosión, desgaste de la plantilla y taludes del canal.

El criterio de diseño requiere que el agua no cause socavación en el lecho del canal y se rige por la velocidad máxima, siendo la erosión el factor limitante.

La pendiente máxima tolerable en un canal está dada por la condición de que la velocidad del agua no produzca erosión ni arrastre de los materiales que forman la sección del canal; así mismo la pendiente mínima está limitada por la condición de que no se produzca depósito de azolve en el canal.

En los canales de riego es difícil fijar con exactitud los límites máximo y mínimo que debe tener la pendiente longitudinal, a menos de que existan



condiciones especiales de índole topográfico, geológico, agrológico o de operación que defina una pendiente recomendable ya que ésta puede variar entre límites muy amplios.

Coeficiente de rugosidad.

El coeficiente de rugosidad mide la mayor o menor dificultad que tiene el agua para circular en un canal, depende de las diferentes clases de materiales por lo que puede escurrir el agua en un canal y se emplea en las diferentes fórmulas para el cálculo de canales.

Un punto muy importante es que el coeficiente de rugosidad no debe basarse al grado de rugosidad del acabado de la superficie al terminar de construir la obra, sino se debe aplicar un coeficiente basado en el grado de alteración que la superficie tendrá después de varios años de servicio.

Factores que afectan el coeficiente de rugosidad.

Rugosidad de la superficie.

Está representada por el tamaño y la forma de los granos o irregularidades del material que compone la superficie de la sección del canal. Esta rugosidad produce retardamiento en la sección del canal.



Vegetación y organismos acuáticos.

La presencia de vegetación y organismos acuáticos, se pueden tomar en cuenta mediante un factor de rugosidad adecuado, ya que sus efectos consisten en reducción de la capacidad del canal y retardamiento del escurrimiento.

Estos efectos son más importantes cuando más pequeña es la sección del canal.

Con objeto de determinar el efecto que la vegetación y organismos acuáticos tienen en la rugosidad y capacidad de los canales, el Bureau of Reclamation realizó varias pruebas en canales revestidos, encontrando variaciones del coeficiente "n", desde 0.015 hasta 0.020 en un ciclo agrícola, además se encontraron canales que disminuyeron su capacidad hasta un 20%.

Se debe tener en cuenta que al paso de los años algunos canales pueden infestarse por diversos tipos de vegetación y organismos acuáticos y, en el diseño debe ponerse ésto, considerando ya sea un coeficiente de rugosidad mayor o cuando se prevea mala conservación del sistema se puede considerar una área adicional para tener en cuenta la futura pérdida de capacidad.

Alineación en conducción.

Las curvas horizontales suaves, grandes radios de curvatura, producen poca variación en el coeficiente de rugosidad pero en las curvas cerradas con pequeños radios, incrementan mucho el coeficiente de rugosidad.



Sedimentación y erosión.

Generalmente la sedimentación puede cambiar una sección transversal irregular, en otra menor bastante uniforme, con un efecto de disminución del coeficiente de rugosidad; en cambio la erosión puede aumentar la sección y por lo tanto también el coeficiente de rugosidad. Hay que tomar en cuenta que el efecto de la sedimentación sobre el coeficiente de rugosidad depende de la naturaleza del sedimento ya que los depósitos de arena, en forma de dunas, aumentan el valor de la rugosidad.

Obstrucciones.

La presencia de troncos, pilas de puentes y otro tipo de obstáculos, aumentan el coeficiente de rugosidad en una cantidad cuyo valor depende de la naturaleza, forma, número y tamaño de los obstáculos.

En el caso de obstrucciones ocasionadas por las estructuras, es posible tomar en cuenta sus efectos, considerando ampliación de la sección o modificando la rasante del canal.

Sección transversal.

La sección transversal de un canal, en la hidráulica, se considera fundamentalmente como el área hidráulica de la sección normal, al escurrimiento limitado hasta la superficie libre del agua.

Sección transversal de máxima eficiencia.



Desde el punto de vista hidráulico la sección que para una área dada nos da la máxima capacidad, es aquella con radio hidráulico máximo y perímetro mojado mínimo.

La sección circular es de todos los tipos posibles la que tiene la máxima eficiencia hidráulica; sin embargo, desde el punto de vista práctico aún cuando la sección de máxima eficiencia es la que da la mínima área para un gasto determinado, no siempre dará la mínima excavación.

La sección de mínima excavación se tendrá cuando coincida la superficie del agua con el terreno natural. Cuando la superficie del agua queda a una elevación menor que la del terreno natural los canales más angostos y profundos dan la mínima excavación, si la elevación de la superficie del agua es mayor que la del terreno natural, las secciones transversales anchas y poco profundas dan la mínima excavación.

Sin embargo, en los canales de riego la posición que debe tener la superficie del agua con relación a los terrenos que sirve, son factores que intervienen directamente en la selección de la sección transversal.

Sección transversal más conveniente.

La sección transversal ideal, teóricamente, es la de máxima eficiencia hidráulica; sin embargo, no siempre se puede adoptar debido a que hay factores económicos que pueden tener mayor importancia para el diseño del canal.

En general, la sección transversal de los canales para riego es de forma trapezoidal; las secciones pequeñas y revestidas a veces son semicirculares.



En la mayoría de los canales las características de la sección y el diseño se modifican cuando se atraviesan diferentes tipos de terreno, pero generalmente la forma trapezoidal se conserva siempre. Los canales sin revestir con frecuencia adquieren con el uso, formas redondeadas en el fondo por el resultado de socavación y sedimentación, los canales revestidos algunas ocasiones se construyen en forma redondeada en la unión de la plantilla con los taludes, con objeto de aumentar la eficiencia hidráulica.

Forma y dimensiones de la sección transversal.

La sección transversal seleccionada para el canal debe ser capaz de conducir el gasto máximo y esto se satisface dando las dimensiones adecuadas al ancho de plantilla, tirante, taludes laterales y bordo libre, que permitan tanto la construcción como la operación, limpieza y conservación del canal.

Es conveniente uniformar la sección y sus dimensiones en los canales para riego, adoptando secciones típicas pues esto ayuda a la selección de los moldes y equipos, y se reduce la inversión en los canales revestidos, además facilita el diseño y construcción de estructura en cualquier tipo de canal.

Características físicas de la sección transversal.

Además de la sección hidráulica, en el caso de canales, deben diseñarse los bordos y los cortes que confinan el canal, con una serie de características que ayudan a la estabilidad de la sección y facilitan la operación y conservación de aquel.

Curvatura horizontal.



No existe un criterio general o fórmula para calcular el radio de curvatura mínimo en canales de riego; sin embargo hay ciertas consideraciones empíricas que deben aplicarse con criterio de acuerdo a la experiencia, como puede ser que el radio de curvatura sea quince veces el tirante del agua o, de 3 a 7 veces el ancho de la superficie del agua, adoptándose el que dé el mayor radio de curvatura.

Bordo libre.

En canales de riego deben darse bordos libres suficientes para evitar que el agua pueda verter sobre los bordos del canal o excedan el límite de revestimiento, como una medida de seguridad.

El valor asignable al bordo libre depende de la sección del canal, las condiciones de escurrimiento, los materiales que forman los bordos y los métodos de construcción.

En canales sin revestir, el bordo libre puede calcularse en forma preliminar con la siguiente fórmula:

$$F = 0.55cd$$

En donde tenemos:

F = Altura del bordo libre, en metros.

c = Coeficiente.



d = tirante del canal, en metros.

El coeficiente "c" varía desde 1.5 para canales pequeños con capacidad del orden de 600 l. p. s. hasta 2.5 para los canales con capacidad de hasta 80 M3/seg. o más.

II.5 SECCION DE MAXIMA EFICIENCIA.

En muchas ocasiones al diseñar un canal se recomienda esta condición, con el objeto de obtener la mayor economía, ya que se consiguen menores áreas hidráulicas en igualdad de gastos, por lo tanto tendremos menos excavación y en los canales revestidos tendrán un costo menor. Para entender esta condición de máxima eficiencia se ilustra lo siguiente:

$$Q = AV$$

Fórmula de continuidad.

