

39



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON

## "ESTUDIOS BASICOS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO HIDRAULICO E HIDROLOGICO DE UN PUENTE SOBRE UNA CORRIENTE NATURAL"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
ANTONINO NOE ROBLES HERNANDEZ

ASESOR:  
ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

MEXICO

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES**

AGRADEZCO EL APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON YA QUE NUNCA ESCATIMARON ESFUERZOS PARA QUE TUVIERA UNA FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL, AHORA MAS QUE NUNCA SE ACRECENTA MI CARIÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO, GRACIAS.

### **A MI ESPOSA E HIJAS HORTENSIA, MONICA Y KARINA**

ESTE TRABAJO SE LO DEDICO A MIS MUJERES, YA QUE ELLAS HAN SIDO EL ESTIMULO PARA SEGUIR SUPERÁNDOME.

### **A MIS HERMANOS CARMELA, ADELFO, EULOGIO, MARIA, SERGIO, YOLANDA Y ADAN**

GRACIAS POR TODO EL APOYO QUE HE RECIBIDO POR PARTE DE USTEDES EN FORMA MORAL, ESPIRITUAL Y MATERIAL, NO FUE FACIL PERO LO LOGRAMOS.

### **A MI FAMILIA EN GENERAL**

GRACIAS POR LOS CONSEJOS Y PALABRAS DE ALIENTO QUE ME HAN DADO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.

### **A LA C. ISABEL CORNEJO**

EN ESPECIAL LE ESTOY MUY AGRADECIDO, YA QUE HA SIDO UNA PERSONA QUE HA DEDICADO MUCHO DE SU TIEMPO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, GRACIAS.

### **A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO**

LES AGRADEZCO LA PARTICIPACIÓN PARA REALIZAR ESTE TRABAJO, YA QUE DE ELLOS HE ADQUIRIDO MUCHA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### **A MI ASESOR Y PROFESORES**

GRACIAS POR SUS ENSEÑANZAS Y QUE SIEMPRE HAN ESTADO EN LA MEJOR DISPOSICIÓN DE AYUDAR AL ESTUDIANTE.

## **DEDICATORIAS**

### ***A MIS PADRES***

AGRADEZCO EL APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON YA QUE NUNCA ESCATIMARON ESFUERZOS PARA QUE TUVIERA UNA FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL, AHORA MAS QUE NUNCA SE ACRECENTA MI CARIÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO, GRACIAS.

### ***A MI ESPOSA E HIJAS HORTENSIA, MONICA Y KARINA***

ESTE TRABAJO SE LO DEDICO A MIS MUJERES, YA QUE ELLAS HAN SIDO EL ESTIMULO PARA SEGUIR SUPERÁNDOME.

### ***A MIS HERMANOS CARMELA, ADELFO, EULOGIO, MARIA, SERGIO, YOLANDA Y ADAN***

GRACIAS POR TODO EL APOYO QUE HE RECIBIDO POR PARTE DE USTEDES EN FORMA MORAL, ESPIRITUAL Y MATERIAL, NO FUE FACIL PERO LO LOGRAMOS.

### ***A MI FAMILIA EN GENERAL***

GRACIAS POR LOS CONSEJOS Y PALABRAS DE ALIENTO QUE ME HAN DADO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.

### ***A LA C. ISABEL CORNEJO***

EN ESPECIAL LE ESTOY MUY AGRADECIDO, YA QUE HA SIDO UNA PERSONA QUE HA DEDICADO MUCHO DE SU TIEMPO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, GRACIAS.

### ***A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO***

LES AGRADEZCO LA PARTICIPACIÓN PARA REALIZAR ESTE TRABAJO, YA QUE DE ELLOS HE ADQUIRIDO MUCHA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### ***A MI ASESOR Y PROFESORES***

GRACIAS POR SUS ENSEÑANZAS Y QUE SIEMPRE HAN ESTADO EN LA MEJOR DISPOSICIÓN DE AYUDAR AL ESTUDIANTE.

# INDICE

## CAPITULO I

"GENERALIDADES"	1
-----------------	---

## CAPITULO II "ESTUDIO DE CAMPO"

II.1	Introducción.	4
II.2	Trazo y nivelación del eje de Proyecto.	7
II.3	Trazo y nivelación de las secciones de topografía.	13
II.4	Nivelación del fondo de la corriente.	16
II.5	Ubicación y nivelación de las secciones hidráulicas.	17
II.6	Comentarios.	20

## CAPITULO III "OBTENCION DEL GASTO MÁXIMO CON DIFERENTES MÉTODOS HIDROLÓGICOS"

III.1	Generalidades.	25
III.2	Determinación de la Cuenca y Pendiente Hidrológica.	27
III.3	Período de Retorno.	29
III.4	Clasificación de los Métodos Hidrológicos.	31
III.5	Aplicación de los Métodos Hidrológicos.	33

## CAPITULO IV OBTENCION DEL GASTO MÁXIMO APLICANDO EL MÉTODO DE CONTINUIDAD, SECCIÓN Y PENDIENTE.

IV.1	Generalidades.	51
IV.2	Nivelación del Fondo del Cauce del Río.	51
IV.3	Levantamiento de las Secciones Hidráulicas del Cauce del Río.	52
IV.4	Determinación del Coeficiente de Rugosidad.	52
IV.5	Cálculo de Áreas y Perímetros Mojados.	52
IV.6	Cálculo de la Velocidad y Gasto Total en el Cruce.	53
IV.7	Cálculo de la Sobreelevación en el Cruce.	54
IV.8	Obtención del Gasto y Velocidad Hidráulica Definitiva.	57

## CAPITULO V APLICACIÓN A UN ESTUDIO

ESTUDIO TOPOHIDRAULICO DEL PUENTE COLAPSADO "LA FIGUA I" UBICADO EN EL KM 3+021.25 DE LA CARRETERA VILLAHERMOSA-FRONTERA CON ORIGEN EN VILLAHERMOSA, TAB.

## FIGURAS Y TABLAS

## BIBLIOGRAFÍA

# CAPITULO I

## “Generalidades”

El presente trabajo tiene como objetivo presentar algunos criterios para poder determinar los datos hidráulicos e hidrológicos que se utilizan en el proyecto de un puente que cruza una corriente natural.

Dicho trabajo describe en forma general la realización de los estudios de campo y gabinete para diseñar un puente hidráulicamente.

El capítulo II (*Estudio de Campo*), describe como se debe realizar un levantamiento topohidráulico para el cruce de una vía de comunicación con una corriente natural, ya que de él se recaban los datos básicos para el diseño hidráulico del puente.

El capítulo III (*Obtención del gasto máximo con diferentes métodos hidrológicos*), describe algunos métodos empíricos, semiempíricos y estadísticos para poder determinar un gasto hidrológico, dichos métodos se basan principalmente en los siguientes datos.

- 1.- Área de cuenca.
- 2.- Pendiente hidrológica de la cuenca.
- 3.- Topografía de la cuenca.

- 4.- Tipo de vegetación en la cuenca.
- 5.- Tipo de suelo en la cuenca y cruce.
- 6.- Registros de estaciones hidrométricas dentro y fuera de la cuenca.
- 7.- Registro de Isoyetas de Intensidad de Lluvia.
- 8.- Datos tabulados y graficados por parte de entidades federales en base a su experiencia.

El capítulo IV (*Obtención del gasto máximo aplicando el método de Continuidad y Sección y Pendiente*), permite describir algunos métodos para determinar el gasto y velocidad hidráulica, así como la altura de remanso.

Estos métodos se basan principalmente en las condiciones físicas del cauce en estudio y en datos recabados y proporcionados por la gente del lugar que tienen habitando más de 40 años en las cercanías de los cruces.

Capítulo V (*Aplicación a un estudio*), en este capítulo se mostrará la aplicación de los capítulos anteriores a un caso real. Dicha aplicación trata de ser lo más completa posible y abarcará todos los capítulos que se describieron en el desarrollo del presente trabajo.

Este trabajo podrá ser un apoyo técnico para todos los profesionistas que se dedican al proyecto hidráulico del drenaje transversal en las vías de comunicación, ya que la construcción de los puentes representa hasta un 50% del costo total de una carretera.

## **CAPITULO II**

# **“ESTUDIO DE CAMPO”**



## II.1 INTRODUCCIÓN.

Para diseñar y construir un puente sobre una corriente se necesita generalmente de un levantamiento topográfico especial. Este levantamiento se hace en las etapas iniciales para dar tiempo al diseño.

Los planos del sitio deberán contener los datos de localización, incluyendo alineamientos y niveles de rasante de la carretera, así como las marcas y referencias de todas las estaciones del levantamiento.

Los planos generados por lo regular deben ser dibujados a una escala de 1:200 y 1:500 con una equidistancia entre curvas de nivel de 1.0 m en puentes largos sobre terreno accidentado.

En sitios donde el terreno es plano y sin muchas depresiones, la equidistancia entre curvas de nivel será de 0.5 m. En los sitios en los que los puentes cruzan cuerpos de agua, se requerirá un levantamiento topohidráulico.

Un levantamiento topohidráulico es un estudio de campo que se requiere realizar en el sitio de cruce de una vía de comunicación con una corriente de agua, el cual sirve de apoyo para proyectar la estructura necesaria de drenaje, así como las obras auxiliares que aseguren el buen funcionamiento de la obra.

El término topohidráulico, que al parecer fue ideado por ingenieros mexicanos, obedece a que los trabajos que comprenden tanto detalles topográficos de la zona de cruce, como características hidráulicas de la corriente en cuestión.

Al elaborar un levantamiento topohidráulico para la construcción de un puente se debe dar el nombre del río, arroyo o barranca, camino correspondiente, tramo del camino en el cual se encuentra, etc.

Así también es imprescindible se rindan los siguientes datos:

- Origen del kilometraje.
- Plano en planta, a escala 1:200 ó 1:500 mostrando.
  1. El eje de proyecto.
  2. Curvas de nivel.
  3. Dirección del cauce.
  4. Construcciones cercanas y datos importantes.
- Ángulo que forma el eje de proyecto con el eje de la corriente (ángulo de esviajamiento).
- Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.
- Planos con los perfiles del eje de proyecto (perfil de construcción y perfil detallado).
- Elevación de la subrasante que resulte más adecuada.
- Croquis de puentes cercanos.

- Plano de pendiente y secciones hidráulicas.

## II.2 TRAZO Y NIVELACIÓN DEL EJE DE PROYECTO

El eje de proyecto o perfil de una línea en la superficie terrestre es la intersección del plano vertical con la superficie del terreno; esta línea puede ser recta, curva o mixta y se representa con las siguientes dimensiones "x" y "y".

"x" es la distancia de un punto sobre un plano de referencia; el eje de las "x" es el desarrollo del trazo de una línea cadeneada y el eje de las "y" es el dato de la elevación del perfil de la misma línea. (Ver fig. 1)

El trazo y nivelación del eje de proyecto se realiza en la localización de vías de comunicación como:

Carreteras

Ferrocarriles

Así como en la construcción de tuberías o colectores de drenaje y en ocasiones para conocer la pendiente de un terreno.

En el levantamiento del eje de proyecto se requieren las elevaciones en cada estación, situada a cada 20 m colocando estacas u otras marcas sobre el eje o centro de la línea; cada estaca se marca con su estación y la distancia adicional medida a partir de ésta, de igual forma una estaca colocada a 1000 m del punto de origen se numera como 1+000 y una colocada a 1520 m del punto de origen se numera como 1+520 m.

Las elevaciones que sirven para construir el perfil se obtienen tomando lecturas del estadal sobre el terreno donde existen puntos con cambios de pendientes o puntos críticos como en los cruces entre calles, arroyos, puentes y alcantarillas.

En la localización de un cruce carretero, el levantamiento del eje de proyecto se realiza de la siguiente manera:

Se coloca y nivela el aparato en un punto favorable donde se puede observar el estadal apoyado en el banco de nivel o punto de liga (B.N. o P. L.)

En este lugar se hace la lectura para conocer la altura de la línea de colimación y desde esta cota se leerá el estadal que se va trasladando por el eje de proyecto.

Cuando no se alcancen a ver los siguientes puntos habrá necesidad de mover el aparato, se establecerá un nuevo punto de liga para que apoyemos en él la nueva posición del aparato. Esta operación se repite a todo lo largo del eje de proyecto o hasta encontrar otro banco de nivel con cota conocida. (*Ver fig. 2.*)

Las lecturas que se toman del estadal se deben de leer al milímetro (mm).

A medida que se avanza en el trabajo se deben establecer monumentos de concreto que son bancos de nivel auxiliares; estos sirven para poder tener una elevación fija cerca del sitio de cruce y poder verificar los puntos de liga.

Al llevar las elevaciones y distancias a la representación gráfica se obtiene una sección vertical de la superficie del terreno y se puede elaborar el perfil de construcción y un perfil detallado.

En el **Plano de Perfil de Construcción** se dibuja el perfil del terreno natural sobre el eje de proyecto de la vía terrestre, cubriendo tramos de 250 m, por lo menos, en cada margen a partir de la intersección del N.A.M.E. (Nivel de aguas máximas extraordinarias) y del terreno natural.

Su finalidad principal radica en la utilización que hace el proyectista de la obra para definir la subrasante de proyecto.

Si con tal extensión no es posible definir la subrasante, será necesario prolongar aún más la cobertura del perfil.

También pudiera ser modificada en la zona de cruce la subrasante propuesta por el ingeniero de localización, que puede tener una idea poco precisa de la elevación del NAME de diseño, por no ser de su competencia tal información.

El perfil de construcción es también útil para definir la localización de las obras auxiliares, cuando se tienen llanuras de inundaciones amplias, así como los posibles cortes, terraplenes que se requieran para los accesos a la obra.

El **Perfil de Construcción** deberá ser levantado con todo detalle en la zona donde quedará la estructura de drenaje y el resto de su longitud podrá completarse con los datos de trazo de la brigada de localización.

En el Plano de Perfil de Construcción debe indicarse la existencia de:

- Curvas y sus características
- Longitud de tangentes.
- Nivel de subrasante
- Bancos de nivel
- Orientación del trazo
- Ubicación de los monumentos de concreto
- Estaciones y cotas del terreno
- Nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.)
- Nivel de aguas máximas ordinarias (N.A.M.O.)
- Nivel de aguas mínimas (N.A.MIN.)

Conviene recalcar la importancia que tiene la inclusión, siempre que sea posible del nivel de subrasante de proyecto en el plano de perfil de construcción.

Se acostumbra dibujar el perfil de construcción a escala distorcionada con el fin de resaltar las irregularidades del terreno. Es muy usual utilizar una escala 1:2000 en el sentido horizontal y 1:200 en el vertical.

En el **Plano de Perfil Detallado** se representa el perfil del terreno natural sobre el eje de proyecto; su longitud deberá cubrir la obra u obras de drenaje que vayan a proyectarse, ya que este plano se utiliza posteriormente en el estudio de cimentación



para ubicar los sondeos geológicos efectuados en campo y dibujar su perfil estratigráfico, además de que permite definir con detalle las dimensiones y ubicación de la estructura o estructuras de drenaje.

En el Perfil Detallado deberá dibujarse a la misma escala horizontal y vertical, siendo muy usual la escala 1:100 ó 1:200 dependiendo de la longitud cubierta, de manera que resulte manejable. Por supuesto, en ríos muy anchos podrá usarse una escala más grande.

En este plano también deberá indicarse el nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.), el nivel de aguas máximas ordinarias (N.A.M.O.) y el nivel de aguas mínimas (N.A.MIN.), así como gasto, velocidad y ángulo de esviaje.

### II.3 TRAZO Y NIVELACION DE LAS SECCIONES DE TOPOGRAFÍA.

Para poder determinar el relieve en la zona de un cruce, se debe realizar un levantamiento topográfico; este consiste en el trazo de una poligonal que sirve como apoyo en el trazo de las secciones topográficas.

La poligonal generalmente se traza de tal manera que las secciones topográficas sean paralelas al eje de proyecto, de esta forma se obtendrá una superficie lo suficientemente amplia para definir el funcionamiento hidráulico de la corriente.

Las primeras cuatro secciones topográficas generalmente tienen una separación de 10 m a partir del eje de proyecto o centro de línea y conforme se vayan separando más del eje tendrán una separación de 20 y 40 m. (*Ver Fig. 3.*)

Al obtener los datos del levantamiento topográfico se puede dibujar la planta general y la planta detallada del cruce en estudio.

En el **Plano de la Planta General** deberá estar incluida la siguiente información:

1. Eje de trazo.
2. Nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.)
3. Ubicación de los monumentos de concreto.
4. Sentido de la corriente.

5. Rumbos.
6. Datos de curvas del trazo.
7. Construcciones aledañas.
8. Líneas telegráficas, de energía eléctrica o telefónicas.
9. Ubicación de las secciones hidráulicas, cuando sea posible.
10. Ductos, etc.

Conviene que la planta general se dibuje a escala 1:500; para mayores extensiones se podrá dibujar a escala 1:1000 o 1:2000 o mayor, en casos en que se tengan ríos muy anchos que requieran topografía extensa.

Si aguas arriba del sitio de cruce, el cauce presenta un alineamiento más o menos rectilíneo y no tiene desbordamientos importantes que hagan necesarias obras auxiliares o de protección, quizá pueda prescindirse de la planta general.

En el **Plano de Planta Detallada**, deberán dibujarse las curvas de nivel a cada 0.5 m, este plano se utiliza para el proyecto estructural de la obra de drenaje correspondiente y abarca una franja de terreno adyacente al eje de proyecto, con una longitud en el sentido del escurrimiento del orden de 60 m, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje de proyecto; esta dimensión debe considerarse mínima y queda a criterio del ingeniero proyectista prolongarla, dependiendo principalmente del tipo y dimensiones de la estructura en proyecto.

En el sentido transversal de la corriente, la topografía debe levantarse por lo menos a 20 m, fuera del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.), en el caso de que se tenga un cauce definido.

Si se tratara de un viaducto, la planta detallada deberá cubrir hasta la intersección del terreno natural con el nivel de la subrasante de proyecto.

En el caso de un cauce insuficiente hidráulicamente que forme llanuras de inundación amplias, el levantamiento topográfico deberá abarcar la zona que a juicio del ingeniero sea necesaria para alojar las obras de drenaje.

Conviene dibujar la planta detallada a escala 1:200; para mayores extensiones la escala podría ser 1:500 o mayor, dependiendo de la zona cubierta, de manera que el plano resulte manejable.