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

Fórmula de Manning.

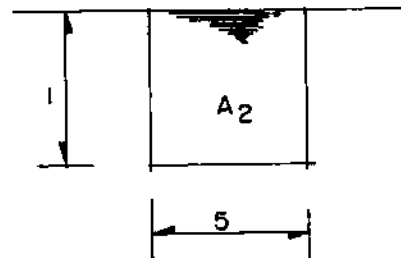
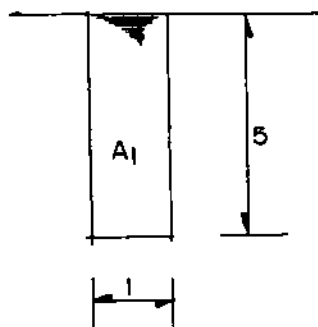
$$r = \frac{A}{P}$$

Radio hidráulico.

Lo que nos indica que a mayor radio hidráulico tendremos mayor velocidad y por consecuencia aumentará el gasto.



-Ejemplo-



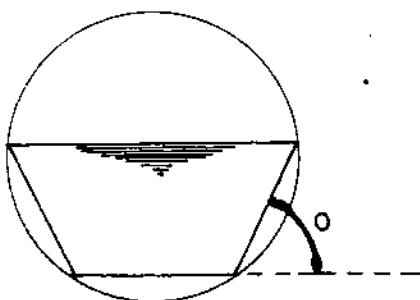
$$r_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad \text{Menor radio hidráulico.}$$

$$r_2 = \frac{A_2}{P_2} = \frac{5}{7} = 0.714 \quad \text{Mayor radio hidráulico}$$

Por lo tanto nos conviene más la sección A₂.

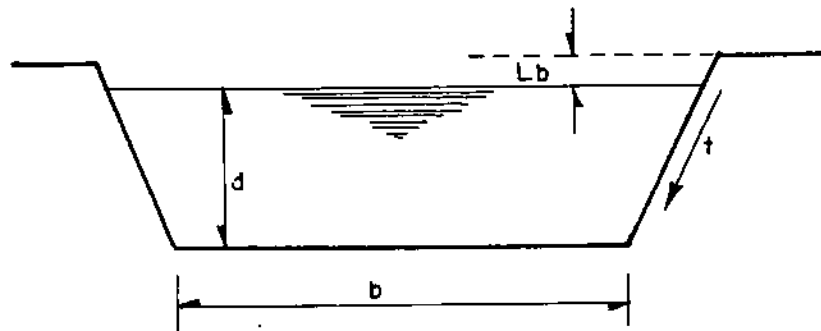


En los canales trapeziales el más eficiente es el de forma semiexagonal.



No es posible construir, siempre, un canal según la figura anterior pues el diseño depende de la clase de terreno en que se alojará y si será o no revestido; por lo tanto el caso mas común es un canal como el que se muestra a continuación.





Tratándose de un canal trapecial, como el de la figura anterior, su sección de máxima eficiencia se calculará de la siguiente manera:

De la ecuación para determinar el área hidráulica (sección trapecial):

$$A = bd + td^2 \quad \text{-----} 1$$



Despejando a "b"

$$b = \frac{A - td^2}{d} \text{ ----- } 2$$

Perímetro mojado:

$$P = b + 2d \sqrt{1 + t^2} \text{ ----- } 3$$

Sustituimos 2 en 3 y obtenemos:

$$P = \frac{A}{d} - td + 2d \sqrt{1 + t^2}$$

Suponiendo que el área de la vena líquida es constante, para determinar cuál de todos los canales con los mismo taludes m es el de máxima eficiencia, derivando la ecuación anterior con respecto al tirante e igualando a cero:



$$\frac{dp}{dd} = - \frac{A}{d^2} - t + 2 \sqrt{1+t^2} = 0$$

Sustituyendo el valor del área hidráulica (ecuación1) y despejando la plantilla, entonces tendremos:

$$\frac{A}{d^2} = -t + 2 \sqrt{1+t^2}$$

$$\frac{bd + td^2}{d^2} = -t + 2 \sqrt{1+t^2}$$

$$\frac{b}{d} + t = -t + 2 \sqrt{1+t^2}$$

$$b = (-2t + 2 \sqrt{1+t^2}) d$$



$$b = 2d \left(\sqrt{1+t^2} - t \right) \text{ ----- } 4$$

La ecuación 4 da la plantilla de la sección de máxima eficiencia para un talud dado.

Sustituyendo en la ecuación del radio hidráulico la ecuación 4 tenemos:

$$r = \frac{A}{p}$$

$$r = \frac{2d^2 \left(\sqrt{1+t^2} - t \right) + td^2}{2d \left(\sqrt{1+t^2} - t \right) + 2d \sqrt{1+t^2}}$$

$$r = \frac{d \left(2d \sqrt{1+t^2} - td \right)}{2 \left(2d \sqrt{1+t^2} - td \right)}$$

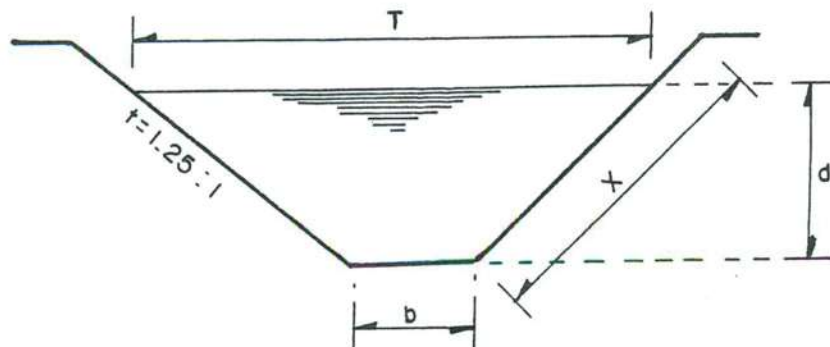


O sea:

$$r = \frac{d}{2} \quad \text{CONDICION DE MAXIMA EFICIENCIA.}$$

Partiendo de las deducciones anteriores se determina para la sección de máxima eficiencia el valor de b (plantilla) y d (tirante) para la sección con talud 1.25:1.

SECCIONES DE MAXIMA EFICIENCIA $t = 1.25 : 1$



$$x = d \sqrt{1 + t^2}$$

T = Espejo del agua.

$$T = b + 2td$$

$$T = b + 2td = 2x = 2d \sqrt{1 + t^2}$$

Sustituyendo $t = 1.25:1$

$$b + 2 (1.25) d = 2d \sqrt{1 + 1.25^2}$$

$$b = 0.70d \therefore d = \frac{b}{0.70}$$

Sustituyendo el valor de d en la ecuación del Area y perímetro tenemos:



AREA HIDRAULICA:

$$A = bd + td^2 = b \frac{b}{0.70} + 1.25 \frac{b^2}{0.70^2}$$

$$A = 1.428b^2 + 2.551b^2$$

$$A = 3.979 b^2$$

PERIMETRO MOJADO:

$$P = b + 2d \sqrt{1 + t^2} = b + 3.20 \left(\frac{b}{0.70} \right)$$

$$P = 5.57 b$$



RADIO HIDRAULICO:

$$r = \frac{A}{p} = \frac{3.979 b^2}{5.57 b} = 0.714 b$$

$$r = 0.714b$$

$$r^{2/3} = 0.798 b^{2/3}$$

VELOCIDAD POR MANNING:

$$v = \frac{1}{n} s^{1/2} r^{2/3} = 0.798 \frac{b^{2/3} s^{1/2}}{n}$$



GASTO POR LA FORMULA DE CONTINUIDAD:

$$Q = A.v = 3.979 \frac{b^2}{n} (0.798) \frac{b^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$$Q = 3.175 \frac{b^{8/3} S^{1/2}}{n}$$

Despejando a la plantilla b:

$$b = 0.648 \left(\frac{Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8} Y$$

$$d = \frac{b}{0.70} \quad \text{para } t = 1.25:1$$

Ahora calcularemos, como ejemplo , la sección de máxima eficiencia para un canal con los datos siguientes:



$$Q = 0.63 \text{ M}^3/\text{seg.}$$

$$n = 0.020$$

$$S = 0.0005$$

$$t = 1.25:1$$

Haciendo uso de las fórmulas anteriores, tenemos:

$$b = 0.648 \left(\frac{Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$b = 0.648 \left(\frac{0.63 \times 0.02}{0.0005^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$b = 0.648 (0.899)$$

$$b = 0.583 \text{ metros.}$$

Sustituimos el valor encontrado de "b" para tener:



$$d = \frac{b}{0.70} = \frac{0.583}{0.70} = 0.833$$

$$d = 0.833 \text{ metros.}$$

Para comprobar la condición de máxima eficiencia, tenemos:

$$r = 0.714b = 0.714 (0.583) = 0.416 \text{ M}$$

$$r = \frac{d}{2} \quad \text{Condición de máxima eficiencia.}$$

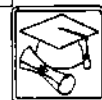
$$r = \frac{0.833}{2} = 0.416 \text{ M.}$$



Para facilitar la construcción del canal, las dimensiones serán:

$d = 0.85$ metros.

$b = 0.60$ metros.



CAPITULO III

DISEÑO HIDRAULICO DEL CANAL PRINCIPAL " EL TICUZ " **DEL KM. 0 + 000 AL KM. 2 + 520.**

Para hacer el diseño hidráulico del canal, es indispensable contar con algunos datos básicos como los siguientes:

Primeramente el perfil longitudinal del terreno por el eje del canal, que obtenemos de nivelar el trazo definitivo dibujando en papel milimétrico con la escala horizontal 1:2000 y la escala vertical de 1:100 (anexo No. 3).

Debemos hacer la localización de las estructuras de toma con su kilometraje respectivo y tipo de toma.

Otro dato básico es el área bruta y el área neta de cada lote que será dominado por su respectiva toma granja.

Estas áreas las obtendremos de la lotificación (anexo No. 5).

Después de obtener los datos anteriores, estamos en condiciones para calcular la capacidad del canal en sus diversos tramos para lo cual calculamos la Tabla de Areas-Capacidades que consta de 11 columnas, en las cuales se registran los datos correspondientes a cada una de las tomas (anexo No. 4).

En la Tabla de Areas-Capacidades cada columna tiene un uso que es el siguiente:



1.- Localización.

Esta se refiere a la ubicación de la toma con respecto al canal y en este caso están definidas con el kilometraje del canal.

2.- Tipo de toma.

Podemos tener izquierda, derecha, o dobles tomando en cuenta el lado hacia el cual sirven con respecto al escurrimiento en el canal.

3.- Area bruta.

Es la superficie del lote que se servirá con la toma correspondiente.

4.- Area neta.

Es la superficie realmente dominada por la toma, una vez descontada la superficie que ocupan los caminos, los bordos, drenes, etc. Normalmente se toma como el 95% del área bruta.

5.- Area neta acumulada.

Para acumular las áreas netas se suma desde la última toma localizada aguas abajo del canal hasta llegar a la primera toma.



6.- Coeficiente unitario de diseño.

Es el valor escogido como la cantidad de agua necesaria para los cultivos por unidad de superficie para condiciones normales. En este caso el canal Ticuz será de 1.8 Lt./seg./Ha.

7.- Gasto necesario.

Es el resultado de multiplicar el área neta acumulada por el coeficiente unitario de diseño y está dado en litros/segundo.

Por ejemplo:

En la estación 0 + 960 tenemos una área neta acumulada de 220.4 Ha y el gasto necesario será: $220.4 \text{ Has} \times 1.8 \text{ Lts/ség/Ha} = 396.7 \text{ Lts/seg.}$

8.- Gasto necesario.

Es el valor del gasto anterior pero convetido a M³/seg. para usarse al entrar en la tabla de secciones tipo.

Por ejemplo:

$396.7 \text{ Lts./seg.} = 0.396 \text{ M}^3/\text{seg.}$



9.- Elevación del terreno natural.

Esta elevación se obtiene de estudiar la sección transversal correspondiente a la toma, y la cota será la del terreno natural a la salida de la estructura considerando la longitud necesaria para alojarla.

10.- Elevación de la superficie del agua.

Es la elevación mínima que debe alcanzar el agua en el canal para asegurar la carga hidráulica a la salida de la toma.

Se obtiene al estudiar la sección transversal donde está localizada la toma, considerando la pérdida de carga en la estructura y el tirante necesario a la salida de la toma.

11.- Notas.

Perfil hidráulico longitudinal.

Ya que se tiene calculada la capacidad necesaria en cada uno de los tramos del canal, se procede a diseñar el perfil hidráulico longitudinal de éste.

El perfil hidráulico del canal depende del régimen del escurrimiento y del tipo de estructuras que se encuentran localizadas a lo largo del mismo.



El régimen que se presenta con más frecuencia es el permanente y uniforme en el cual el tirante normal y demás características hidráulicas, son constantes a lo largo de la conducción. Este régimen ocurre generalmente en tramos de canal libre de estructuras; sin embargo en la proximidad de estructuras tales como caídas, rápidas, sifones y otro tipo de ellas, se modifica el régimen de escurrimiento.

Para el diseño del perfil hidráulico longitudinal se procede a vaciar en el perfil obtenido por el eje del conducto, los datos calculados en la tabla de Areas-Capacidades, o sea en el perfil se anotan las estructuras de toma previamente localizadas la elevación de la superficie libre del agua necesaria en el canal así como un gasto necesario en cada uno de los puntos de entrega y demás estructuras necesarias.

Por ejemplo:

Anotamos en el perfil en el Km. 3 + 200 estación donde quedó localizada la toma después de estudiar secciones y perfil, una T. G. Derecha con un gasto necesario de 0.106 M³/seg. y una elevación necesaria de la superficie libre del agua de 527.51 y además en el mismo kilometraje anotamos un represa, siguiendo un orden progresivo en la tabla de Areas-Capacidades tenemos que el Km. 2 + 460 es necesario una T.G. Derecha con un gasto necesario de 0.212 M³/seg. una elevación de la superficie libre del agua de 527.88 y una repesa que es necesaria en este sitio para tener la carga disponible o nivel del agua, y de esta manera se vacían todos los datos calculados para el canal en el perfil por el eje del trazo.



Ya que se tienen todos estos puntos fijos, se unen y se calcula en forma tentativa la pendiente hidráulica longitudinal, para después afinarla y con el dato de la pendiente y el gasto necesario en ese punto

entramos a las Tablas de Secciones Tipo y vemos cuál es la que conviene adoptar en cada tramo, tomando en cuenta principalmente si el tramo está libre de estructuras o existe alguna de ellas. De esta tabla se obtiene el dato necesario para llenar la columna No. 9 de la tabla de Areas-Capacidades.

Finalmente de la Tabla de Secciones Tipo obtenemos la pendiente hidráulica del canal para los diferentes tramos y uniendo con ésta pendiente los puntos obligados, o sea el nivel del agua en cada toma damos por definido el proyecto hidráulico del canal.

A continuación se muestra la tabla de Seccion Tipo usada para el diseño del canal (anexo No. 2)

La Tabla de Secciones Tipo a que me refiero en el punto anterior ha sido elaborada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos con el objeto de uniformizar los canales y al mismo tiempo agilizar los cálculos. Esta tabla fue elaborada tratando de obtener la sección de máxima eficiencia, esto puede apreciarse en el cálculo que se hizo al final del capítulo 2, donde se obtuvieron unas dimensiones aproximadamente a las de la tabla.



CAPITULO IV

CALCULO HIDRAULICO DEL SIFON KM. 0 + 341.88

DEL " CANAL EL TICUZ "

Dentro del desarrollo longitudinal del canal "El Ticuz" se tuvo que cruzar el "Río Duero" en el Km. 0 + 341.88 .