## **II.4. NIVELACIÓN DEL FONDO DE LA CORRIENTE.**

En levantamiento de la pendiente del fondo del cauce de una corriente, se requiere un levantamiento con precisión usando el clisimetro, el tránsito o nivel de mano.

Su procedimiento es ir tomando un registro de la pendiente o de la diferencia en elevación para cada longitud de cinta o en cambios de pendiente.

Esta nivelación se hace con el fin de obtener el perfil del fondo de la corriente y así poder aplicar la ecuación de Manning (Sección y Pendiente), en cauces naturales o canales.

Por lo general la longitud de nivelación de la pendiente de un río debe ser cuatro veces más que la del ancho del cauce, es decir, si se tuviera un ancho de cauce de 30 m, se tendría que nivelar 120 m del fondo del cauce del río; de los cuales 80 m se harán hacia aguas arriba y los restantes 40 m hacia aguas abajo del sitio de cruce.

Por supuesto, que el Ingeniero encargado del estudio, decidirá si con esta longitud es suficiente o se tendrá que ampliar dicha longitud.

Esto de dar cierta longitud más hacia un sentido que hacia el otro es con el fin de abarcar la topografía del terreno hacia ese sentido y así obtener detalles de interés que en el otro no existen.

## **II.5 NIVELACIÓN DE LAS SECCIONES HIDRÁULICAS.**

Frecuentemente se desea conocer la forma de la superficie de una parcela de terreno, para la aplicación de esos datos en relación con problemas de drenaje, de irrigación, de niveles en trabajos de movimiento de tierra en la localización y construcción de edificios y en obras similares.

Esta se puede obtener colocando estacas en el área, en un sistema de cuadrados y determinando las elevaciones de los vértices y de otros puntos en los que se presentan cambios de pendiente.

Las direcciones de las líneas se pueden obtener con la cinta o con el tránsito y las distancias se pueden trazar con la cinta y con la estadia.

La determinación de las elevaciones se puede hacer con el nivel de ingeniero o con el nivel de mano, dependiendo de la precisión que se requiera.

Las elevaciones se obtienen hacia adelante sobre la línea y se determinan las lecturas de estadia como en la nivelación de perfiles.

Al obtener los datos en este levantamiento se puede dibujar el plano de pendiente y secciones hidráulicas, el cual debe contener la siguiente información.

- Perfil del fondo del cauce y la línea recta que representa su pendiente media.
- Secciones hidráulicas
- Puntos que representa el N.A.M.E. en cada sitio donde éste haya sido investigado.
- Línea recta que pase entre ellos y que representará la pendiente media de la superficie libre del agua.

La escala usual para el perfil del fondo del cauce es 1:1000 en el sentido horizontal y 1:100 en el sentido vertical.

Las secciones hidráulicas se deben dibujar a escalas iguales, generalmente se usan escalas 1:1000 ó 1:200.

Para el levantamiento de una sección hidráulica se deben cumplir ciertas condiciones:

- *Condición de Dirección:*

En el lugar donde se levantará la sección hidráulica, deberá ser recto en sus márgenes y no tener ningún cambio de dirección del cauce o del escurrimiento.

- *Condición de Esviajamiento:*

La sección hidráulica que se levantará deberá ser perpendicular al escurrimiento.

- *Condición del fondo del cauce:*

El fondo del cauce deberá mantenerse estable, sin cambios bruscos que alteren el escurrimiento aproximadamente en unos 30 m, aguas arriba y 25 m, aguas abajo.

- *Condición física:*

La sección hidráulica no se levantará cuando exista una poza en el lugar escogido o cuando se presente un salto hidráulico cercano al cruce hacia aguas arriba.

- *Condición de la sección:*

La sección hidráulica deberá ser parecida a la de un canal trapecial o rectangular si es encajonado.

- *Condición de influencia hidráulica:*

El lugar elegido para levantar la sección no debe tener influencia de otro río que confluya una obra cercana.



## II. 8 COMENTARIOS

En la elaboración de un estudio toponidráulico para el diseño hidráulico de un puente carretero, es necesario también contar con la siguiente información.

### *1.- Croquis de localización.*

El croquis de localización nos proporciona la ubicación geográfica del sitio de cruce, el croquis debe incluir poblaciones cercanas, vías de comunicación, ríos o arroyos, caminos de acceso al cruce, etc.

Este croquis puede elaborarse por observación directa o con el auxilio de cartas topográficas o fotografías aéreas, por supuesto que puede dibujarse fuera de escala.

### *2.- Croquis de puentes.*

Cuando existen puentes cercanos al cruce, construidos sobre la corriente en estudio, es conveniente averiguar su comportamiento hidráulico y su antigüedad, a fin de contar con más elementos de juicio para definir las dimensiones de la estructura que se va a proyectar, ya que dichos puentes constituyen verdaderos modelos hidráulicos a escala natural.

Cuando se trata de ampliar un puente existente o construir otro en un trazo paralelo o cercano, conviene efectuar un levantamiento de la estructura que incluya:

- Corte transversal
- Corte longitudinal
- Planta de dimensiones claramente definidas y acotadas

Puede utilizarse una escala 1:50, 1:100 o aún mayor, dependiendo de la longitud del puente, de modo que el plano resulte manejable.

En el corte longitudinal deberá indicarse el nivel máximo que haya alcanzado el agua debajo de la estructura.

Si el puente existente se ubica lejos del cruce en estudio, de modo que el área de la cuenca que drene sea significativamente diferente a la cuenca hasta el cruce, será suficiente un croquis en que indique la longitud de la estructura, su distribución de los claros y el perfil del terreno en el sitio, en este caso también convendrá reportar el funcionamiento hidráulico de la obra y su antigüedad.

### *3.- Informes.*

Además de los planos y croquis ya mencionados, que componen un estudio topohidráulico, deben agregarse los siguientes informes:

*a) Informe general*

Este informe debe proporcionar todos los datos importantes que son útiles al proyectista, principalmente los que no se indican en los planos, así como las conclusiones y recomendaciones para el buen funcionamiento hidráulico de la obra que será proyectada para resolver el cruce.

Debe incluir los datos de localización, nombre del camino, su tramo, origen de cadenamiento, kilometraje del cruce y su esviajamiento, si es el caso, datos fisiográficos e hidráulicos de la zona en estudio, tales como orografía general de la cuenca, el área de éstas, donde nace y desemboca la corriente en estudio, gasto y velocidad propuestos para el diseño, afluentes, isletas, lagunas, esteros, cascadas, zonas de inundación, influencia de mareas o de otras corrientes, si el escurrimiento es perenne, torrencial o intermitente, etc.

Existencia de puentes cercanos mencionando su tipo, dimensiones, estado físico, funcionamiento hidráulico, antigüedad, etc.

Estructuras de control de caudal describiendo sus características más importantes, su funcionamiento y la influencia hidráulica que pueden ejercer en el cruce.

Fuente de información y su confiabilidad de los niveles máximos alcanzados por el agua.

Descripción de los materiales que forman el fondo del cauce y sus márgenes, materiales de arrastre y cuerpos flotantes, tipo de vegetación y uso del suelo.

*b) Informe fotográfico.*

Este informe muestra directamente el sitio de cruce con sus detalles, tales como la geometría del cauce, su vegetación, la geología superficial, estructuras hidráulicas cercanas al cruce ubicadas sobre la corriente en estudio, cuando existan.

La utilidad de este informe se ve acentuada cuando es usada por el proyectista que no ha tenido la posibilidad de visitar la zona de estudio.

## **CAPITULO III**

# **“OBTENCION DEL GASTO MÁXIMO CON DIFERENTES MÉTODOS HIDROLÓGICOS”**

### **III.1 GENERALIDADES**

Desde épocas muy remotas el hombre ha tenido la necesidad de cruzar las corrientes naturales de agua interceptadas por las diversas vías de comunicación que ha construido. Para ello, se ha visto en la necesidad de construir puentes, los cuales en su principio eran hechos a base de troncos tendidos o de cuerda. En la actualidad se construyen a base de estructuras metálicas, de concreto reforzado, postensado, utilizando técnicas de construcción muy variadas.

Por otra parte, debido a que un gran porcentaje del costo total para la construcción o modernización de una vía terrestre se gasta en los puentes, se justifica plenamente la realización de los estudios básicos que permitan seleccionar la mejor alternativa.

En la actualidad existen dependencias encargadas de proyectar y construir diversas obras hidráulicas, relacionadas con el drenaje transversal de las vías terrestres, tales como puentes, vados, obras menores, etc.

Uno de los datos fundamentales con que se debe contar para proyectar cualquiera de las obras mencionadas, es el gasto de la corriente en avenidas máximas extraordinarias, asociadas a un cierto período de retorno, mismo que se determina en función de la vida útil del proyecto y del riesgo que pueda aceptar de que falle la obra, el cual a su vez es función de la importancia de ésta, de los daños que ocasionaría en caso de falla y del costo de la operación o reconstrucción.

La determinación del gasto de la corriente es importante porque es el valor que se adoptará para el proyecto, y para esto el ingeniero se vale de la Hidrología, que se puede definir como la ciencia que trata las propiedades, distribución y circulación del agua en la naturaleza en sus tres estados gaseoso, líquido y sólido, estando una de sus ramas principales consagrada al análisis del gasto de las corrientes de agua.

El desarrollo de la Hidrología como materia fundamental y el de materias afines, ha traído como consecuencia la aparición de muy diversos métodos para el cálculo de avenidas de diseño.

### III.2 DETERMINACIÓN DE LA CUENCA Y PENDIENTE HIDROLÓGICA

En la elaboración de un estudio Hidrológico para determinar el gasto de diseño de un cauce de una vía de comunicación con una corriente natural, es necesario primero determinar el área de la cuenca de aportación.

Su objetivo es conocer el trayecto de la corriente principal y sus tributarios o corrientes secundarias, así como el área de la cuenca.

Para poder dibujar el parteaguas se deberá auxiliar el ingeniero responsable del estudio de una carta topográfica con escala de 1:50,000, 1:100,000 ó 1:250,000.

El otro dato fundamental en el estudio Hidrológico es obtener la pendiente media de la corriente principal.

Existen varios métodos para calcular la pendiente pero en este trabajo se considerará el método propuesto por Taylor-Schwarz, el cual propone calcular la pendiente media como la de un canal de sección trapecial uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

La fórmula de Taylor-Schwarz es la siguiente:



$$S = \left[ \frac{L(m)}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_{(m)}}}} \right]^2$$

Donde:

- $L_m$  = Longitud del tramo en (m).
- $S_m$  = Pendiente en el tramo en (m)
- $S$  = Pendiente media

### III.3 PERIODO DE RETORNO

El principal objetivo del análisis de frecuencias de los datos hidrológicos es determinar el periodo de retorno de un evento hidrológico de magnitud dada "x".

Dicho periodo es el intervalo promedio de tiempo dentro del cual la magnitud "x", del evento es igualada o excedida en cualquier año; generalmente se designa por  $T_r$ .

Si un evento hidrológico igual o mayor que "x" ocurre una vez en  $T_r$  años la probabilidad  $P(X > X_1) = 1 / T_r$ .

Así el periodo de retorno y la probabilidad son recíprocos.

Usualmente cuando se tienen datos de un cierto periodo y se desea aplicar algún método estadístico para extrapolar dicho dato a periodos de retorno mayores al de las mediciones, es necesario asignar un valor de T a cada dato registrado.

Por lo tanto conviene usar la siguiente expresión para asignar periodos de retorno a una serie de datos. Por lo general se utiliza la fórmula de Weibull.

$$T = (n + 1) / m$$

Donde:

- T = Período de retorno en años
- n = Número de años de registro
- m = Número de orden de una lista de mayor a menor de los datos, correspondiendo m = 1 al gasto más grande de los registrados.

En base a las grandes precipitaciones de lluvia que se han presentado en los últimos 10 años en varios estados de la República Mexicana, se han adoptado como período de retorno 50 años para caminos importantes como:

- Carreteras
- Autopistas

30 años para caminos:

- Tipo "B"
- Tipo "C"

25 años para:

- Alcantarillas
- Puentes en caminos: Tipo "D" y Tipo "E".

### III. 4 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Los métodos hidrológicos pueden clasificarse como:

- Empíricos
- Semiempíricos
- Estadísticos

#### ***Métodos Empíricos:***

Estos métodos se han desarrollado por medio de correlación múltiple y se emplean para obtener una idea preliminar sobre el gasto de diseño, o bien cuando no se conocen las características de la precipitación en la zona correspondiente a la cuenca en estudio, ya que en ellos intervienen como variables únicamente las características físicas de la cuenca.

#### ***Métodos Semiempíricos:***

Son similares a los empíricos, pero hacen intervenir además la intensidad de la lluvia en la relación que define el gasto de diseño.

### ***Métodos Estadísticos:***

Son de gran utilidad en sitios en los que se cuenta con un buen registro de gastos ocurridos. Se basan en suponer que los gastos máximos anuales aforados en una cuenca son muestra aleatoria de una población de gastos máximos. Difieren entre ellos en la forma de la función de distribución de probabilidades que supone tiene la población.

## III.5 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

### III.5.1 MÉTODO EMPÍRICO

#### *Método de Creager*

Para la obtención de su fórmula Creager graficó los gastos máximos unitarios observados en cuencas de todo el mundo, contra el área de la cuenca. Después trazó una curva envolvente de todos los puntos graficados y obtuvo la ecuación correspondiente, la cual se indica a continuación:

$$q = 0.503 c (0.386 A) \exp. [ \{ 0.894 / (0.396 A)^{0.048} \} - 1 ]$$

Donde:

q = Gasto unitario en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

c = Parámetro que depende de la región considerada

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó un estudio para determinar el valor del coeficiente "c" de la ecuación, considerando por separado 37 regiones hidrológicas en las que se dividió a la República Mexicana, Ver fig. 4 y 5

Los resultados están publicados en forma gráfica, una por cada región hidrológica con su envolvente y su valor de "c" correspondiente y otra que engloba la información obtenida en toda la República.

El gasto total Q se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = qA$$

Donde:

Q = Gasto máximo en m<sup>3</sup>

q = Gasto unitario en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

## MÉTODO RACIONAL

La fórmula Racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia - escurrimiento.

Las hipótesis más importantes en que se basa el método Racional son las siguientes:

- a) Toda la cuenca contribuye a la magnitud del gasto máximo.
- b) La intensidad de lluvia es uniforme sobre toda la cuenca.

Estas suposiciones básicas indican las limitaciones del método, sobre todo cuando el área de la cuenca es grande.

Como ya se mencionó este modelo toma en cuenta el área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día muy utilizado.

Supóngase que en una cuenca impermeable se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo.

Al principio el gasto que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará un momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, donde el volumen



que entra por unidad de tiempo por la lluvia sea el mismo que el gasto de salida de la cuenca. (Ver fig. 6.)

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Para aplicar este método, es necesario calcular previamente el tiempo de concentración para lo cual se emplea la fórmula de Kirpich que se describe a continuación:

$$T_c = 0.0662 (L^{0.077} / S^{0.385})$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración de hrs.

$L$  = Longitud del cauce principal en km.

$S$  = Pendiente media del cauce principal, en decimales.

En el sistema métrico decimal la fórmula Racional se puede escribir de la siguiente forma.

$$Q = 0.278 CIA$$

Donde:

$Q$  = Gasto máximo en  $m^3/s$

$C$  = Coeficiente de escurrimiento adimensional

- I = Intensidad de lluvia para una duración de lluvia igual al tiempo de concentración en mm/hr.
- A = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>
- 0.278 = Factor de homogeneidad de unidades.

El coeficiente "c" representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido el cual depende de las características de la cuenca. En la tabla 1 se muestran los valores de "c" comúnmente empleados.

En caso de que la cuenca por drenar este compuesta por diferentes tipos de suelos, el coeficiente "c" se determina mediante un promedio ponderado.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL.

El método se aplicará al cruce Arroyo "Sin Nombre", de la Autopista México - Tuxpan, km 219+662, con origen de cadénamiento en Ent. Ecatepec, Méx.

Dicha corriente nace a 7 km del sitio de cruce y desemboca a 6 km en el río "Grande", el área de la cuenca drenada hasta el cruce es de 17 km<sup>2</sup> (Ver fig. 7) y pertenece a la Región Hidrológica N° 27, según clasificación de la S.A.R.H.

La pendiente del cauce se obtiene por medio del método de Taylor-Schwarz. (Ver tabla 2).

$$S = \left[ \frac{L(m)}{\frac{L}{\sqrt{S_1}} + \frac{L}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{L}{\sqrt{S(m)}}} \right]^2$$

donde m=número de tramos

**Tabla "2"**

TRAMO	LONGITUD m	DESNIVEL m	$S_i$	$S_i$	$\frac{1}{\sqrt{S_i}}$
1	500	5	0.01	0.1	10.00
2	500	5	0.01	0.1	10.00
3	500	5	0.01	0.1	10.00
4	500	5	0.01	0.1	10.00
5	500	5	0.01	0.1	10.00
6	500	5	0.01	0.1	10.00

TRAMO	LONGITUD m	DESNIVEL m	Si	Si	$\frac{1}{\sqrt{Si}}$
7	500	5	0.01	0.1	10.00
8	500	5	0.01	0.1	10.00
9	500	10	0.02	0.14	7.07
10	500	10	0.02	0.14	7.07
11	500	20	0.04	0.20	5.00
12	500	20	0.04	0.20	5.00
13	500	40	0.08	0.28	3.54
14	500	40	0.08	0.28	3.54

$$Sc = 0.016$$

mientras que el coeficiente de escurrimiento "C" adimensional se obtiene de la tabla 1.

Debido a que el cruce se encuentra en una zona rural y existen campos de cultivo, el valor de "c" será igual a 0.40.

La intensidad de lluvia se obtiene para una duración de 120 min.

El período de retorno (Tr) será para 50 años debido a que es una obra para una autopista.

El gasto que drena la cuenca es de 85 m<sup>3</sup>/s. (Ver figura N° 8).

## MÉTODO DE VEN TE CHOW

El método de Chow está basado principalmente en el concepto de hidrograma unitario, la expresión general es:

$$Q_m = 2.78 A X Z$$

Donde:

$$Q_m = \text{Gasto máximo en m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{Área de la cuenca en km}^2$$

$$X = P_e/d = \text{factor de escurrimiento en cm/hr. (adelante se define } P_e \text{ y } d)$$

$$2.78 = \text{Factor de homogeneidad de unidades.}$$

$$Z = \text{Factor de reducción del pico (adimensional)}$$

Los factores que afectan el escurrimiento considerados en este método pueden definirse en dos grupos.