En ese punto de cruce existe un puente vehículos y sobre las pilas una tubería de acero que trabajaba como alcantarilla entre el Canal y el Río.

Como solución de cruce se analiza dicha tubería pero haciéndola trabajar como sifón y garantizar el gasto del canal.

Del perfil obtenemos los datos hidráulicos del canal en la forma siguiente:

AGUAS ARRIBA:

$Q = 0.53 \text{ m}^3/\text{SEG.}$
 $A = 0.96 \text{ M}^2.$
 $b = 0.50 \text{ M.}$
 $d = 0.70 \text{ M.}$
 $V = 0.55 \text{ M/seg.}$
 $S = 0.0005.$
 $n = 0.020.$
 $r = 0.35 \text{ M.}$
 $t = 1.25:1$
 $lb = 0.20 \text{ M.}$

AGUAS ABAJO:

$Q = 0.53 \text{ M}^3/\text{seg.}$
 $A = 0.96 \text{ M}^2.$
 $b = 0.50 \text{ M.}$
 $d = 0.70 \text{ M.}$
 $v = 0.55 \text{ M/seg.}$
 $S = 0.0005.$
 $n = 0.020.$
 $r = 0.35 \text{ M.}$
 $t = 1.25:1$
 $lb = 0.20 \text{ M.}$



Area del conducto necesaria para el sifón. El conducto tien un diámetro de 0.55 m.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 \times 0.55^2 = 0.24 \text{ M2.}$$

La velocidad dentro del conducto será:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.53 \text{ M3/seg.}}{0.24 \text{ M2}} = 2.21 \text{ M/seg.}$$

La velocidad es aceptable con el objeto de evitar depósitos de azolve dentro del conducto.

El perímetro mojado:

$$P = \pi d = 3.1416 \times 0.55 = 1.73 \text{ m.}$$



El radio hidráulico:

$$r = \frac{A}{P} = \frac{0.24 \text{ M}^2}{1.73 \text{ M.}} = 0.14 \text{ M.}$$

Los datos del conducto serán:

$$\begin{aligned} Q &= 0.53 \text{ M}^3/\text{seg.} \\ A &= 0.24 \text{ M}^2 \\ V &= 2.21 \text{ M}/\text{seg.} \\ d &= 0.55 \text{ m.} \\ r &= 0.14 \text{ m.} \\ P &= 1.73 \text{ m.} \\ r^{2/3} &= 0.27. \\ n &= 0.013 \text{ (coeficiente de rugosidad para el tubo de acero)} \end{aligned}$$

Longitud de transición:

De acuerdo al criterio de HINDS

$$L = \frac{T-t}{2} \text{ Cot. } 22^\circ 30'$$

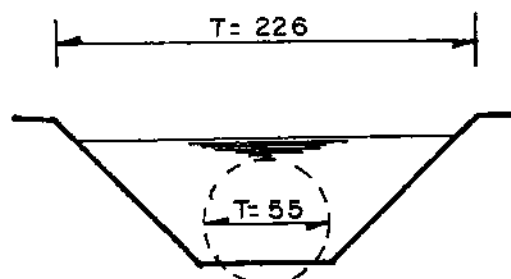
$$T = 2.26 \text{ m.}$$



$$t = 0.55 \text{ m.}$$

$$\text{Cot. } 22^\circ 30' = 2.4142$$

$$L = \frac{2.26 - 0.55}{2} (2.4142) = 2.08 \text{ Mts}$$

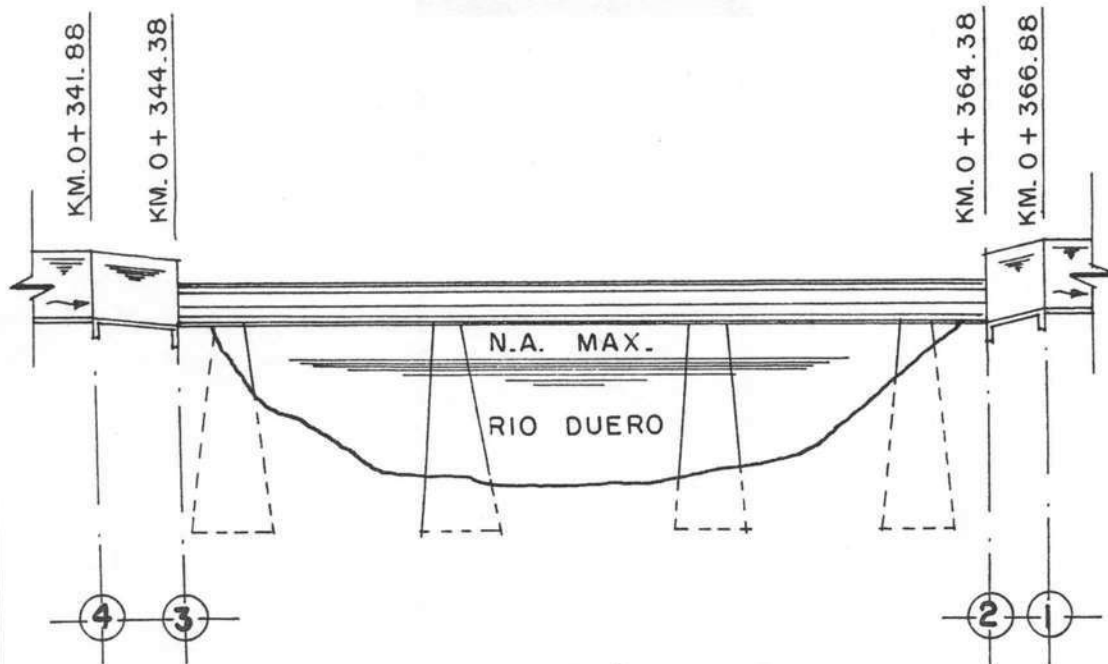


Adoptamos una longitud de 2.50 Mts. tanto aguas arriba como aguas abajo.

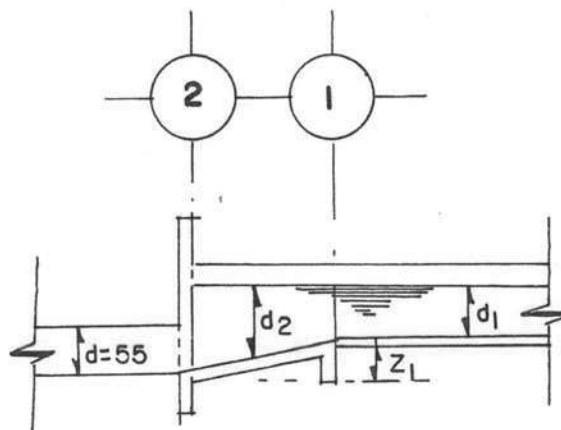
CALCULOS DE LAS PERDIDAS DE CARGA:

Con el levantamiento del sitio de cruce , dibujamos el siguiente croquis.





Aplicando el teorema de Bernoulli de 1 a 2.



$$d_2 + h_{v2} = Z_1 + d_1 + h_{v1} + h_{ts} - - - - - (I)$$

Si llamamos:

d_1 = Tirante normal del canal aguas abajo = 0.70 m

h_{v1} = Carga de velocidad.

$$h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{0.55^2}{19.6} = 0.02 \text{ Mts.}$$

d_2 = Tirante a la salida del conducto.

Consideramos un 20% para ahogamiento a la salida con el fin de que el conducto trabaje a sección llena.

$$d_2 = d_1 + 20\% = 0.55 + 20\% = 0.66 \text{ Mts.}$$



$$Z_1 = 0.77 - 0.74$$

$$Z_1 = 0.03 \text{ Mts.}$$

Ahora Bernoulli de 2 a 3.

$$d_3 + hv_3 + Z_2 = d_2 + hv_2 + h_e + h_f + h_c + h_s \text{ --(II)}$$

En donde:

d_3 = Tirante a la entrada del conducto.

hv_3 = Carga de velocidad a la entrada del conducto.