- a) Afecta directamente a la cantidad de lluvia que escurre, el cual comprende el uso de la tierra, condición de la superficie, tipo de suelo, cantidad y duración de lluvia.
- b) Afecta la distribución del escurrimiento directo en el tiempo e influye en el tamaño y la forma de la cuenca y la pendiente del terreno.

Para considerar el efecto del primer grupo se introduce el número de escurrimiento N, el cual es función del uso y características del suelo.

Los suelos se clasifican, según influyan las características del material en el escurrimiento, en cuatro grupos:

- A) Suelos con potencial de escurrimiento mínimo  
Incluye gravas y arena en estratos de gran espesor con poco limo y arcilla, así como loess muy permeables (GW, GP, SW, SP).
  
- B) Suelos con infiltración media superior a la del grupo A) y loess más compactados que los de dicho grupo (GM, SM, ML, MH, OL).
  
- C) Suelos con infiltración media inferior a la del grupo B)  
Se consideran en este grupo estratos poco potentes y los que contienen cantidades considerables de arcilla y colores (SC, CL).
  
- D) Suelos con potencial de escurrimiento máximo.  
Se clasifican dentro de este grupo las arcillas de alta plasticidad, los suelos con arcillas y colores en cantidades mayores de los que tienen las del grupo C) (CH, OH)

Conocido el tipo de suelo, de acuerdo con la clasificación anterior y considerando el uso que se le de, utilizando la tabla 3 se podrá determinar el valor de N.

Si es necesario puede calcularse un número de escurrimiento pesado.

Una vez conocido  $N$ , el valor de la lluvia en exceso  $P_e$  puede calcularse para una altura de lluvia dada  $P$  mediante la fig.9 o bien por la ecuación.

$$P_e = \left\{ \left[ P - (508/N) + 5.08 \right]^2 / \left[ P + (2032/N) - 20.32 \right] \right\}$$

Para determinar el factor de escurrimiento  $X$  se utiliza la fórmula:

$$X = P_e/d$$

Donde:

$d$  = duración total de la tormenta en hrs.

El valor de  $Z$  se puede calcular como una función de la relación entre la duración de la tormenta ( $d$ ) y el tiempo de retraso ( $t_p$ )

Dicho tiempo ( $t_p$ ) se define como el intervalo de tiempo medio del centro de masa de un bloque de intensidad de lluvia al pico resultante del hidrograma.

El tiempo de retraso depende principalmente de la forma del hidrograma y de las características fisiográficas de la cuenca y es independiente de la duración de la lluvia.

Chow encontró, para la zona que estudió que el tiempo de retraso se puede calcular mediante la ecuación siguiente:

$$t_p = 0.00505 \{L/(S)^{1/2}\}^{0.64}$$

Donde :

- $t_p$  = Tiempo de retraso en hrs.  
 $L$  = Longitud del cauce principal en m.  
 $S$  = Pendiente del cauce principal en %.

Conocido el valor de  $t_p$  de la cuenca en estudio, para cada duración de tormenta se puede calcular  $Z$ .

La relación de  $d/t_p$  con  $Z$ , obtenida por Chow se muestra en la fig. 10.

El valor máximo de la relación  $d/t_p$  que aparece en esta figura es 2 al cual le corresponde un valor de  $Z = 1$ , ya que teóricamente no se puede exceder este valor.

Si la duración es mayor que 2,  $t_p$  significa que el gasto de picó no ocurrirá antes de que termine la lluvia en exceso, y el hidrograma unitario alcanzará y mantendrá el valor del gasto máximo.

En otras palabras,  $Z = 1$  para  $d/t_p \geq 2$

#### **PROCEDIMIENTO DE CALCULO:**

Para aplicar el método de Chow se requieren los datos siguientes:



a) *Datos fisiográficos*

Área de la cuenca por estudiar

Longitud del cauce principal

Pendiente media del cauce principal

Tipos de suelo en la cuenca

Usos del suelo en la cuenca

b) *Datos climatológicos*

Isoyetas de Intensidad - Duración - Frecuencia. (Ver figuras 11, 12, 13, 14 y 15).

## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VEN TE CHOW

El método se aplicará al cruce con el arroyo "S/Nombre", los datos se describen en la aplicación del método Racional.

Los datos más importantes que se desprenden del cruce son:

- Área de la cuenca:  $17 \text{ km}^2$
- Longitud del cauce principal:  $7,000 \text{ m}$
- Pendiente media del cauce:  $0.0016\%$
- El número de escurrimiento de Chow se obtiene de la tabla N° 3.

Debido a que la cuenca se localiza en un terreno de cultivos y en un suelo con un potencial de escurrimiento máximo que se clasifica dentro del grupo de las arcillas de alta plasticidad el número de escurrimiento es 87.

$$N = 87$$

El cálculo se hará para una duración de 240, 120, 60, 30 y 10 minutos.

Las intensidades de lluvia serán en (cm/hr) y se obtienen de las figuras de las Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un período de retorno de 50 años en el estado de Veracruz.

Las intensidades de lluvia serán:

MINUTOS	INTENSIDAD DE LLUVIA ( mm/hr)
10	200
30	140
60	100
120	70
240	40

El gasto obtenido es de 45 m<sup>3</sup>/s (Ver figura 16) para una duración de lluvia de 2 horas.

### III.5.3 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

#### MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

La fórmula que dedujo Gumbel para calcular el gasto máximo para un período de retorno determinado es la siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[ Y_N + \text{Ln} \left( \frac{1}{T} \right) \right]$$

en la que:

$$Q_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$\sigma_Q = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}}{N-1}$$

Siendo:

N = Número de años de registro

$Q_i$  = Gastos máximos anuales registrados, en m<sup>3</sup>/s.

$Q_m$  = Gasto medio, en m<sup>3</sup>/s.

$\sigma_Q$  = Desviación estándar de los gastos, en m<sup>3</sup>/s.

$Y_n$  = Parámetro, función de N. (Ver tabla 4)

$\sigma_Q$  = Parámetro, función de N. (Ver tabla 4)

T = Período de retorno

$Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo para un período de retorno determinado, en m<sup>3</sup>/s.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO

### DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

El método se aplicara con los datos registrados en la estación hidrométrica de Salvatierra, Gto., (Ver plano de región hidrológica N° 12 parcial), sobre río Lerma.

Ver tabla 5.

De la tabla "5" se suma la columna 2 y se divide entre el número de años de registro.

$$Q_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$Q_m = \frac{1 \times (2248.80)}{20} = 112.4 m^3 / s$$

A continuación se calcula la desviación estándar  $\sigma_Q$ , siendo:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = \left[ \frac{(36590000) - 20(112.2)^2}{20 - 1} \right]^{0.5}$$

$$\sigma_Q = 77.20$$

Cálculo de los coeficientes YN y DN de la tabla 4 se obtienen estos valores para N = 20, por lo tanto:

$$YN = 0.52355 \text{ y } DN = 1.06283$$

En la siguiente ecuación se sustituyen los valores anteriormente calculados para obtener el gasto máximo para un período de retorno de 50 años.

$$Q_{\text{máx}} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[ Y_N + \text{Ln} \left( \frac{1}{T} \right) \right]$$

$$Q_{\text{máx}} = 112.4 - \frac{77.20}{1.06283} \left( 0.52355 + \log \frac{1}{50} \right)$$

$$Q_{\text{máx}} = 358 \text{ m}^3 / \text{s}$$

El intervalo de confianza no se toma para los cálculos, ya que es muy engañoso y no representa fielmente el gasto con relación al período de retorno, por lo que el gasto calculado por la ecuación se toma como gasto hidrológico.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## **CAPITULO IV**

# **OBTENCIÓN DEL GASTO MÁXIMO APLICANDO EL MÉTODO DE CONTINUIDAD, SECCIÓN Y PENDIENTE.**

## **IV.1 GENERALIDADES**

Previo a la ejecución del Estudio Hidráulico, se realiza un levantamiento topográfico donde se identifica, el cruce del eje de proyecto con el río y se observan todas las características físicas e hidráulicas que puedan presentar algún problema serio al funcionamiento del puente por diseñar.

En este estudio se toma nota de cualquier circunstancia que altere las condiciones naturales desde el punto de vista hidráulico.

Se elaboran croquis y se da un gasto aproximado, así como una velocidad estimada en campo, todo esto con la finalidad de programar el estudio hidráulico a realizar en el sitio de cruce y también para que sirva de comparación con los resultados obtenidos con el estudio hidrológico, el cual se hará en gabinete.

## **IV.2 NIVELACIÓN DEL FONDO DEL CAUCE DEL RÍO.**

Esta nivelación se hace con el fin de obtener la Pendiente del Fondo del río y así aplicar la Ecuación de Manning para cauces naturales y/o canales.

La longitud de niveles está en relación con el ancho del río que se estudia en una proporción de cuatro veces éste.



### **IV.3 LEVANTAMIENTO DE LAS SECCIONES HIDRÁULICAS DEL RIÓ.**

Las Secciones Hidráulicas se utilizan en un Estudio Hidráulico para determinar el gasto que pasa por cada una de ellas y así poder determinar un gasto promedio en el tramo del río donde se levantaron dichas secciones.

### **IV.4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.**

Para determinar el coeficiente de rugosidad será necesario observar las condiciones del río, de acuerdo al tipo de material existente en sus márgenes, así como en su fondo, el tipo de vegetación y la espesura de ésta en sus orillas. (*Ver tabla 6*).

También influye la altura de los tirantes que existen en ambas orillas como en el fondo del cauce.

### **IV.5 CALCULO DE AREAS Y PERÍMETROS MOJADOS**

Para determinar el área de una Sección Hidráulica se utilizan los datos que se obtienen en el estudio topográfico tales como:

- Elevaciones
- Cadenamiento

Con dichos datos se calcula el Área y el Perímetro mojado de la sección hidráulica, que se indican en el capítulo V

#### IV.6 CALCULO DE LA VELOCIDAD Y GASTO TOTAL

Para obtener la velocidad en cada tramo y/o sección se emplea la fórmula de Manning, la cual es:

$$V = \frac{1.49}{n} S^{1/2} r^{2/3}$$

Donde:

- s = Pendiente hidráulica del cauce
- n = Coeficiente de rugosidad
- r = Radio Hidráulico

Conociendo los valores de "n" y "s" se procede a determinar "r"

$$r = \sqrt[3]{A/P}$$

Donde:

- A = Área Hidráulica de la Sección

$P =$  Perímetro mojado

El gasto se calcula por medio de la Ecuación de Continuidad:

$Q = VA$

#### **IV.7 CALCULO DE LA SOBREELEVACIÓN EN EL CRUCE**

La sobreelevación o remanso es el fenómeno físico y mecánico del agua que se presenta al estrechar y reducir el área de un cauce natural o artificial; provocando que el tirante del agua se sobreeleve o aumente, debido a que el área es menor que en las condiciones iniciales; así también la velocidad aumentará.

Para calcular el remanso generado por un obstáculo, en este caso el puente, se toma el área bajo la estructura a construir, que es por donde se hará pasar el gasto y se obtendrá la sobreelevación, a esta área se le deberá restar el área de los apoyos de la estructura para determinar una sobreelevación más real.

En la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se utilizan los siguientes métodos:

## MÉTODO DE BERNOULLI

Este método se aplica a dos secciones, una en condiciones naturales y otra en condiciones alteradas y por diferencias de presiones se obtiene la velocidad y la sobreelevación en el cruce en condiciones alteradas.

### DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Ecuación de Bernoulli:

$$Z + Y + \frac{V^2}{2g} = \text{cte. para canales}$$

Por lo tanto:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Si el plano de referencia es el fondo del cauce:

$$Z_1 = Z_2$$

ya que las secciones pertenecen al mismo cauce y tienen la misma elevación.

Por lo que:

$$Y_1 - Y_2 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Si  $Y_1 - Y_2 = h = e$

entonces:

$$e = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Ecuación que se utiliza para el cálculo de la sobreelevación.

Los datos para calcular la sobreelevación son los siguientes:

- Longitud de puente ( $L_p$ )
- Gasto máximo ( $Q_{\text{máx}}$   $\text{m}^3/\text{s}$ )
- Velocidad media máxima en el cruce ( $V_1$   $\text{m/s}$ )
- Area hasta el NAME bajo el puente ( $A_1$   $\text{m}^2$ )
- Area de las pilas ( $A_2$   $\text{m}^2$ )
- Area efectiva bajo el puente ( $A_3$   $\text{m}^2$ )

El cálculo se lleva a cabo por tanteos, se supone una sobreelevación y se realizan las operaciones; si al final el resultado de la diferencia de presiones es igual o muy aproximado al propuesto, ésta es la sobreelevación que se presenta en el cruce.

## **IV. 8 OBTENCION DEL GASTO Y VELOCIDAD HIDRAULICA DEFINITIVA.**

El gasto definitivo será el que a juicio del Ingeniero. Proyectista sea el más confiable, de acuerdo a los resultados obtenidos en los Estudios Hidráulicos e Hidrológicos, y es el gasto que se utilizará para poder determinar la sobreelevación en el cruce.

La velocidad definitiva será la calculada con la ecuación de sobreelevación.

## **CAPITULO V**

### **APLICACIÓN A UN ESTUDIO**

# ESTUDIO TOPOHIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

CRUCE : PUENTE "LA PIGUA I" (RIO CARRIZAL)  
CARRETERA : VILLAHERMOSA-FRONTERA  
TRAMO : VILLAHERMOSA-FRONTERA  
KM : 3+021.25  
ORIGEN : VILLAHERMOSA, TAB.

## INFORME GENERAL

### I.- GENERALIDADES

La corriente nace a \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ km del sitio de cruce y desemboca a 2.3 Km, en el río Grijalva. Sí X No \_\_\_\_\_ provoca influencia hidráulica en el cruce. (ver croquis de localización). El área de la cuenca drenada hasta el cruce es de \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup> y pertenece a la Región Hidrológica N° 30, según clasificación de la SARH. En la zona de cruce, la vegetación se puede clasificar como pastizal y matorrales y la topografía es sensiblemente plana.

\* Ver nota 1 en página 4

Elevación y descripción del banco de nivel B.N.-7 C.N.A., sobre tornillo en base de poste de alumbrado público a 2.0 m derecha de est. 2+844.5. elevación = 9.528 m.

El cauce en la zona de cruce es:

sinuoso	<u>X</u>	estable	<u>X</u>	encajonado	_____
sensiblemente recto	_____	divagante	_____	con llanuras de inundación	<u>X</u>

COMENTARIOS Ver nota 2 en página 4

El escurrimiento es de carácter torrencial \_\_\_\_\_ perenne X intermitente \_\_\_\_\_

Tipo y longitud máxima de los cuerpos flotantes troncos de hasta de 15 m de longitud.



El período de lluvias en la región comprende los meses de  mayo  a  noviembre   
La precipitación media anual es de  2000  mm.

Información adicional (erosión marginal, caídas, ubicación del cruce en una curva del cauce, curvas cercanas, etc.)  En la margen derecha del río del lado de aguas arriba existe un depósito de material que ha propiciado la formación de corrientes secundarias, una hoyo de socavación de 12 m del lado de aguas abajo, a 60 m del puente y erosión en la margen izquierda también del lado de aguas abajo, en un tramo del orden de 130 m, afectando la primera al puente "La Pigua I" hasta producir su colapso, Ver planta topográfica general y foto 1.

Geología superficial en el fondo  arcilla limosa   
en la margen izquierda  arcilla   
en la margen derecha  arcilla

El eje del trazo cruza en dirección normal   esviajado  X  a la corriente.  
Angulo de esviajamiento  10° izquierda

El paso actual de vehículos en la zona de cruce  se realiza por el puente existente "La Pigua II" correspondiente a la carretera Villahermosa – Frontera que se localiza adyacente al puente fallado.

Si existen puentes cercanos al cruce sobre la misma corriente, proporcionar los datos siguientes:

- a) Ubicación  en el sitio de cruce, "La Pigua II"
- b) Número y longitud de los claros  tres claros libres de 34.28, 62.0 y 34.2 m
- c) Altura media hasta la parte inferior de la superestructura  11 m.
- d) ¿Ha funcionado el puente a su máxima capacidad?  no
- e) Área hidráulica del puente hasta el NAME de campo  630 m<sup>2</sup>
- f) Área total bajo el puente  1568 m<sup>2</sup>
- g) Antigüedad de la obra  de 35 años.
- h) Otros datos útiles a juicio del observador  con la creciente ocurrida a finales de 1999 el puente trabajó con un espacio libre vertical de 8 m.

## II.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

Método Aplicado  Gumbel

Información utilizada  Ver nota 3 en página. 4

Se obtuvo un caudal máximo de  1633  m<sup>3</sup>/s, asociado a un período de retorno de  100  años.

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.).  La corriente que se estudia está controlada por las presas La Angostura, Chicoasen, Malpaso y Peñitas, construidas en 1964, 1974, 1980 y 1986; la estación de aforos se ubica aguas abajo de las presas y los registros de aforo son posteriores a la construcción de las mismas

### III.- ESTUDIO HIDRÁULICO

Nivel de aguas mínimas N.A.Mim. = 1.10 m Nivel de aguas ordinarias N.A.O. = 3.14 m.  
Nivel de aguas extraordinarias de campo N.A.E = 6.67 m  
Nivel de aguas de diseño N.A.D. = 8.14 m

Método aplicado Sección y Pendiente  
Secciones levantadas Tres, una en el cruce y dos a 160 y 400 m aguas arriba del cruce  
Fecha de la creciente máxima que se consideró: octubre de 1999  
Gasto obtenido 1322 m<sup>3</sup>/s; velocidad media máxima en el cruce 2.0 m/s;  
frecuencia del evento más de 27 años, de acuerdo al análisis hidrológico; duración de la creciente 3 meses.

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.). La información de niveles de agua utilizados en los cálculos fue proporcionada por personas del lugar que tienen más de 40 años de vivir en las cercanías al cruce.

### IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda adoptar como gasto de diseño 1633\* m<sup>3</sup>/s, obtenido hidrológicamente para un período de retorno de 100 años.

La longitud del puente podrá ser de 145 m con claros horizontales no menores de 30 m. Se propone ubicarlas del km 2+947.735 al km 3+092.735, colineal al puente "La Pigua II".

Se recomienda un espacio libre vertical entre el NAME de diseño y el lecho inferior de la superestructura, de 2.0 m mínimo. La velocidad máxima bajo la obra se estima será de 2.1 m/s y la sobreelevación de la superficie del agua será despreciable.

Obras auxiliares, de protección, de encauzamiento, etc. Ver nota 4 en página 4

Los materiales necesarios para la construcción del puente pueden ser adquiridos en Villahermosa, Tab., que se ubica a 3 km del sitio del cruce.