Z_2 = Desnivel entre los puntos 2 y 3.

d_2 = Tirante a la salida del conducto.

hv_2 = Carga de velocidad a la salida del conducto.



$$A_2 = \frac{bd}{2} = \frac{0.55 \times 0.66}{2} = 0.36 \text{ M}^2.$$

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0.53}{0.36} = 1.47 \text{ m./seg. (a la salida del conducto)}$$

$$h_{v_2} = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{1.47^2}{19.6} = 0.11 \text{ m.}$$

h_{ts} = Pérdida por transición de salida.

$$h_{ts} = 0.2 (h_{v_2} - h_{v_1}) = 0.2 (0.11 - 0.02) = 0.02 \text{ M.}$$

Sustituyendo en la ecuación (I)

$$d_2 + h_{v_2} = Z_1 + d_1 + h_{v_1} + h_{ts}$$

$$0.66 + 0.11 = Z_1 + 0.70 + 0.02 + 0.02$$

$$0.77 = Z_1 + 0.74$$



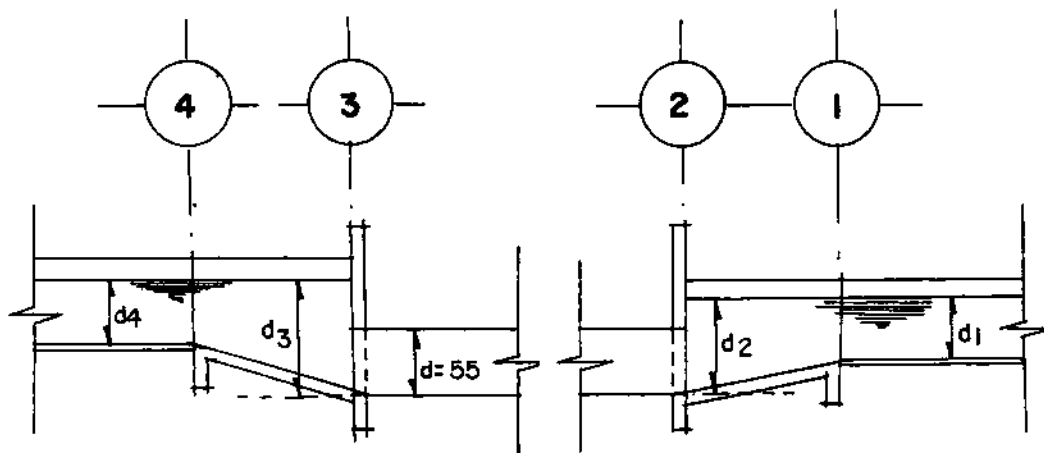
h_e = Pérdida de carga por entrada.

h_f = Pérdida de carga por fricción.

h_c = Pérdida de carga por cambio de dirección.

h_s = Pérdida de carga por salida.

Determinamos primero d_3 :



$$d_3 = d + 20 \% \text{ de ahogamiento.}$$

$$d_3 = 0.55 + 20\% = 0.55 + (0.55) 20\%$$

$$d_3 = 0.55 + 0.11 = 0.66 \text{ Mts.}$$

$$A_3 = b d_3 = 0.55 \times 0.66 = 0.36 \text{ M2.}$$

$$V_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{0.53}{0.36} = 1.47 \text{ m/seg. (a la entrada del conducto).}$$

$$h_{v_3} = \frac{V_3^2}{2g} = \frac{1.47^2}{19.60} = \frac{2.16}{19.60} = 0.11 \text{ Mts.}$$

La pérdida por entrada será:

$$h_e = 0.10 (h_{vc} - h_{v_3})$$



$$\text{Si } h_{vc} = \frac{V_c^2}{2g} = \frac{(2.21)^2}{19.60} = \frac{4.48}{19.60} = 0.249$$

Entonces:

$$h_e = 0.10 (0.249 - 0.110) = 0.014 \text{ Mts.}$$

La pérdida por fricción será:

$$h_f = \left(\frac{V_n}{r^{2/3}} \right)^2 L$$

En donde:

V = Velocidad en el conducto.

n = Coeficiente de rugosidad.

r = Radio hidráulico.



L = Longitud total del conducto.

$$h_f = \left(\frac{2.21 \times 0.013^2}{0.27} \right) L$$

$$h_f = (0.011)L \quad y \quad L = 20 \text{ Mts.}$$

$$h_f = 0.011 \times 20 = 0.22 \text{ Mts.}$$

PERDIDA POR CAMBIO DE DIRECCION.

$$h_c = K_c \sqrt{\frac{V_c^2}{90^\circ}} \left(\frac{V_c^2}{2g} \right)$$

Pérdida de carga por salida.



$$h_s = 0.2 (h_{vc} - h_{v_3})$$

$$\text{siendo } h_{vc} = 0.249 \text{ y } h_{v_3} = 0.11$$

Sustituyendo estos valores tenemos:

$$h_s = 0.2 (0.249 - 0.11) = 0.028 \text{ Mts.}$$

Sustituyendo en la ecuación - - - - - II

$$d_3 + h_{v_3} + Z_2 = d_2 + h_{v_2} + h_e + h_f + h_c + h_s$$

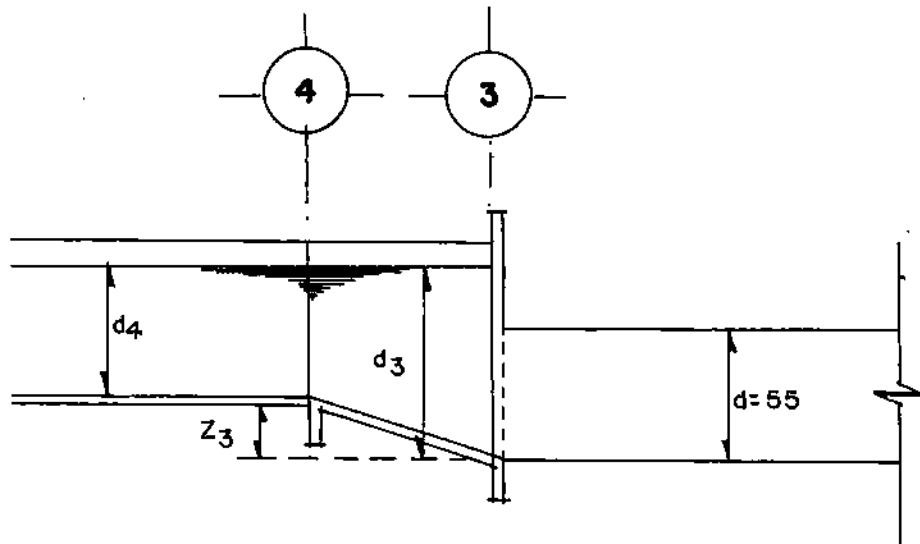
$$0.66 + 0.11 + Z_2 = 0.66 + 0.11 + 0.014 + 0.22 + 0.0 + 0.028$$

$$0.77 + Z_2 = 1.03$$

$$Z_2 = 1.03 - 0.77$$



$$\frac{Z}{2} = 0.26$$



Bernoulli de 3 a 4.

$$\frac{Z}{3} + \frac{d}{4} + \frac{h v}{4} = \frac{d}{3} + \frac{h v}{3} + h t e - - - - \text{III}$$



En donde:

z_3 = Desnivel entre los puntos 3 y 4

d_4 = Tirante normal en el canal aguas arriba.

h_{v4} = Carga de velocidad en el canal.

d_3 = Tirante a la entrada del conducto.

h_{v3} = Carga de velocidad a la entrada del conducto.

h_{te} = Pérdida por transición de entrada.

Por lo tanto:

$d_4 = 0.70 \text{ Mts.}$

$$h_{v4} = \frac{\frac{V_4^2}{2g}}{\frac{0.55^2}{19.60}} = 0.02 \text{ Mts}$$



$$d_3 = 0.66 \text{ Mts.}$$

$$hv_3 = 0.11 \text{ Mts.}$$

$$hte = 0.1 (hv_3 - hv_4) = 0.1 (0.11 - 0.02) = 0.01$$

Sustituyendo en la ecuación- - - - - III

$$Z_3 + d_4 + hv_4 = d_3 + hv_3 + hte$$

$$Z_3 + 0.70 + 0.02 = 0.66 + 0.11 + 0.01$$

$$Z_3 + 0.72 = 0.78$$

$$Z_3 = 0.78 - 0.72$$

$$Z_3 = 0.06 \text{ Mts.}$$



Finalmente aplicando Bernoulli entre 1 y 4 tenemos:

$$Z_4 + d_4 + h_{v4} = d_1 + \text{pérdidas} + h_{v1} - - - - - \text{IV}$$

En donde:

Z_4 = Desnivel entre los puntos 1 y 4.

d_4 = Tirante normal en el canal aguas arriba.

d_1 = Tirante normal en el canal de aguas abajo.

h_{v1} = Carga de velocidad en el canal.

h_{v4} = Carga de velocidad en el canal.



$$d_4 = 0.70 \text{ Mts.}$$

$$h v_4 = 0.02 \text{ Mts.}$$

$$d_1 = 0.70 \text{ Mts.}$$

$$h v_1 = 0.02 \text{ Mts.}$$

Ahora sustituyendo en la ecuación - - - - - IV

$$Z_4 + d_4 + h v_4 = d_1 + h v_1 + \text{pérdidas}$$

$$Z_4 + 0.70 + 0.02 = 0.70 + 0.02 + \text{pérdidas.}$$

$$Z_4 + 0.72 = 0.72 + \text{pérdidas}$$

$$Z_4 = \text{pérdidas}$$



La suma de pérdidas es:

$$h_{te} = 0.010$$

$$h_e = 0.014$$

$$h_f = 0.220$$

$$h_c = 0.000$$

$$h_s = 0.028$$

$$h_{ts} = 0.020$$

$$0.292 \text{ Mts.}$$

Por lo tanto el valor de Z_4 es :

$$Z_4 = 0.292 \text{ Mts.}$$

La transición de salida:

Termina { Estación km. 0 + 366.88
Elevación 1529.03



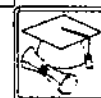
$$\begin{array}{l} \text{Inicia} \left\{ \begin{array}{l} \text{Estación Km. } 0 + 364.38 \\ \text{Elevación } 1529.03 - Z_1 = 1529.00 \end{array} \right. \end{array}$$

La transición de entrada:

$$\begin{array}{l} \text{Termina} \left\{ \begin{array}{l} \text{Estación Km. } 0 + 344.38 \\ \text{Elevación } 1529.00 + Z_2 = 1529.26 \end{array} \right. \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Inicia} \left\{ \begin{array}{l} \text{Estación Km. } 0 + 341.88 \\ \text{Elevación } 1529.26 + Z_3 = 1529.32 \end{array} \right. \end{array}$$

Como puede apreciarse, tenemos 0.33 Mts. de carga disponible y las pérdidas de carga suman 0.29 Mts., por lo tanto tenemos 0.04 Mts. de carga adicional para asegurar el funcionamiento hidráulico.



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente se hace necesario contemplar el aprovechamiento de los recursos hidráulicos en forma racional, si tomamos en cuenta o consideración, la competencia existente entre los múltiples usos a que pueden dedicarse y la interacción directa o indirecta, entre los aprovechamientos que se realizan en todas las regiones de nuestra República Mexicana y en las diferentes cuencas existentes.

De lo anteriormente dicho, se desprende que una de las actividades en materia de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, deberá estar encaminada al desarrollo técnico de la infraestructura hidráulica para poder satisfacer, en forma eficiente y oportuna, los requerimientos de los cultivos.

Aquí conviene recordar que el proyecto de un sistema de riego, con sus redes de distribución, se hace para obtener la alternativa más adecuada hidráulica y económicamente y que también lo sea en el aspecto de operación.

Las condiciones indicadas anteriormente, deberán estar apoyadas posteriormente por un análisis económico en el que deben intervenir los programas y costos de limpieza y conservación a fin de definir los criterios de diseño por adoptar.

La determinación de las probables condiciones en las cuales vaya a trabajar el canal durante su vida útil, y la manera en que cada una de ellas pueda modificar las características hidráulicas, y por lo consiguiente, los caudales que pudiera conducir, permitirá al proyectista normar su criterio para



obtener la selección adecuada de las características hidráulicas de diseño que satisfagan el caudal máximo de proyecto adoptado.



CAPITULO VI

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

HIDRAULICA.

AUTOR:

ING. SAMÚEL TRUEBA C.

NORMAS GENERALES DE
DISEÑO.

AUTOR:

DIRECCION GENERAL DE
DISTRITOS Y UNIDADES DE
RIEGO.

HIDRAULICS.

AUTORES:

HORACE KING
JAMES WOODBURN
CHESTER WISLER



LINEAMIENTOS GENERALES
PARA ESTUDIOS.

AUTOR:

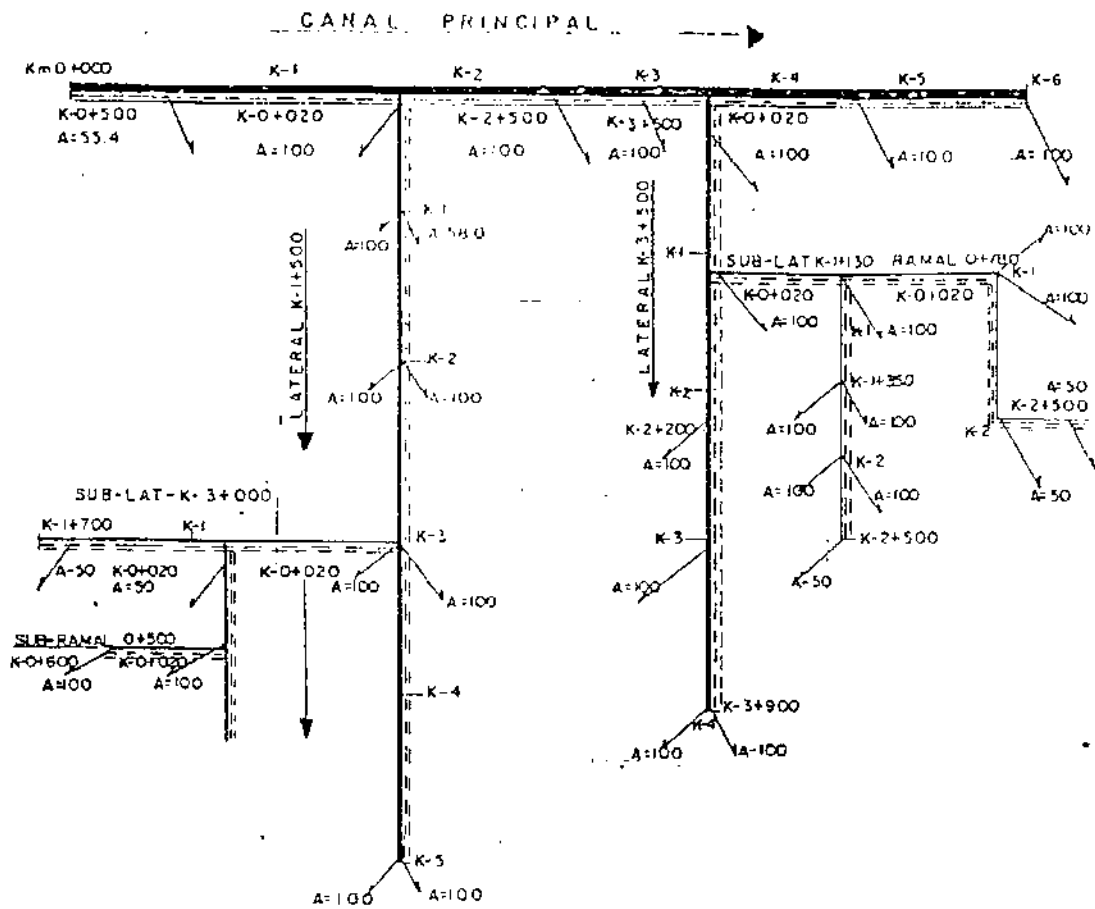
DIRECCION GENERAL DE
DISTRITOS Y UNIDADES DE
RIEGO.