OBSERVACIONES \* Al transitar el gasto de 1633 m<sup>3</sup>/s obtenido con el estudio hidrológico, se determinó la elevación de la superficie del agua de cota 8.14 m y velocidad de 2.1 m/s bajo el puente

## **NOTA 1**

El río Carrizal se forma a 50 km aguas arriba del cruce, con la bifurcación del río Samaria. No se determinó la cuenca de aportación hasta el sitio de cruce, debido a que la corriente que se estudia es una derivación del río Samaria que tiene una cuenca superior a los 33,000 km<sup>2</sup>.

## **NOTA 2**

El río Carrizal se desarrolla en la planicie costera del estado de Tabasco, presenta en su desarrollo la formación de meandros que dadas las características del terreno van incrementando su longitud al ser erosionadas las márgenes correspondientes a las curvas externas del río; (ver fotografía aérea). En particular el depósito de material en la margen derecha donde se localiza el cruce provocó con la creciente ocurrida a finales de 1999 corrientes secundarias, que contribuyeron a la falla del puente "La Pigua I". El objeto del estudio es el de proporcionar las recomendaciones de gasto y velocidad así como de la ubicación más conveniente del puente.

## **NOTA 3**

Aforos de gastos máximos anuales de 1976 a 1999, registrados en la Estación Hidrométrica "González", que se localiza sobre la misma corriente a 20 km aguas arriba del cruce; no se indica el dato sobre la cuenca que se afora por tratarse de una corriente que se forma de una bifurcación del río Samaria. El gasto máximo aforado es de 1,430 m<sup>3</sup>/s y ocurrió en octubre de 1999; los gastos que siguen en magnitud son de 789 y 650 m<sup>3</sup>/s en 1998 y en 1990.

## **NOTA 4**

Con la finalidad de que las líneas de corriente del río Carrizal tengan una trayectoria paralela a la margen, que evite la formación de corrientes secundarias y con ello vorticidad en el cauce, se recomienda remover el material de la margen derecha que se ha depositado en forma irregular; la zona de la margen derecha que deberá ser removida se muestra en la planta topográfica general y detallada. Cabe hacer notar que la Comisión Nacional del Agua, efectuó el proyecto para la protección de las márgenes.

## METODO DE GUMBEL

DATOS OBTENIDOS EN LA ESTACION HIDROMETRICA "GONZALEZ" SOBRE EL RIO "CARRIZAL" QUE SE UBICA A 20 KM AGUAS ARRIBA DEL SITIO EN ESTUDIO

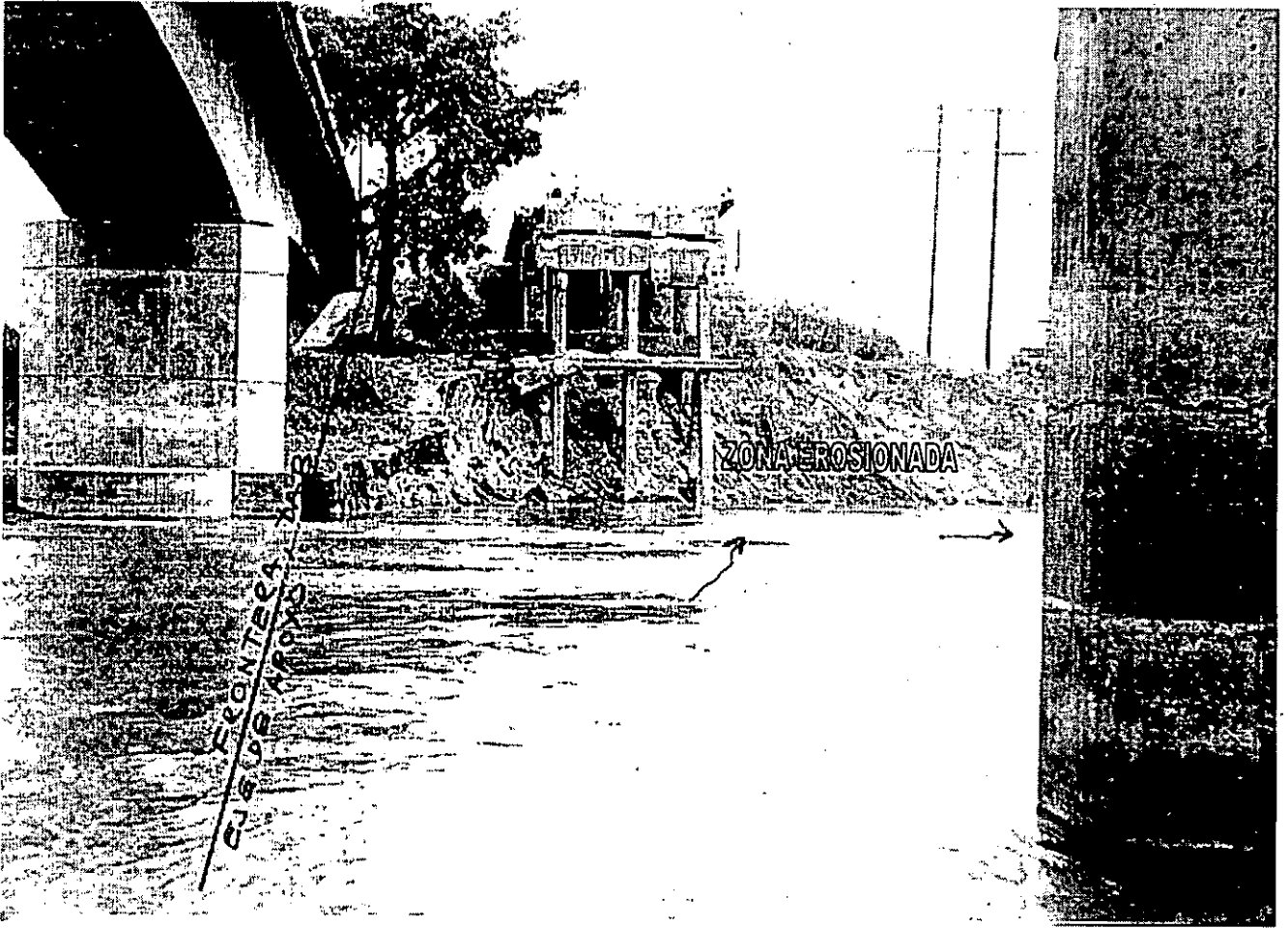
N	ANOS DE OBSERVACION	GASTO MAXIMO	Q <sup>2</sup> x10 <sup>-4</sup>
1	1976	439.00	19.272
2	1977	590.00	34.810
3	1978	432.00	18.662
4	1979	522.00	27.248
5	1980	639.00	40.832
6	1981	379.00	14.364
7	1982	305.00	9.303
8	1983	283.00	8.009
9	1984	368.00	13.542
10	1985	389.00	15.132
11	1986	328.00	10.628
12	1987	344.00	11.834
13	1988	540.00	29.160
14	1989	468.00	21.902
15	1990	850.00	42.250
16	1991	343.00	11.765
17	1992	380.00	14.440
18	1993	521.00	27.144
19	1994	419.00	17.558
20	1995	615.00	37.823
21	1996	507.00	25.705
22	1997	586.00	34.340
23	1998	789.00	62.252
24	1999	1430.00	204.490
SUMAS		1264.00	752.463

**Q = 1633 m<sup>3</sup>/s**

**Para un  
Tr = 100 años**



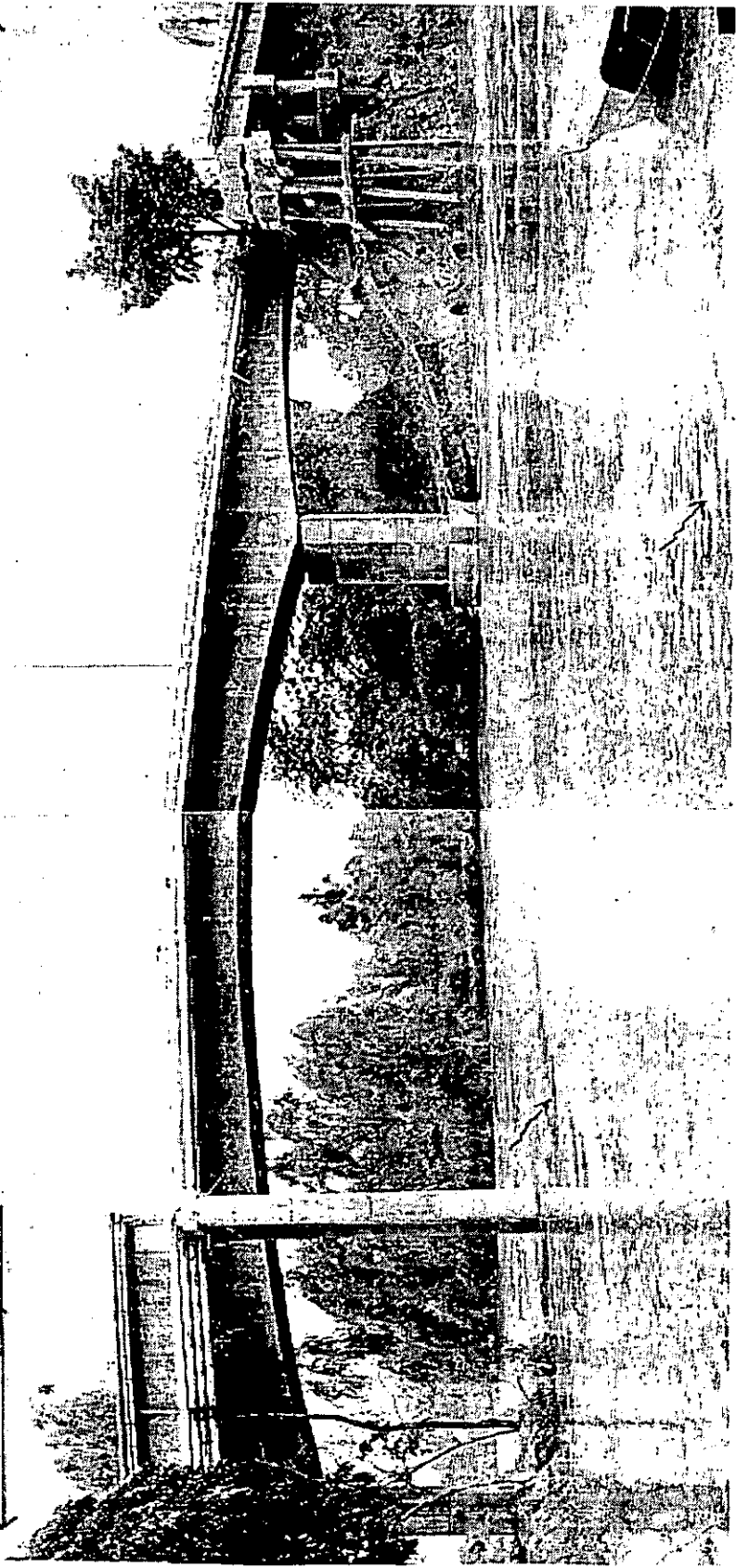
FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA EN ESTUDIO



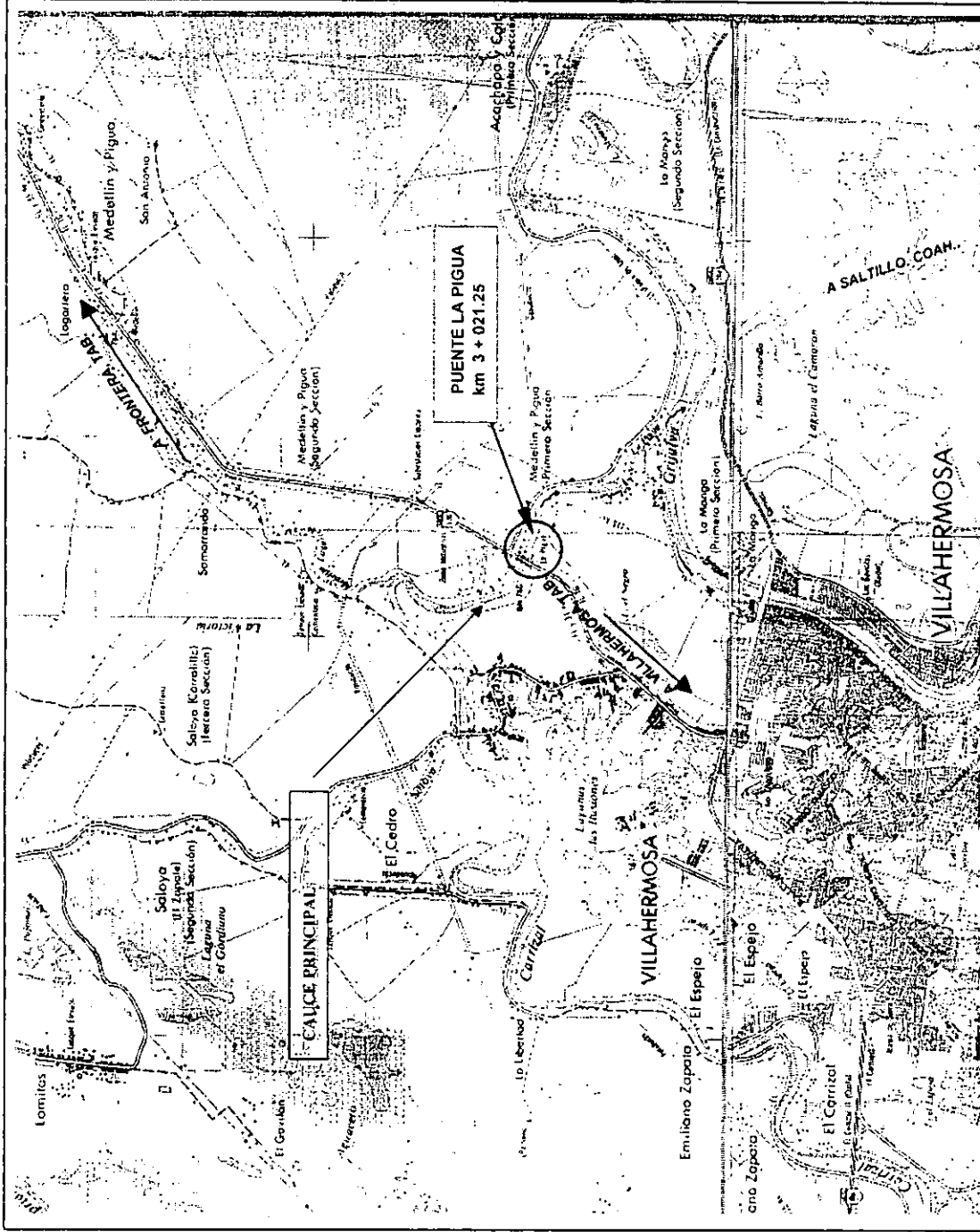
VISTA DEL PUENTE "LA FIGUA I" COLAPSADO

FRONTERA, TAB

VILLA HERMOSA, TAB



VISTA GENERAL DEL PUENTE COLAPSADO "LA FIGUA I"



### Croquis de Localización

CRUCE  
 CARRETERA  
 TRAMO  
 KM  
 ORIGEN

PUENTE "LA PIGUA"  
 VILLAHERMOSA-FRONTERA)  
 VILLAHERMOSA-FRONTERA  
 3+021.25  
 VILLAHERMOSA, TAB.

CORDENADAS  
 GEOGRAFICAS

LATITUD: 25° 50'  
 LONGITUD: 101° 08'

CARTA TOPOGRAF. OCOIHZAPOTLAN E 15B81

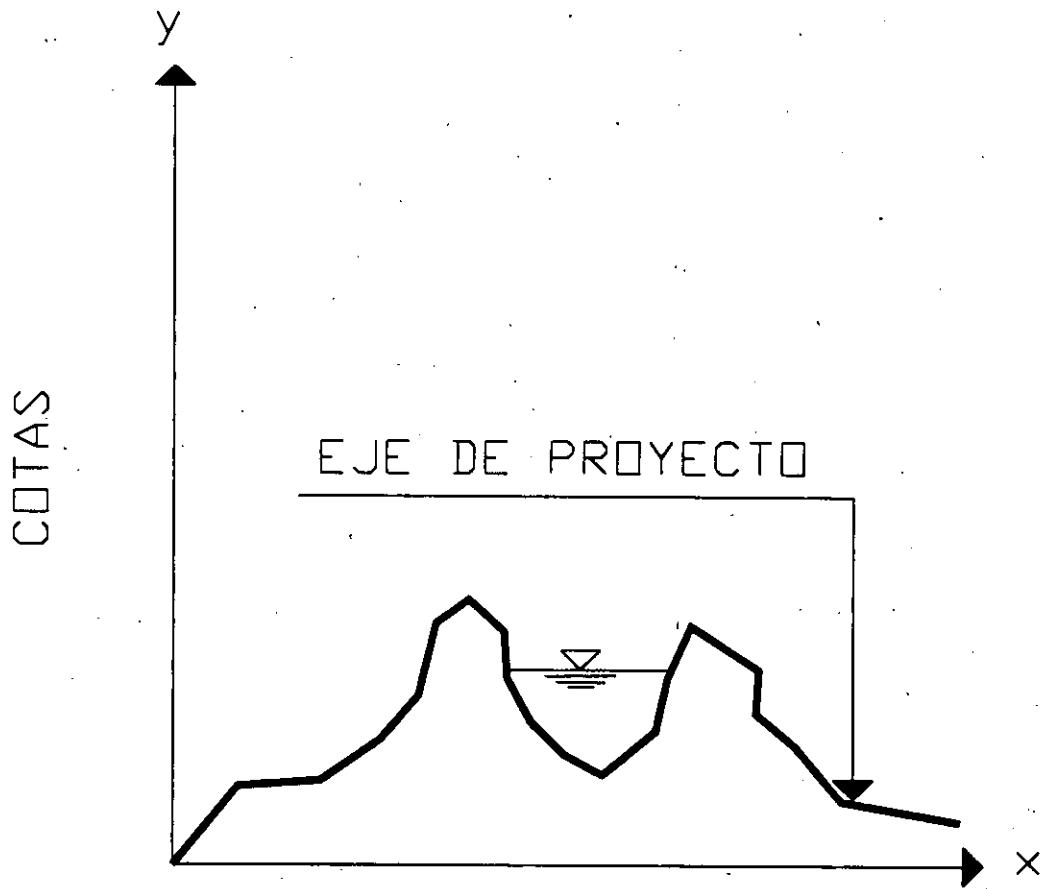


**FIGURAS**

**Y**

**TABLAS**

TRAZO DEL EJE DE PROYECTO



CADENAMIENTO DE UNA LINEA

FIGURA 1

# NIVELACION DEL EJE DE PROYECTO

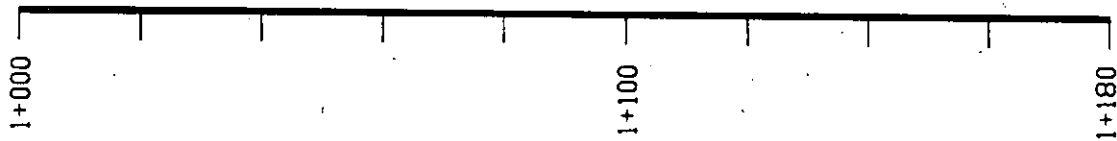
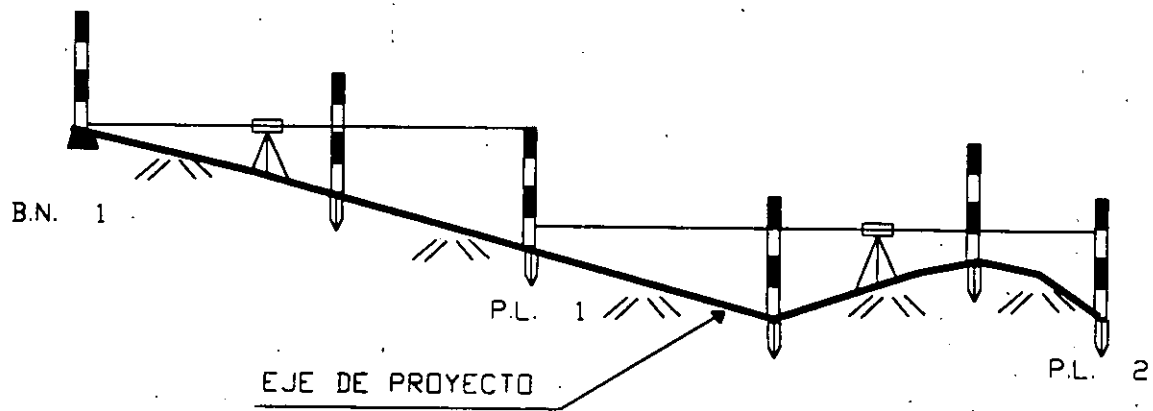