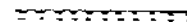
APUNTES DE OBRAS
HIDRAULICAS.

AUTOR:

ING. ARQ .JOAQUIN HERRERA
D.





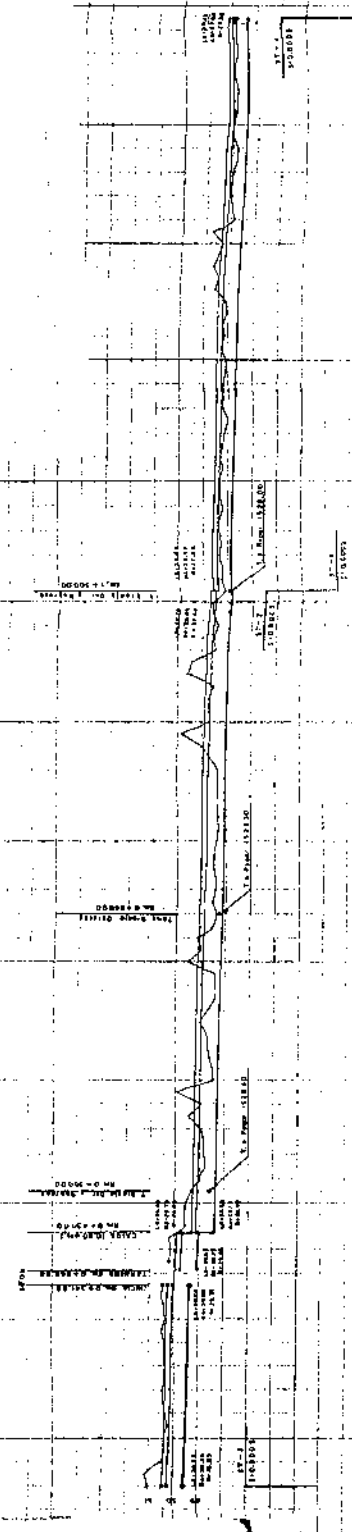
-  CANAL PRINCIPAL
-  LATERAL
-  SUB-LATERAL
-  RAMAL
-  SUB-RAMAL

UMSNH ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
EJEMPLO DE NOMENCLATURA EN CANALES		
TESIS PROFESIONAL ROSENDO DOMINGUEZ C.		
ZAMORA, MIC. MARZO 95	HOJA 1 de 1	ANEXO No 1

[illegible]ANEXO No. 2

U M S N H ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL PROYECTO CANAL EL TICUZ

TESIS PROFESIONAL
 ROSENDO DOMINGUEZ C.
 ZAMORA MICH 95
 No. 1 de 1
 ANEXO No. 3



ESTACION	ELEVACION	TIPO DE TERRENO	TIPO DE VEGETACION	TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA	TIPO DE VEGETACION	TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA
0+00	1000	1	1	1	1	1	1	1
0+10	1005	1	1	1	1	1	1	1
0+20	1010	1	1	1	1	1	1	1
0+30	1015	1	1	1	1	1	1	1
0+40	1020	1	1	1	1	1	1	1
0+50	1025	1	1	1	1	1	1	1
0+60	1030	1	1	1	1	1	1	1
0+70	1035	1	1	1	1	1	1	1
0+80	1040	1	1	1	1	1	1	1
0+90	1045	1	1	1	1	1	1	1
1+00	1050	1	1	1	1	1	1	1
1+10	1055	1	1	1	1	1	1	1
1+20	1060	1	1	1	1	1	1	1
1+30	1065	1	1	1	1	1	1	1
1+40	1070	1	1	1	1	1	1	1
1+50	1075	1	1	1	1	1	1	1
1+60	1080	1	1	1	1	1	1	1
1+70	1085	1	1	1	1	1	1	1
1+80	1090	1	1	1	1	1	1	1
1+90	1095	1	1	1	1	1	1	1
2+00	1100	1	1	1	1	1	1	1
2+10	1105	1	1	1	1	1	1	1
2+20	1110	1	1	1	1	1	1	1
2+30	1115	1	1	1	1	1	1	1
2+40	1120	1	1	1	1	1	1	1
2+50	1125	1	1	1	1	1	1	1
2+60	1130	1	1	1	1	1	1	1
2+70	1135	1	1	1	1	1	1	1
2+80	1140	1	1	1	1	1	1	1
2+90	1145	1	1	1	1	1	1	1
3+00	1150	1	1	1	1	1	1	1
3+10	1155	1	1	1	1	1	1	1
3+20	1160	1	1	1	1	1	1	1
3+30	1165	1	1	1	1	1	1	1
3+40	1170	1	1	1	1	1	1	1
3+50	1175	1	1	1	1	1	1	1
3+60	1180	1	1	1	1	1	1	1
3+70	1185	1	1	1	1	1	1	1
3+80	1190	1	1	1	1	1	1	1
3+90	1195	1	1	1	1	1	1	1
4+00	1200	1	1	1	1	1	1	1
4+10	1205	1	1	1	1	1	1	1
4+20	1210	1	1	1	1	1	1	1
4+30	1215	1	1	1	1	1	1	1
4+40	1220	1	1	1	1	1	1	1
4+50	1225	1	1	1	1	1	1	1
4+60	1230	1	1	1	1	1	1	1
4+70	1235	1	1	1	1	1	1	1
4+80	1240	1	1	1	1	1	1	1
4+90	1245	1	1	1	1	1	1	1
5+00	1250	1	1	1	1	1	1	1
5+10	1255	1	1	1	1	1	1	1
5+20	1260	1	1	1	1	1	1	1
5+30	1265	1	1	1	1	1	1	1
5+40	1270	1	1	1	1	1	1	1
5+50	1275	1	1	1	1	1	1	1
5+60	1280	1	1	1	1	1	1	1
5+70	1285	1	1	1	1	1	1	1
5+80	1290	1	1	1	1	1	1	1
5+90	1295	1	1	1	1	1	1	1
6+00	1300	1	1	1	1	1	1	1
6+10	1305	1	1	1	1	1	1	1
6+20	1310	1	1	1	1	1	1	1
6+30	1315	1	1	1	1	1	1	1
6+40	1320	1	1	1	1	1	1	1
6+50	1325	1	1	1	1	1	1	1
6+60	1330	1	1	1	1	1	1	1
6+70	1335	1	1	1	1	1	1	1
6+80	1340	1	1	1	1	1	1	1
6+90	1345	1	1	1	1	1	1	1
7+00	1350	1	1	1	1	1	1	1
7+10	1355	1	1	1	1	1	1	1
7+20	1360	1	1	1	1	1	1	1
7+30	1365	1	1	1	1	1	1	1
7+40	1370	1	1	1	1	1	1	1
7+50	1375	1	1	1	1	1	1	1
7+60	1380	1	1	1	1	1	1	1
7+70	1385	1	1	1	1	1	1	1
7+80	1390	1	1	1	1	1	1	1
7+90	1395	1	1	1	1	1	1	1
8+00	1400	1	1	1	1	1	1	1
8+10	1405	1	1	1	1	1	1	1
8+20	1410	1	1	1	1	1	1	1
8+30	1415	1	1	1	1	1	1	1
8+40	1420	1	1	1	1	1	1	1
8+50	1425	1	1	1	1	1	1	1
8+60	1430	1	1	1	1	1	1	1
8+70	1435	1	1	1	1	1	1	1
8+80	1440	1	1	1	1	1	1	1
8+90	1445	1	1	1	1	1	1	1
9+00	1450	1	1	1	1	1	1	1
9+10	1455	1	1	1	1	1	1	1
9+20	1460	1	1	1	1	1	1	1
9+30	1465	1	1	1	1	1	1	1
9+40	1470	1	1	1	1	1	1	1
9+50	1475	1	1	1	1	1	1	1
9+60	1480	1	1	1	1	1	1	1
9+70	1485	1	1	1	1	1	1	1
9+80	1490	1	1	1	1	1	1	1
9+90	1495	1	1	1	1	1	1	1
10+00	1500	1	1	1	1	1	1	1

UBICACION DE BANCOS DE NIVEL	
ESTACION	ELEVACION
0+00	1000.00
0+10	1005.00
0+20	1010.00
0+30	1015.00
0+40	1020.00
0+50	1025.00
0+60	1030.00
0+70	1035.00
0+80	1040.00
0+90	1045.00
1+00	1050.00
1+10	1055.00
1+20	1060.00
1+30	1065.00
1+40	1070.00
1+50	1075.00
1+60	1080.00
1+70	1085.00
1+80	1090.00
1+90	1095.00
2+00	1100.00
2+10	1105.00
2+20	1110.00
2+30	1115.00
2+40	1120.00
2+50	1125.00
2+60	1130.00
2+70	1135.00
2+80	1140.00
2+90	1145.00
3+00	1150.00
3+10	1155.00
3+20	1160.00
3+30	1165.00
3+40	1170.00
3+50	1175.00
3+60	1180.00
3+70	1185.00
3+80	1190.00
3+90	1195.00
4+00	1200.00
4+10	1205.00
4+20	1210.00
4+30	1215.00
4+40	1220.00
4+50	1225.00
4+60	1230.00
4+70	1235.00
4+80	1240.00
4+90	1245.00
5+00	1250.00
5+10	1255.00
5+20	1260.00
5+30	1265.00
5+40	1270.00
5+50	1275.00
5+60	1280.00
5+70	1285.00
5+80	1290.00
5+90	1295.00
6+00	1300.00
6+10	1305.00
6+20	1310.00
6+30	1315.00
6+40	1320.00
6+50	1325.00
6+60	1330.00
6+70	1335.00
6+80	1340.00
6+90	1345.00
7+00	1350.00
7+10	1355.00
7+20	1360.00
7+30	1365.00
7+40	1370.00
7+50	1375.00
7+60	1380.00
7+70	1385.00
7+80	1390.00
7+90	1395.00
8+00	1400.00
8+10	1405.00
8+20	1410.00
8+30	1415.00
8+40	1420.00
8+50	1425.00
8+60	1430.00
8+70	1435.00
8+80	1440.00
8+90	1445.00
9+00	1450.00
9+10	1455.00
9+20	1460.00
9+30	1465.00
9+40	1470.00
9+50	1475.00
9+60	1480.00
9+70	1485.00
9+80	1490.00
9+90	1495.00
10+00	1500.00

TABLA DE AREAS—CAPACIDADES PARA CANALES

FORMA

REVISO

Hoja 1 de 1 fecha

ESTACION	TIEMPOS	AREA		AREA COMPLETA	COEF. UNIV.	GASTO		GASTO NECESARIO	NIVEL T.M.	NIVEL S.L.	NOTAS
		BRUTA	NETA			BRUTA	NETA				
0+000	1.0	56.0	52.1	282.10	1.8	509.6	509.6	0.510	1528.60		
0+050	1.0	49.0	45.5	220.40	1.8	356.7	356.7	0.391	1528.50		
0+100	1.0	53.0	50.0	173.95	1.8	212.5	212.5	0.217	1528.30		
0+150	1.0	42.0	38.5	112.80	1.8	112.5	112.5	0.112	1527.60		
0+200	1.0	52.0	48.5	53.0	1.8	156.2	156.2	0.112	1527.30		

U M S N H

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TABLA DE AREAS—CAPACIDADES

CANAL EL TICUZ

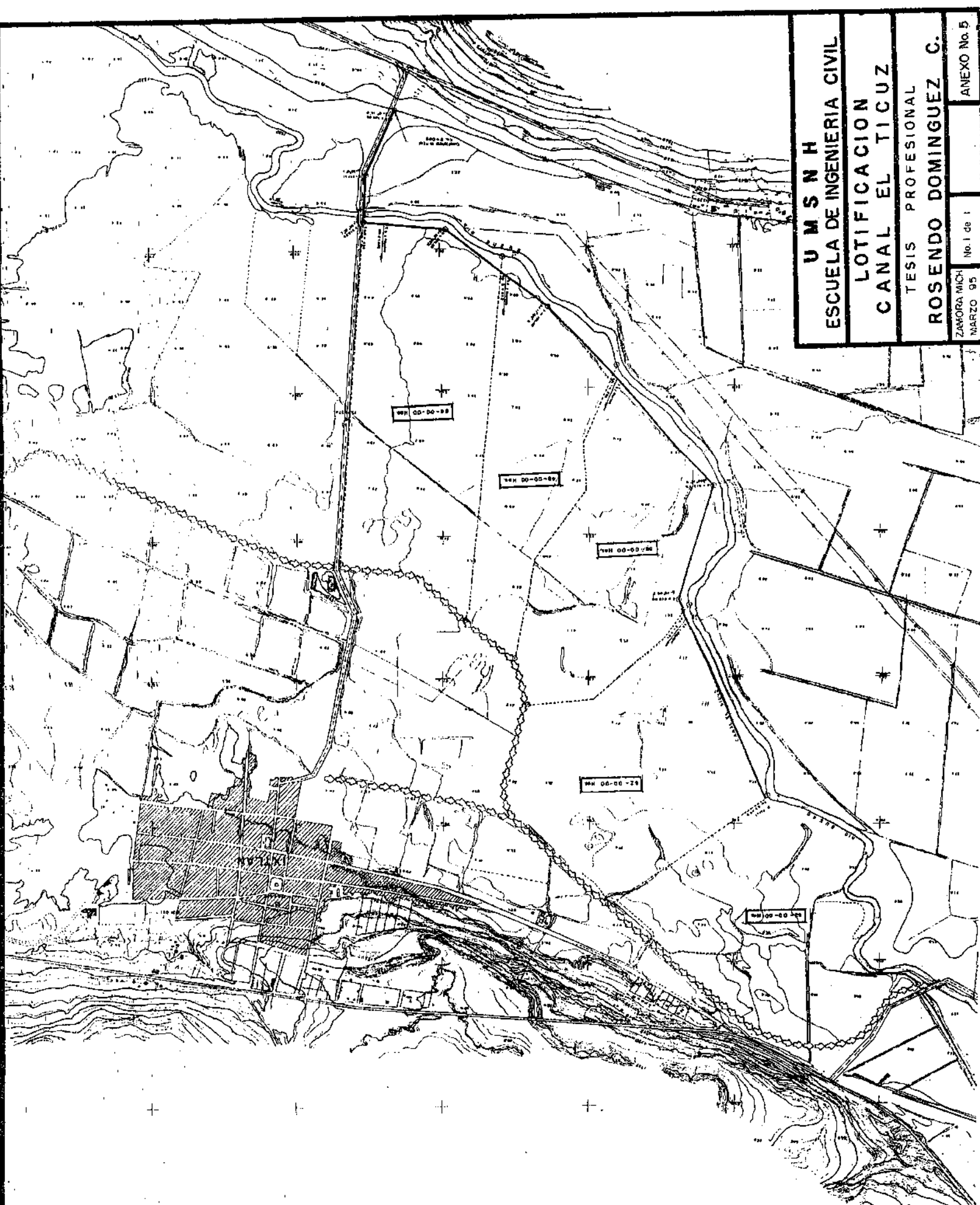
TESIS PROFESIONAL

ROSENDO DOMINGUEZ C.

ZAMORA, MICH MARZO 95

No. 1 de 1

ANEXO No. 4



U M S N H	
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
LOTIFICACION	
CANAL EL TICUZ	
TESIS PROFESIONAL	
ROSENDO DOMINGUEZ C.	
ZAMORA MICH.	No. 1 de 1
MARZO 95	ANEXO No. 5