FIGURA 2

# CROQUIS DEL TRAZO DE LA POLIGONAL Y SECCIONES TOPOGRAFICAS

SECCIONES DE TOPOGRAFIA

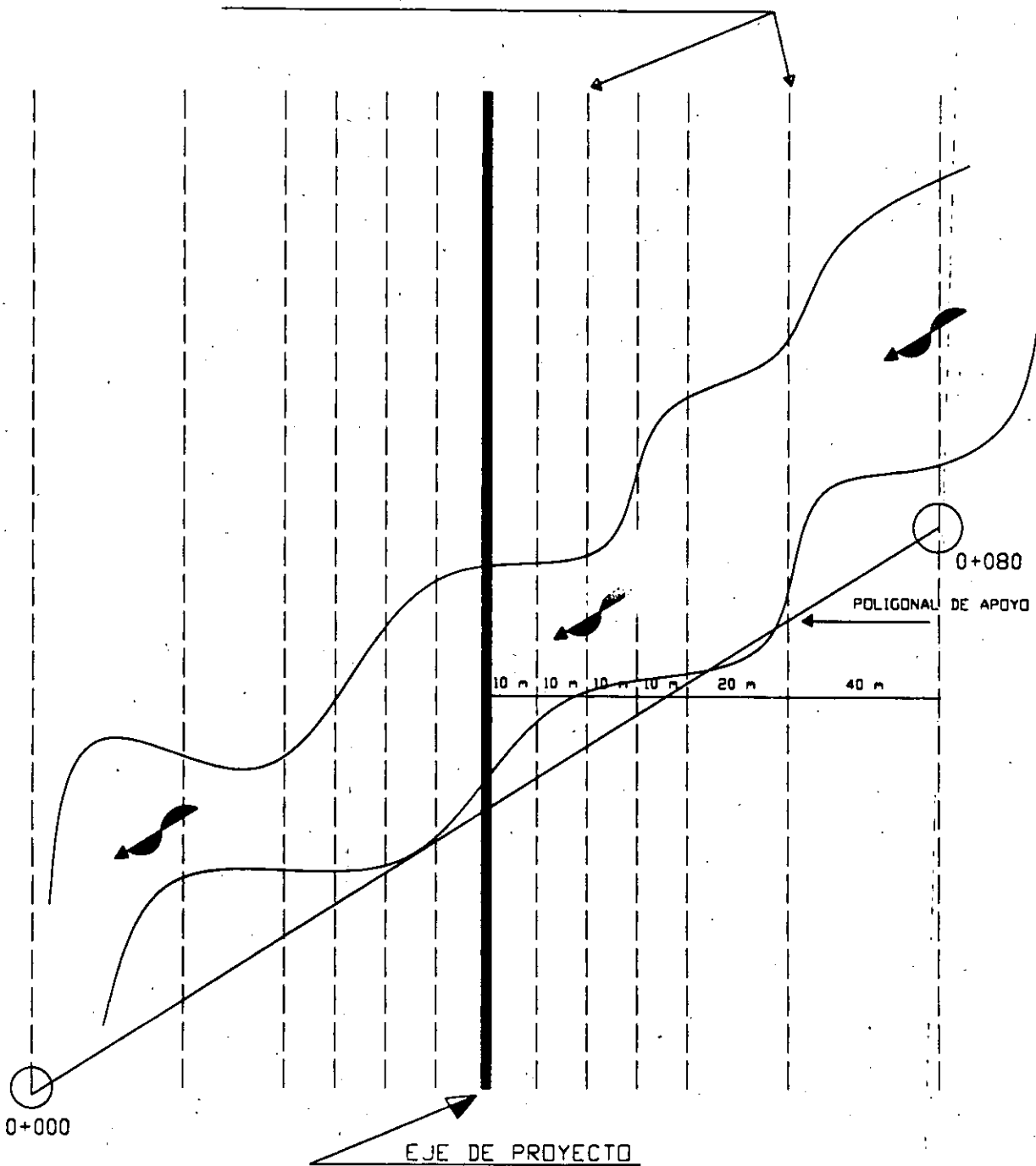
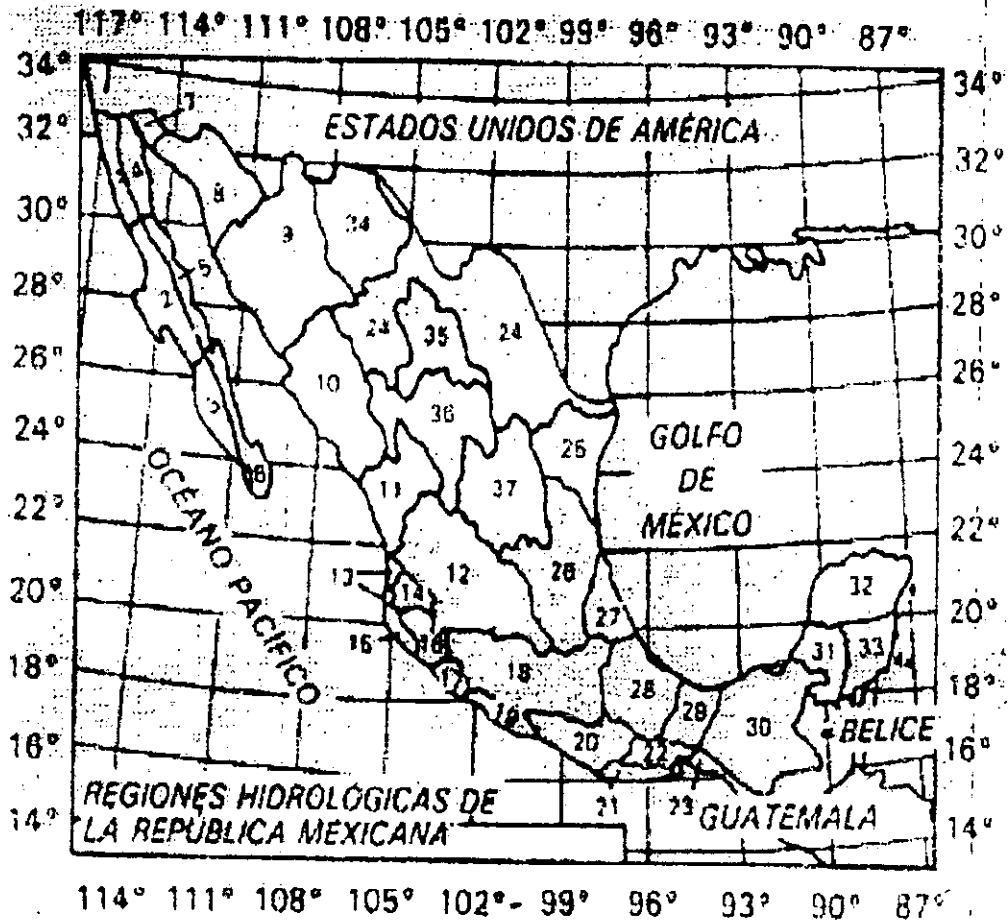


FIGURA 3

<i>Región</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cl</i>
No.		
1	Baja California noroeste (Ensenada)	980
2	Baja California centro (El Vizcaíno)	530
3	Baja California suroeste (Magdalena)	2190
4	Baja California noreste (Laguna Salada)	1050
5	Baja California centro este (Sta. Rosalía)	990
6	Baja California sureste (La Paz)	5120
7	Río Colorado	1050
8	Sonora norte	760
9	Sonora sur	2140
10	Sinaloa	3290
11	Presidio - San Pedro zona costera	4630
11	Presidio - San Pedro zona alta	470
12	Lerma - Santiago	1290
13	Huicicila	760
14	Ameca	600
15	Costa de Jalisco	5270
16	Armería - Coahuayana	4940
17	Costa de Michoacán	2100
18	Balsas alto	1090
18	Balsas medio y bajo	4450
19	Costa Grande	2100
20	Costa Chica - Río Verde	3180
20	Alto Río Verde	390
21	Costa de Oaxaca (Pto. Ángel)	3000
22	Tehuantepec	2170
23	Costa de Chiapas	1190
24A	Alto Bravo - Conchos	1020
24B	Medio Bravo	5170
24C	Río Salado	1410
24D	Bajo Bravo	2130
25	San Fernando - Soto la Marina	2330
26A	Alto Pánuco	1390
26B	Bajo Pánuco	3010
26C	Valle de México	760
27	Tuxpan - Nautla	2450
28	Papaloapan	1750
29	Coatzacoalcos	1840
30	Grijalva - Usumacinta	2130
30	Alto Grijalva	610
31	Yucatán oeste (Campeche)	370
32	Yucatán norte (Yucatán)	sin datos
33	Yucatán este (Quintana Roo)	sin datos
34	Cuencas cerradas del norte (Casas Grandes)	230
35	Mapimi	
36	Nazas	1510
36	Aguanaval	380
37	El Salado	1310

FIGURA 4 . - Coeficientes de la envolvente de Lowry



**FIG. 5 DIVISI3N DE LA REPUBLICA MEXICANA EN REGIONES HIDROLOGICAS**

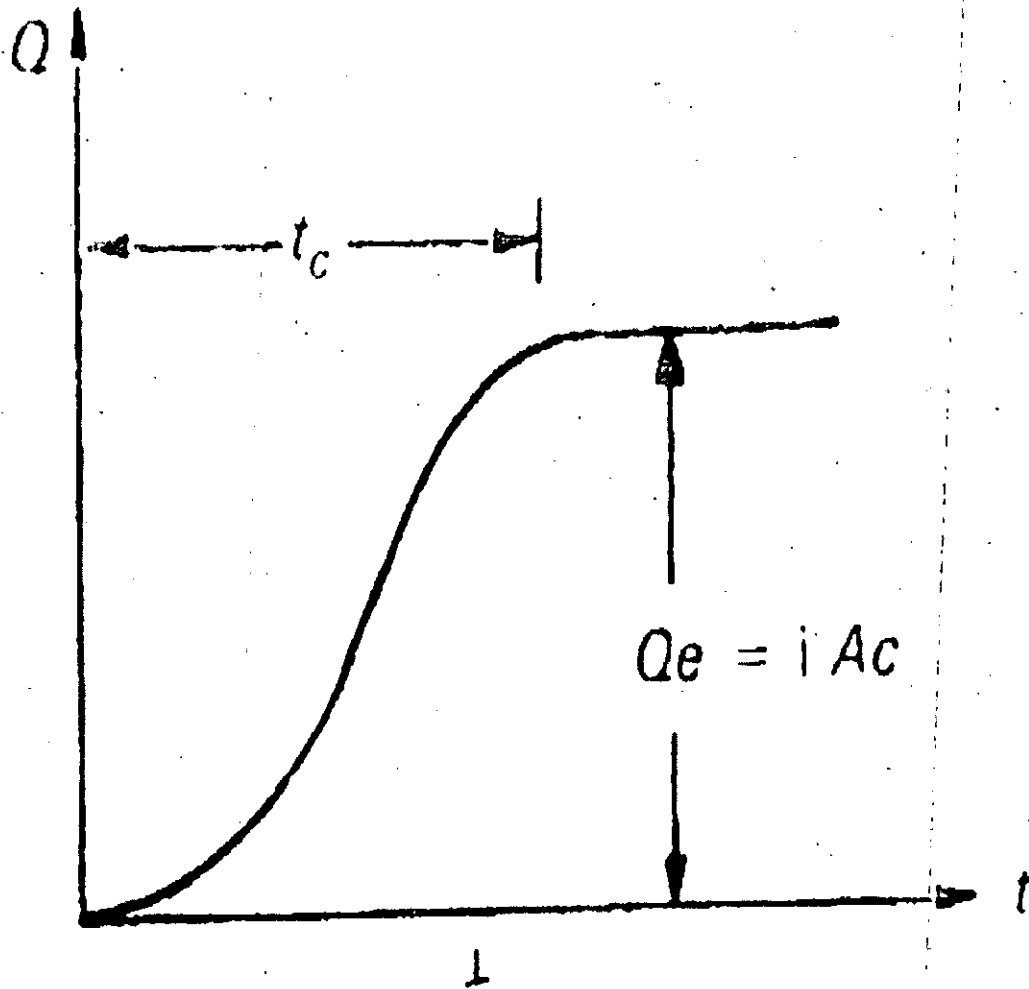


FIG. 6

CROQUIS DE LOCALIZACION Y AREA  
DE LA CUENCA

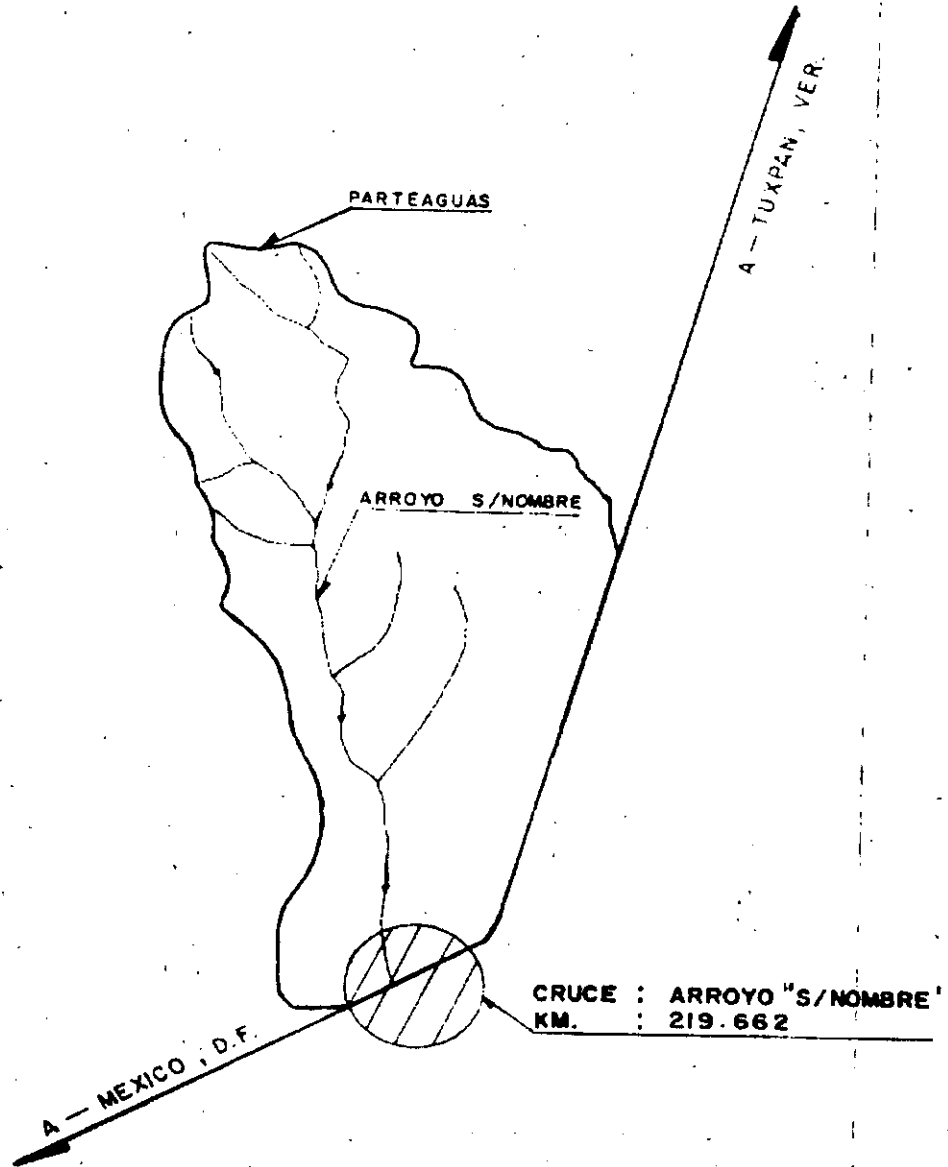


FIG. 7



## METODO RACIONAL

CRUCE: ARROYO SIN NOMBRE  
 CARRETERA: MEXICO-TUXPAN  
 KM: 219+662  
 ORIGEN:ENTRONQUE ECATEPEC, MEX.

CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	DATOS
AREA DE LA CUENCA (Km <sup>2</sup> )	A	17
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	L	7
PENDIENTE DEL CAUCE (DECIMALES)	S	0.016
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (ADIMENSIONAL)	C	0.40
TIEMPO DE CONCENTRACION (Hrs)	tc	14.55

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} + 0.662 \frac{(7.00)^{0.77}}{(0.016)^{0.385}}$$

Para  $T_r = \underline{50}$  años

$I = \underline{45}$  mm/hr

$$Q = 0.278 \text{ CIA} = 0.278 (0.40) (45) (17) \quad Q = \underline{85} \text{ M}^3/\text{S}$$

FIGURA 8

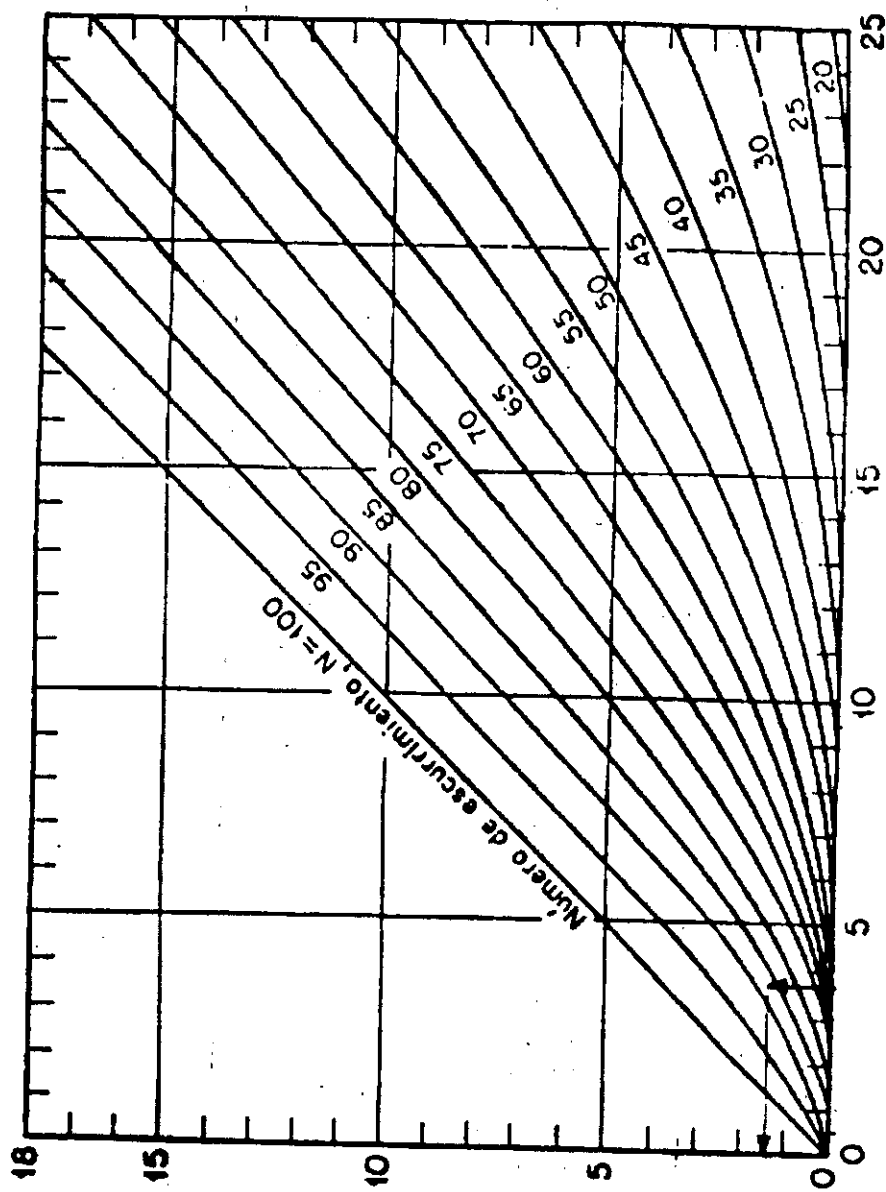


FIG. 9 Relación entre lluvia total y la lluvia en exceso para diferentes números de escurrimientos

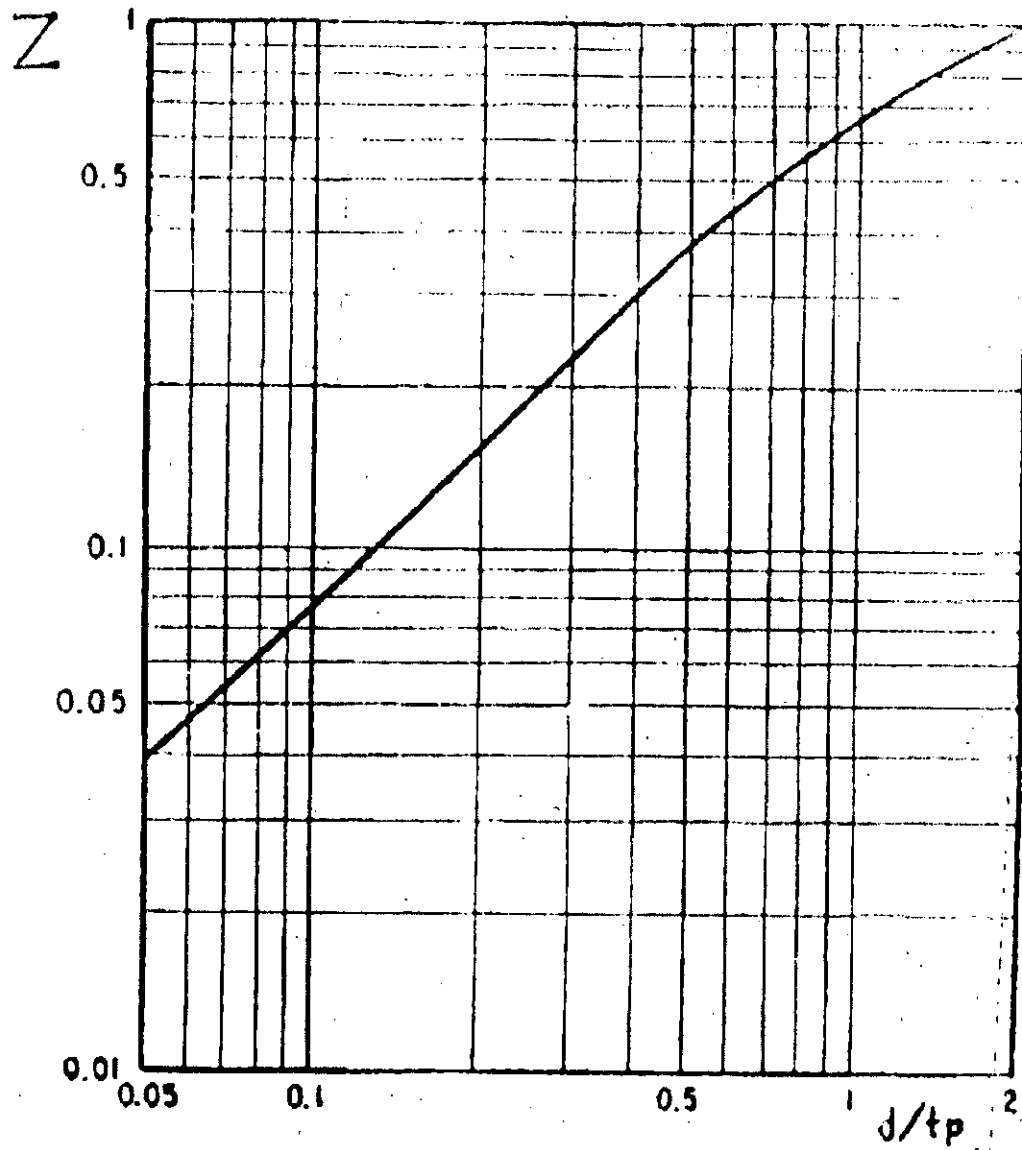


FIG. 10 RELACION ENTRE Z y  $d/tp$

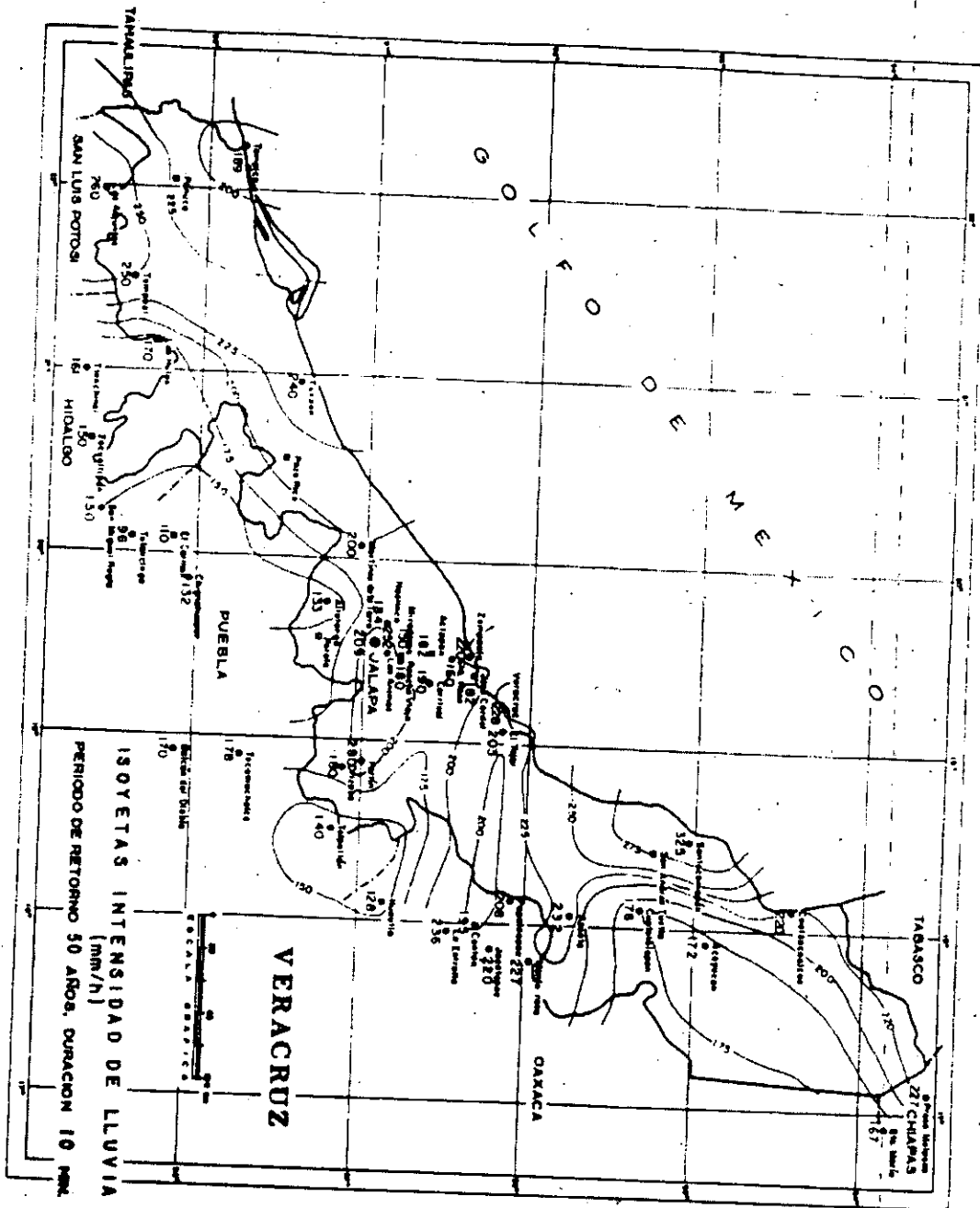


FIG. 11

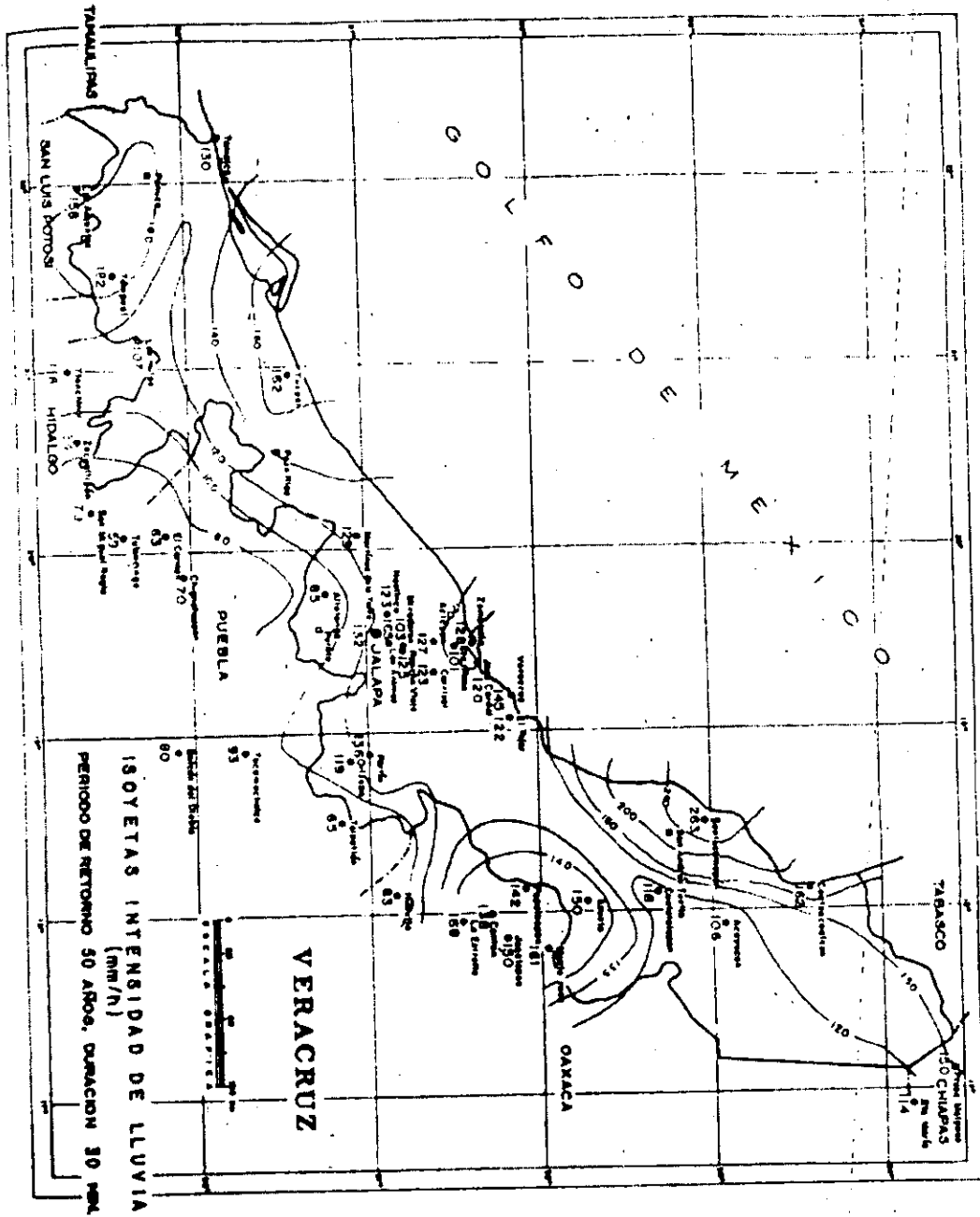


FIG. 12





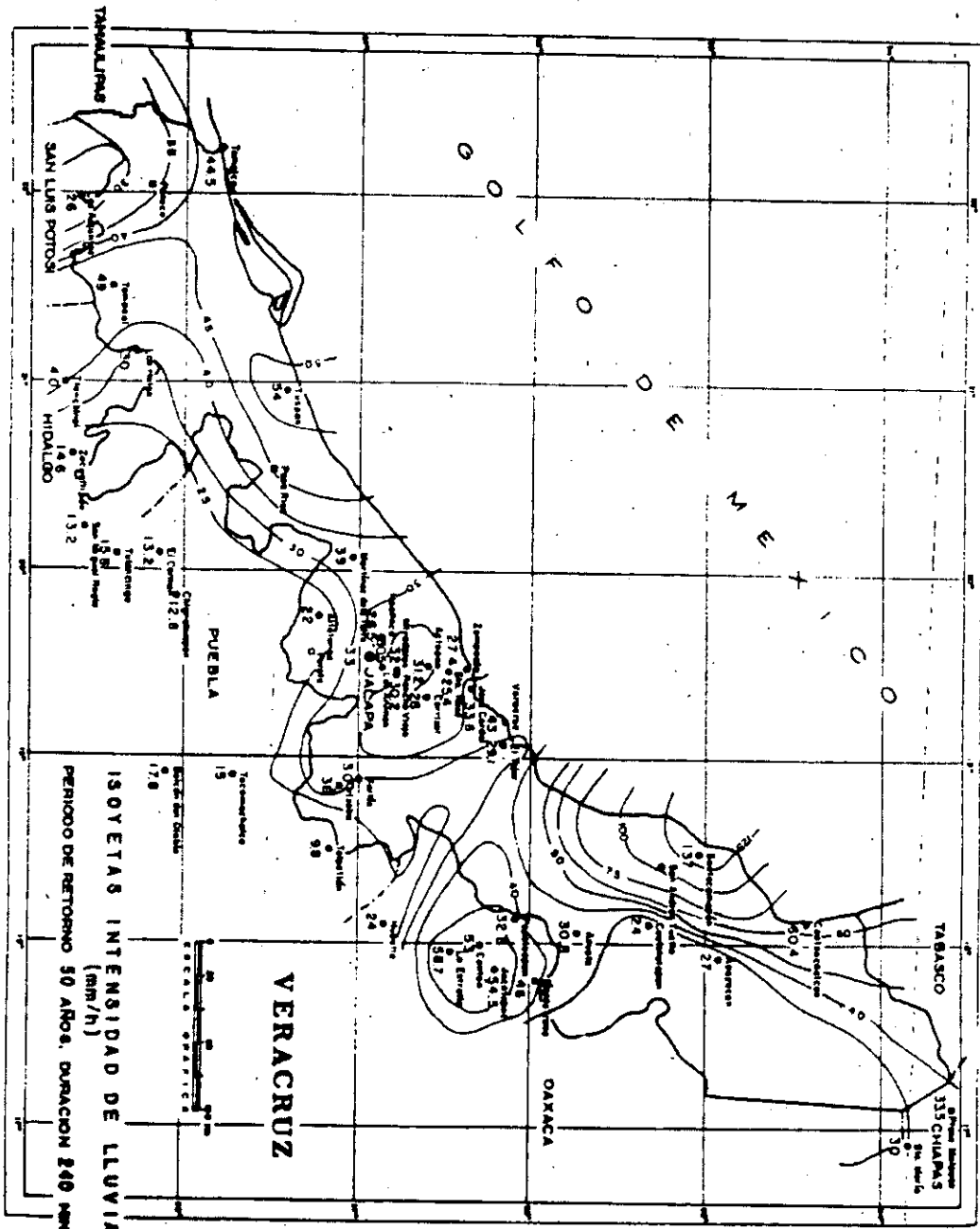


FIG. 15



## METODO DE VENITE CHOW

CRUCE: ARROYO SIN NOMBRE  
 CARRETERA: MEXICO-TUXPAN  
 KM: 219+662  
 ORIGEN: ENTRONQUE ECATEPEC, MEX.

CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	DATOS
AREA DE LA CUENCA Km <sup>2</sup>	A	17
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (m)	L	7000
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (%)	S	0.0016
NUMERO DE ESCURRIRINTO DE CHOW (adimencional)	N	87
PRESIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ESTACION BASE (cm)	Pb	1
PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA CUENCA (cm)	P	1
FACTOR CLIMATICO $Y=2.78 P/Pb$	Y	2.78
TIEMPO DE RETRASO (hr) $tp=0.00505 (L/S \ 1/2) \ 0.64$	tp	11.45

Tr = 50 años

d(min)	d(hr)	I	Pb*	Peb*	X	d/tp	z	Q
10	0.167	20	3.34	1.04	6.25	0.014	0.12	3.55
30	0.5	14	7	3.88	7.76	0.04	0.04	14.67
60	1	10	10	6.55	6.55	0.09	0.07	21.67
120	2	7	14	13.16	6.58	0.17	0.14	43.54
240	4	4	18	12.2	3.05	0.35	0.27	38.91

d = Duración de lluvia

I = Intensidad de lluvia (cm/hr)

Pb\* = Id (cm)

Peb\* =  $((Pb^* - (508/N) + 5.08) / ((Pb^* + 2032/N) - 20.32))$  (cm)

X = Peb\*/d Factor de escurrimiento

Z = Factor de reducción de pico

si d/tp > 2; Z=1

si d/tp < 0.6; Z=0.6315(d/tp)<sup>0.6632</sup>

si d/tp < 0.6; Z=0.7401(d/tp)<sup>0.9740</sup>

$$Q = A X Y Z$$

3  
(M / S)

FIGURA 16

## VALORES DEL COEFICIENTE "C" DE LA FORMULA RACIONAL

TIPO DE AREA POR DRENAR	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C"
<b>Con césped</b>	
Suelo arenoso	0.05-0.10
Suelo grueso	0.13-0.17
	0.13-0.17
<b>Zonas comerciales</b>	
Areas céntricas	0.70-0.95
Areas vecinales	0.50-0.70
<b>Zonas residenciales</b>	
Areas familiares	0.30-0.50
Areas multifamiliares separadas	0.40-0.60
Areas multifamiliares juntas	0.60-0.75
Areas suburbanas	0.25-0.40
Areas de apartamentos habitacionales	0.50-0.70
<b>Zonas industriales</b>	
Claros	0.50-0.80
Zonas densamente construidas	0.60-0.90
Parques y cementerios	0.10-0.25
Areas de recreo	0.20-0.35
Patios de FF.CC.	0.20-0.40
Areas provisionales	0.10-0.30
<b>Calles</b>	
Asfáltadas	0.70-0.95
De concreto	0.80-0.95
Enladrillado	0.70-0.85
Calzada y banquetas	0.75-0.85
Azoteas y techados	0.75-0.95
<b>Zonas rurales</b>	
Campos cultivados	0.20-0.40
Zonas forestadas	0.10-0.30

TABLA 1

Uso de la tierra o cobertura. Descripción según el autor.	Símbolos en carta de uso del suelo. (DEFENAL)	Condición de la superficie.				Tipo de suelo			
		Descripción según el Autor	Según información DEFENAL			A	B	C	D
			Espesura(1) %	Cobertura(2) %	Pendiente(3) %				
Zoques (sembrados y cultivados).	FBa, FBg. Ar?, ArSp, Atpp (4)	Bajo, baja transpiración Normal, transpiración media Espeso o alta transpirac.	30 - 50 50 - 70 70 - 90	- - -	45 36 25	66 60 55	77 73 70	83 79 77	
Bosques naturales	FB, FS, Pal, Mz, Qt, Ms, Ch	Muy raro o baja transpirac. Bajo, baja transpiración Normal, transpiración media Espeso, alta transpiración Muy espeso, alta transpirac.	10 - 30 30 - 50 50 - 70 70 - 90 90 - 100	- - - - -	56 46 36 26 15	75 68 60 52 44	86 78 70 62 54	91 84 76 69 61	
Pastizal	Pn, Pi	Pobre Normal Bueno	- - -	0 - 25 25 - 75 75 - 100	68 49 39	79 69 61	86 79 74	89 84 80	
Pastizal	Pc	Curvas de nivel, pobre Curvas de nivel, normal Curvas de nivel, bueno	- - -	0 - 25 25 - 75 75 - 100	47 25 6	67 59 35	81 75 70	88 83 79	
Potrero (permanente)	Sa, Me, Mi, Ms (5) Ar, Atp, Ath (6)	Normal Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - - -	- - - -	30 70 67 64	58 80 77 73	71 87 83 79	78 90 87 82	
Cereales	Ar, Atp, Ath (6)	Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - -	0 - 2 2 - 6 6 6 más	64 64 60	73 76 71	79 84 79	82 88 85	
Leguminosas o potrero de rotación	Ar, Atp, Ath (6)	Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - -	0 - 2 2 - 6 6 6 más	62 60 57	75 72 70	83 81 78	87 84 82	
Descanso (sin cultivo)	Des, Er, S.	Surcos rectos	-	-	77	86	91	94	
Caminos	-----	De tierra Superficie dura	- -	- -	72 74	82 84	87 90	89 92	
Superficie impermeable.	-----	-----	-	-	100	100	100	100	
-	Ca, Iz, No, Dc, Da, Pa, CR, G.	-----	-	-	70	80	87	90	
-	Po, Tu.	-----	-	-	64	76	84	88	
-	Ms, Mi, Ma (7)	-----	-	-	62	75	83	87	

TABLA 3

TABLA 4

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	.4843	.9043	49	.5481	1,1590
9	.4902	.9288	50	.54854	1.16066
10	.4952	.9497	51	.5489	1,1623
11	.4996	.9676	52	.5493	1.1638
12	.5035	.9833	53	.5497	1.1653
13	.5070	.9972	54	.5501	1.1667
14	.5100	1.0095	55	.5504	1.1681
15	.5128	1.02057	56	.5508	1.1696
16	.5157	1.0316	57	.5511	1.1708
17	.5181	1.0411	58	.5515	1.1721
18	.5202	1.0493	59	.5518	1.1734
19	.5220	1.0566	60	.55208	1.17467
20	.52355	1.06283	62	.5527	1.1770
21	.5252	1.0696	64	.5533	1.1793
22	.5268	1.0754	66	.5538	1.1814
23	.5283	1.0811	68	.5543	1.1834
24	.5296	1.0864	70	.55477	1.18536
25	.53086	1.09145	72	.5552	1.1873
26	.5320	1.0961	74	.5557	1.1890
27	.5332	1.1004	76	.5561	1.1906
28	.5343	1.1047	78	.5565	1.1923
29	.5353	1.1086	80	.55688	1.19382
30	.53622	1.11238	82	.5572	1,1953
31	.5371	1.1159	84	.5576	1.1967
32	.5380	1.1193	86	.5580	1.1980
33	.5388	1.1226	88	.5583	1.1994
34	.5396	1.1255	90	.55860	1.20073
35	.54034	1.12847	92	.5589	1.2020
36	.5410	1.1313	94	.5592	1.2032
37	.5418	1.1339	96	.5595	1.2044
38	.5424	1.1363	98	.5598	1.2055
39	.5430	1,1388	100	.56002	1.20649
40	.54362	1.14132	150	.56461	1.22534
41	.5442	1.1436	200	.56715	1.23598
42	.5448	1.1458	250	.56878	1.24292
43	.5453	1.1480	300	.56993	1.24786
44	.5458	1.1499	400	.57144	1.25450
45	.54630	1.15185	500	.57240	1.25880
46	.5468	1.1538	750	.57377	1.26506
47	.5473	1.1557	1000	.57450	1.26851
48	.5477	1.1574		.57722	1.28255

TABLA 5

1	2	3
Año de Observación	Gasto máximo anual ( $Q_i$ )	$Q_i^2 \times 10^{-3}$
1943	300	9
44	188	3.53
45	147	2.16
46	105	1.10
47	165	2.72
48	203	4.12
49	48.8	0.24
1950	36.2	0.13
51	56.3	0.32
52	56.8	0.32
53	45.2	0.20
54	47.9	0.23
55	141	1.99
56	98.2	0.96
57	53.6	0.29
58	246	6.05
59	156	2.43
1960	47.9	0.23
61	54.9	0.30
62	52	0.27
SÚMA	2248.8	36.59

## VALORES DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
<b>CAUCES NATURALES</b>			
<b>A) CORRIENTES EN PLANICIES</b>			
1.- Limpios, rectos, sin deslaves ni remansos profundos	0.025	0.030	0.033
2.- Igual al anterior, pero más rocoso y con hierba	0.030	0.035	0.040
3.- Limpio, curvo, algunas irregularidades del fondo	0.033	0.040	0.045
4.- Igual al anterior, algo de hierba y roca	0.035	0.045	0.050
5.- Igual al anterior, para menor profundidad y secciones poco eficientes.	0.040	0.048	0.055
6.- igual que el 4, pero más rocas	0.045	0.050	0.060
7.- Tramos irregulares con hierba y estanques profundos	0.050	0.070	0.080
8.- Tramos con mucha hierba, estanques profundos, o cruzadas de avenidas con raíces y plantas subacuáticas	0.075	0.100	0.150
<b>B) CORRIENTES DE MONTAÑAS, SIN VEGETACION EN EL CAUCE, TALUDES MUY PENDIENTES, ARBOLES Y ARBUSTOS A LO LARGO DE LAS MARGENES QUE QUEDAN SUMERGIDAS EN LAS AVENIDAS.</b>			
1.- Fondo de: grado, boleado de algunos cantos rodados	0.030	0.040	0.050
2.- Fondo de: boleado y grandes rocas	0.040	0.050	0.070
<b>PLANICIES Y AVENIDAS</b>			
<b>A) PASTURA SIN ARBUSTOS</b>			
1.- Pasto bajo	0.025	0.030	0.035
2.- Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<b>B) AREAS CULTIVADAS</b>			
1.- Sin cosecha	0.020	0.030	0.040
2.- Cosecha en tierra labrada y pradera	0.025	0.035	0.045
3.- Cosecha de campo	0.030	0.040	0.050
<b>C) ARBUSTOS</b>			
1.- Arbustos deseminados y mucha hierba	0.035	0.050	0.070
2.- Pocos arbustos y arboles, en invierno	0.035	0.050	0.070
3.- Pocos arbustos y arboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4.- Mediana a densa población de arbustos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5.- Mediana a densa población de arbustos, en verano	0.070	0.100	0.160
TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
<b>D) ARBOLES</b>			
1.- Población densa de sauces, en verano, rectos	0.110	0.150	0.200
2.- Terrenos talados con troncos muertos	0.030	0.040	0.050
3.- Igual al anterior, pero con troncos retoñables	0.030	0.040	0.050
4.- Arboles de madera, con pocos arboles de sombra y avenidas debajo de las ramas	0.800	0.100	0.120
5.- Igual al anterior, pero las avenidas alcanzan a las ramas	0.1	0.12	0.160
<b>RIOS (ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN AVENIDAS 30 MTS.) LA n ES MENOR QUE LOS ARROYOS DE IGUAL DESCRIPCION, PORQUE LOS BORDES OFRECEN MENOR RESISTENCIA.</b>			
<b>A) SECCIONES REGULARES SIN CANTOS RODADOS, NI ARBUSTOS</b>			
	0.025		0.060
<b>B) SECCIONES RUGOSAS E IRREGULARES</b>			
	0.035		0.100

**TABLA 6**

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrimientos  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

-Hidráulica de Canales Abiertos  
Ven Te Chow-

-Topografía (Apuntes de la ENEP Aragón)  
U.N.A.M

- Fundamentos de Hidrología de Superficie  
Francisco Javier Aparicio Mijares

-Análisis Estadístico y probabilístico de Datos Hidrológicos (Capítulo 8)  
Rolando Springall.

-Autocad versión 14  
Elia Yathie Matsumoto





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON

**"ESTUDIOS BASICOS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO HIDRAULICO E HIDROLOGICO DE UN PUENTE SOBRE UNA CORRIENTE NATURAL"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
**P R E S E N T A :**  
**ANTONINO NOE ROBLES HERNANDEZ**

ASESOR:  
ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO**

**2001**

## **DEDICATORIAS**

### ***A MIS PADRES***

AGRADEZCO EL APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON YA QUE NUNCA ESCATIMARON ESFUERZOS PARA QUE TUVIERA UNA FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL, AHORA MAS QUE NUNCA SE ACRECENTA MI CARIÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO, GRACIAS.

### ***A MI ESPOSA E HIJAS HORTENSIA, MONICA Y KARINA***

ESTE TRABAJO SE LO DEDICO A MIS MUJERES, YA QUE ELLAS HAN SIDO EL ESTIMULO PARA SEGUIR SUPERÁNDOME.

### ***A MIS HERMANOS CARMELA, ADELFO, EULOGIO, MARIA, SERGIO, YOLANDA Y ADAN***

GRACIAS POR TODO EL APOYO QUE HE RECIBIDO POR PARTE DE USTEDES EN FORMA MORAL, ESPIRITUAL Y MATERIAL, NO FUE FACIL PERO LO LOGRAMOS.

### ***A MI FAMILIA EN GENERAL***

GRACIAS POR LOS CONSEJOS Y PALABRAS DE ALIENTO QUE ME HAN DADO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.

### ***A LA C. ISABEL CORNEJO***

EN ESPECIAL LE ESTOY MUY AGRADECIDO, YA QUE HA SIDO UNA PERSONA QUE HA DEDICADO MUCHO DE SU TIEMPO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, GRACIAS.

### ***A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO***

LES AGRADEZCO LA PARTICIPACIÓN PARA REALIZAR ESTE TRABAJO, YA QUE DE ELLOS HE ADQUIRIDO MUCHA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### ***A MI ASESOR Y PROFESORES***

GRACIAS POR SUS ENSEÑANZAS Y QUE SIEMPRE HAN ESTADO EN LA MEJOR DISPOSICIÓN DE AYUDAR AL ESTUDIANTE.

## **DEDICATORIAS**

### ***A MIS PADRES***

AGRADEZCO EL APOYO QUE SIEMPRE ME BRINDARON YA QUE NUNCA ESCATIMARON ESFUERZOS PARA QUE TUVIERA UNA FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL, AHORA MAS QUE NUNCA SE ACRECENTA MI CARÍÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO, GRACIAS.

### ***A MI ESPOSA E HIJAS HORTENSIA, MONICA Y KARINA***

ESTE TRABAJO SE LO DEDICO A MIS MUJERES, YA QUE ELLAS HAN SIDO EL ESTIMULO PARA SEGUIR SUPERÁNDOME.

### ***A MIS HERMANOS CARMELA, ADELFO, EULOGIO, MARIA, SERGIO, YOLANDA Y ADAN***

GRACIAS POR TODO EL APOYO QUE HE RECIBIDO POR PARTE DE USTEDES EN FORMA MORAL, ESPIRITUAL Y MATERIAL, NO FUE FACIL PERO LO LOGRAMOS.

### ***A MI FAMILIA EN GENERAL***

GRACIAS POR LOS CONSEJOS Y PALABRAS DE ALIENTO QUE ME HAN DADO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.

### ***A LA C. ISABEL CORNEJO***

EN ESPECIAL LE ESTOY MUY AGRADECIDO, YA QUE HA SIDO UNA PERSONA QUE HA DEDICADO MUCHO DE SU TIEMPO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, GRACIAS.

### ***A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO***

LES AGRADEZCO LA PARTICIPACIÓN PARA REALIZAR ESTE TRABAJO, YA QUE DE ELLOS HE ADQUIRIDO MUCHA EXPERIENCIA PROFESIONAL

### ***A MI ASESOR Y PROFESORES***

GRACIAS POR SUS ENSEÑANZAS Y QUE SIEMPRE HAN ESTADO EN LA MEJOR DISPOSICIÓN DE AYUDAR AL ESTUDIANTE.

# INDICE

## CAPITULO I

"GENERALIDADES" 1

## CAPITULO II "ESTUDIO DE CAMPO" 3

II.1	Introducción.	4
II.2	Trazo y nivelación del eje de Proyecto.	7
II.3.	Trazo y nivelación de las secciones de topografía.	13
II.4	Nivelación del fondo de la corriente.	16
II.5	Ubicación y nivelación de las secciones hidráulicas.	17
II.6	Comentarios.	20

## CAPITULO III "OBTENCION DEL GASTO MÁXIMO CON DIFERENTES MÉTODOS HIDROLÓGICOS" 24

III.1	Generalidades.	25
III.2	Determinación de la Cuenca y Pendiente Hidrológica.	27
III.3	Período de Retorno.	29
III.4	Clasificación de los Métodos Hidrológicos.	31
III.5	Aplicación de los Métodos Hidrológicos.	33

## CAPITULO IV OBTENCIÓN DEL GASTO MÁXIMO APLICANDO EL MÉTODO DE CONTINUIDAD, SECCIÓN Y PENDIENTE. 50

IV.1	Generalidades.	51
IV.2	Nivelación del Fondo del Cauce del Río.	51
IV.3	Levantamiento de las Secciones Hidráulicas del Cauce del Río.	52
IV.4	Determinación del Coeficiente de Rugosidad.	52
IV.5	Cálculo de Áreas y Perímetros Mojados.	52
IV.6	Cálculo de la Velocidad y Gasto Total en el Cruce.	53
IV.7	Cálculo de la Sobreelevación en el Cruce.	54
IV.8	Obtención del Gasto y Velocidad Hidráulica Definitiva.	57

## CAPITULO V APLICACIÓN A UN ESTUDIO

ESTUDIO TOPOHIDRAULICO DEL PUENTE COLAPSADO "LA FIGUA I" UBICADO EN EL KM 3+021.25 DE LA CARRETERA VILLAHERMOSA-FRONTERA CON ORIGEN EN VILLAHERMOSA, TAB.

FIGURAS Y TABLAS

BIBLIOGRAFÍA

# CAPITULO I

## “Generalidades”

El presente trabajo tiene como objetivo presentar algunos criterios para poder determinar los datos hidráulicos e hidrológicos que se utilizan en el proyecto de un puente que cruza una corriente natural.

Dicho trabajo describe en forma general la realización de los estudios de campo y gabinete para diseñar un puente hidráulicamente.

El capítulo II (*Estudio de Campo*), describe como se debe realizar un levantamiento topohidráulico para el cruce de una vía de comunicación con una corriente natural, ya que de él se recaban los datos básicos para el diseño hidráulico del puente.

El capítulo III (*Obtención del gasto máximo con diferentes métodos hidrológicos*), describe algunos métodos empíricos, semiempíricos y estadísticos para poder determinar un gasto hidrológico, dichos métodos se basan principalmente en los siguientes datos.

- 1.- Área de cuenca.
- 2.- Pendiente hidrológica de la cuenca.
- 3.- Topografía de la cuenca.

- 4.- Tipo de vegetación en la cuenca.
- 5.- Tipo de suelo en la cuenca y cruce.
- 6.- Registros de estaciones hidrométricas dentro y fuera de la cuenca.
- 7.- Registro de Isoyetas de Intensidad de Lluvia.
- 8.- Datos tabulados y graficados por parte de entidades federales en base a su experiencia.

El capítulo IV (*Obtención del gasto máximo aplicando el método de Continuidad y Sección y Pendiente*), permite describir algunos métodos para determinar el gasto y velocidad hidráulica, así como la altura de remanso.

Estos métodos se basan principalmente en las condiciones físicas del cauce en estudio y en datos recabados y proporcionados por la gente del lugar que tienen habitando más de 40 años en las cercanías de los cruces.

Capítulo V (*Aplicación a un estudio*), en este capítulo se mostrará la aplicación de los capítulos anteriores a un caso real. Dicha aplicación trata de ser lo más completa posible y abarcará todos los capítulos que se describieron en el desarrollo del presente trabajo.

Este trabajo podrá ser un apoyo técnico para todos los profesionistas que se dedican al proyecto hidráulico del drenaje transversal en las vías de comunicación, ya que la construcción de los puentes representa hasta un 50% del costo total de una carretera.

## **CAPITULO II**

# **“ESTUDIO DE CAMPO”**

## II.1 INTRODUCCIÓN.

Para diseñar y construir un puente sobre una corriente se necesita generalmente de un levantamiento topográfico especial. Este levantamiento se hace en las etapas iniciales para dar tiempo al diseño.

Los planos del sitio deberán contener los datos de localización, incluyendo alineamientos y niveles de rasante de la carretera, así como las marcas y referencias de todas las estaciones del levantamiento.

Los planos generados por lo regular deben ser dibujados a una escala de 1:200 y 1:500 con una equidistancia entre curvas de nivel de 1.0 m en puentes largos sobre terreno accidentado.

En sitios donde el terreno es plano y sin muchas depresiones, la equidistancia entre curvas de nivel será de 0.5 m. En los sitios en los que los puentes cruzan cuerpos de agua, se requerirá un levantamiento topohidráulico.

Un levantamiento topohidráulico es un estudio de campo que se requiere realizar en el sitio de cruce de una vía de comunicación con una corriente de agua, el cual sirve de apoyo para proyectar la estructura necesaria de drenaje, así como las obras auxiliares que aseguren el buen funcionamiento de la obra.



El término topohidráulico, que al parecer fue ideado por ingenieros mexicanos, obedece a que los trabajos que comprenden tanto detalles topográficos de la zona de cruce, como características hidráulicas de la corriente en cuestión.

Al elaborar un levantamiento topohidráulico para la construcción de un puente se debe dar el nombre del río, arroyo o barranca, camino correspondiente, tramo del camino en el cual se encuentra, etc.

Así también es imprescindible se rindan los siguientes datos:

- Origen del kilometraje.
- Plano en planta, a escala 1:200 ó 1:500 mostrando.
  1. El eje de proyecto.
  2. Curvas de nivel.
  3. Dirección del cauce.
  4. Construcciones cercanas y datos importantes.
- Ángulo que forma el eje de proyecto con el eje de la corriente (ángulo de esviajamiento).
- Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.
- Planos con los perfiles del eje de proyecto (perfil de construcción y perfil detallado).
- Elevación de la subrasante que resulte más adecuada.
- Croquis de puentes cercanos.

- Plano de pendiente y secciones hidráulicas.

## II.2 TRAZO Y NIVELACIÓN DEL EJE DE PROYECTO

El eje de proyecto o perfil de una línea en la superficie terrestre es la intersección del plano vertical con la superficie del terreno; esta línea puede ser recta, curva o mixta y se representa con las siguientes dimensiones "x" y "y".

"x" es la distancia de un punto sobre un plano de referencia; el eje de las "x" es el desarrollo del trazo de una línea cadeneada y el eje de las "y" es el dato de la elevación del perfil de la misma línea. (Ver fig. 1)

El trazo y nivelación del eje de proyecto se realiza en la localización de vías de comunicación como:

Carreteras

Ferrocarriles

Así como en la construcción de tuberías o colectores de drenaje y en ocasiones para conocer la pendiente de un terreno.

En el levantamiento del eje de proyecto se requieren las elevaciones en cada estación, situada a cada 20 m colocando estacas u otras marcas sobre el eje o centro de la línea; cada estaca se marca con su estación y la distancia adicional medida a partir de ésta, de igual forma una estaca colocada a 1000 m del punto de origen se numera como 1+000 y una colocada a 1520 m del punto de origen se numera como 1+520 m.

Las elevaciones que sirven para construir el perfil se obtienen tomando lecturas del estadal sobre el terreno donde existen puntos con cambios de pendientes o puntos críticos como en los cruces entre calles, arroyos, puentes y alcantarillas.

En la localización de un cruce carretero, el levantamiento del eje de proyecto se realiza de la siguiente manera:

Se coloca y nivela el aparato en un punto favorable donde se puede observar el estadal apoyado en el banco de nivel o punto de liga (B.N. o P. L.)

En este lugar se hace la lectura para conocer la altura de la línea de colimación y desde esta cota se leerá el estadal que se va trasladando por el eje de proyecto.

Cuando no se alcancen a ver los siguientes puntos habrá necesidad de mover el aparato, se establecerá un nuevo punto de liga para que apoyemos en él la nueva posición del aparato. Esta operación se repite a todo lo largo del eje de proyecto o hasta encontrar otro banco de nivel con cota conocida. (*Ver fig. 2.*)

Las lecturas que se toman del estadal se deben de leer al milímetro (mm).

A medida que se avanza en el trabajo se deben establecer monumentos de concreto que son bancos de nivel auxiliares; estos sirven para poder tener una elevación fija cerca del sitio de cruce y poder verificar los puntos de liga.

Al llevar las elevaciones y distancias a la representación gráfica se obtiene una sección vertical de la superficie del terreno y se puede elaborar el perfil de construcción y un perfil detallado.

En el **Plano de Perfil de Construcción** se dibuja el perfil del terreno natural sobre el eje de proyecto de la vía terrestre, cubriendo tramos de 250 m, por lo menos, en cada margen a partir de la intersección del N.A.M.E. (Nivel de aguas máximas extraordinarias) y del terreno natural.

Su finalidad principal radica en la utilización que hace el proyectista de la obra para definir la subrasante de proyecto.

Si con tal extensión no es posible definir la subrasante, será necesario prolongar aún más la cobertura del perfil.

También pudiera ser modificada en la zona de cruce la subrasante propuesta por el ingeniero de localización, que puede tener una idea poco precisa de la elevación del NAME de diseño, por no ser de su competencia tal información.

El perfil de construcción es también útil para definir la localización de las obras auxiliares, cuando se tienen llanuras de inundaciones amplias, así como los posibles cortes, terraplenes que se requieran para los accesos a la obra.

El **Perfil de Construcción** deberá ser levantado con todo detalle en la zona donde quedará la estructura de drenaje y el resto de su longitud podrá completarse con los datos de trazo de la brigada de localización.

En el Plano de Perfil de Construcción debe indicarse la existencia de:

- Curvas y sus características
- Longitud de tangentes.
- Nivel de subrasante
- Bancos de nivel
- Orientación del trazo
- Ubicación de los monumentos de concreto
- Estaciones y cotas del terreno
- Nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.)
- Nivel de aguas máximas ordinarias (N.A.M.O.)
- Nivel de aguas mínimas (N.A.MIN.)

Conviene recalcar la importancia que tiene la inclusión, siempre que sea posible del nivel de subrasante de proyecto en el plano de perfil de construcción.

Se acostumbra dibujar el perfil de construcción a escala distorcionada con el fin de resaltar las irregularidades del terreno. Es muy usual utilizar una escala 1:2000 en el sentido horizontal y 1:200 en el vertical.

En el **Plano de Perfil Detallado** se representa el perfil del terreno natural sobre el eje de proyecto; su longitud deberá cubrir la obra u obras de drenaje que vayan a proyectarse, ya que este plano se utiliza posteriormente en el estudio de cimentación

para ubicar los sondeos geológicos efectuados en campo y dibujar su perfil estratigráfico, además de que permite definir con detalle las dimensiones y ubicación de la estructura o estructuras de drenaje.

En el Perfil Detallado deberá dibujarse a la misma escala horizontal y vertical, siendo muy usual la escala 1:100 ó 1:200 dependiendo de la longitud cubierta, de manera que resulte manejable. Por supuesto, en ríos muy anchos podrá usarse una escala más grande.

En este plano también deberá indicarse el nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.), el nivel de aguas máximas ordinarias (N.A.M.O.) y el nivel de aguas mínimas (N.A.MIN.), así como gasto, velocidad y ángulo de esviaje.



### II.3 TRAZO Y NIVELACION DE LAS SECCIONES DE TOPOGRAFÍA.

Para poder determinar el relieve en la zona de un cruce, se debe realizar un levantamiento topográfico; este consiste en el trazo de una poligonal que sirve como apoyo en el trazo de las secciones topográficas.

La poligonal generalmente se traza de tal manera que las secciones topográficas sean paralelas al eje de proyecto, de esta forma se obtendrá una superficie lo suficientemente amplia para definir el funcionamiento hidráulico de la corriente.

Las primeras cuatro secciones topográficas generalmente tienen una separación de 10 m a partir del eje de proyecto o centro de línea y conforme se vayan separando más del eje tendrán una separación de 20 y 40 m. (*Ver Fig. 3.*)

Al obtener los datos del levantamiento topográfico se puede dibujar la planta general y la planta detallada del cruce en estudio.

En el **Plano de la Planta General** deberá estar incluida la siguiente información:

1. Eje de trazo.
2. Nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.)
3. Ubicación de los monumentos de concreto.
4. Sentido de la corriente.

5. Rumbos.
6. Datos de curvas del trazo.
7. Construcciones aledañas.
8. Líneas telegráficas, de energía eléctrica o telefónicas.
9. Ubicación de las secciones hidráulicas, cuando sea posible.
10. Ductos, etc.

Conviene que la planta general se dibuje a escala 1:500; para mayores extensiones se podrá dibujar a escala 1:1000 o 1:2000 o mayor, en casos en que se tengan ríos muy anchos que requieran topografía extensa.

Si aguas arriba del sitio de cruce, el cauce presenta un alineamiento más o menos rectilíneo y no tiene desbordamientos importantes que hagan necesarias obras auxiliares o de protección, quizá pueda prescindirse de la planta general.

En el **Plano de Planta Detallada**, deberán dibujarse las curvas de nivel a cada 0.5 m, este plano se utiliza para el proyecto estructural de la obra de drenaje correspondiente y abarca una franja de terreno adyacente al eje de proyecto, con una longitud en el sentido del escurrimiento del orden de 60 m, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje de proyecto; esta dimensión debe considerarse mínima y queda a criterio del ingeniero proyectista prolongarla, dependiendo principalmente del tipo y dimensiones de la estructura en proyecto.

En el sentido transversal de la corriente, la topografía debe levantarse por lo menos a 20 m, fuera del nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.), en el caso de que se tenga un cauce definido.

Si se tratara de un viaducto, la planta detallada deberá cubrir hasta la intersección del terreno natural con el nivel de la subrasante de proyecto.

En el caso de un cauce insuficiente hidráulicamente que forme llanuras de inundación amplias, el levantamiento topográfico deberá abarcar la zona que a juicio del ingeniero sea necesaria para alojar las obras de drenaje.

Conviene dibujar la planta detallada a escala 1:200; para mayores extensiones la escala podría ser 1:500 o mayor, dependiendo de la zona cubierta, de manera que el plano resulte manejable.

## II.4. NIVELACIÓN DEL FONDO DE LA CORRIENTE.

En levantamiento de la pendiente del fondo del cauce de una corriente, se requiere un levantamiento con precisión usando el clisimetro, el tránsito o nivel de mano.

Su procedimiento es ir tomando un registro de la pendiente o de la diferencia en elevación para cada longitud de cinta o en cambios de pendiente.

Esta nivelación se hace con el fin de obtener el perfil del fondo de la corriente y así poder aplicar la ecuación de Manning (Sección y Pendiente), en cauces naturales o canales.

Por lo general la longitud de nivelación de la pendiente de un río debe ser cuatro veces más que la del ancho del cauce, es decir, si se tuviera un ancho de cauce de 30 m, se tendría que nivelar 120 m del fondo del cauce del río; de los cuales 80 m se harán hacia aguas arriba y los restantes 40 m hacia aguas abajo del sitio de cruce.

Por supuesto, que el Ingeniero encargado del estudio, decidirá si con esta longitud es suficiente o se tendrá que ampliar dicha longitud.

Esto de dar cierta longitud más hacia un sentido que hacia el otro es con el fin de abarcar la topografía del terreno hacia ese sentido y así obtener detalles de interés que en el otro no existen.

## **II.5 NIVELACIÓN DE LAS SECCIONES HIDRÁULICAS.**

Frecuentemente se desea conocer la forma de la superficie de una parcela de terreno, para la aplicación de esos datos en relación con problemas de drenaje, de irrigación, de niveles en trabajos de movimiento de tierra en la localización y construcción de edificios y en obras similares.

Esta se puede obtener colocando estacas en el área, en un sistema de cuadrados y determinando las elevaciones de los vértices y de otros puntos en los que se presentan cambios de pendiente.

Las direcciones de las líneas se pueden obtener con la cinta o con el tránsito y las distancias se pueden trazar con la cinta y con la estadia.

La determinación de las elevaciones se puede hacer con el nivel de ingeniero o con el nivel de mano, dependiendo de la precisión que se requiera.

Las elevaciones se obtienen hacia adelante sobre la línea y se determinan las lecturas de estadal como en la nivelación de perfiles.

Al obtener los datos en este levantamiento se puede dibujar el plano de pendiente y secciones hidráulicas, el cual debe contener la siguiente información.

- Perfil del fondo del cauce y la línea recta que representa su pendiente media.
- Secciones hidráulicas
- Puntos que representa el N.A.M.E. en cada sitio donde éste haya sido investigado.
- Línea recta que pase entre ellos y que representará la pendiente media de la superficie libre del agua.

La escala usual para el perfil del fondo del cauce es 1:1000 en el sentido horizontal y 1:100 en el sentido vertical.

Las secciones hidráulicas se deben dibujar a escalas iguales, generalmente se usan escalas 1:1000 ó 1:200.

Para el levantamiento de una sección hidráulica se deben cumplir ciertas condiciones:

- *Condición de Dirección:*

En el lugar donde se levantará la sección hidráulica, deberá ser recto en sus márgenes y no tener ningún cambio de dirección del cauce o del escurrimiento.

- *Condición de Esviajamiento:*

La sección hidráulica que se levantará deberá ser perpendicular al escurrimiento.

- *Condición del fondo del cauce:*

El fondo del cauce deberá mantenerse estable, sin cambios bruscos que alteren el escurrimiento aproximadamente en unos 30 m, aguas arriba y 25 m, aguas abajo.

- *Condición física:*

La sección hidráulica no se levantara cuando exista una poza en el lugar escogido o cuando se presente un salto hidráulico cercano al cruce hacia aguas arriba.

- *Condición de la sección:*

La sección hidráulica deberá ser parecida a la de un canal trapecial o rectangular si es encajonado.

- *Condición de influencia hidráulica:*

El lugar elegido para levantar la sección no debe tener influencia de otro río que confluya una obra cercana.

## II. 8 COMENTARIOS

En la elaboración de un estudio topohidráulico para el diseño hidráulico de un puente carretero, es necesario también contar con la siguiente información.

### *1.- Croquis de localización.*

El croquis de localización nos proporciona la ubicación geográfica del sitio de cruce, el croquis debe incluir poblaciones cercanas, vías de comunicación, ríos o arroyos, caminos de acceso al cruce, etc.

Este croquis puede elaborarse por observación directa o con el auxilio de cartas topográficas o fotografías aéreas, por supuesto que puede dibujarse fuera de escala.

### *2.- Croquis de puentes.*

Cuando existen puentes cercanos al cruce, construidos sobre la corriente en estudio, es conveniente averiguar su comportamiento hidráulico y su antigüedad, a fin de contar con más elementos de juicio para definir las dimensiones de la estructura que se va a proyectar, ya que dichos puentes constituyen verdaderos modelos hidráulicos a escala natural.



Cuando se trata de ampliar un puente existente o construir otro en un trazo paralelo o cercano, conviene efectuar un levantamiento de la estructura que incluya:

- Corte transversal
- Corte longitudinal
- Planta de dimensiones claramente definidas y acotadas

Puede utilizarse una escala 1:50, 1:100 o aún mayor, dependiendo de la longitud del puente, de modo que el plano resulte manejable.

En el corte longitudinal deberá indicarse el nivel máximo que haya alcanzado el agua debajo de la estructura.

Si el puente existente se ubica lejos del cruce en estudio, de modo que el área de la cuenca que drene sea significativamente diferente a la cuenca hasta el cruce, será suficiente un croquis en que indique la longitud de la estructura, su distribución de los claros y el perfil del terreno en el sitio, en este caso también convendrá reportar el funcionamiento hidráulico de la obra y su antigüedad.

### *3.- Informes.*

Además de los planos y croquis ya mencionados, que componen un estudio topohidráulico, deben agregarse los siguientes informes:

*a) Informe general*

Este informe debe proporcionar todos los datos importantes que son útiles al proyectista, principalmente los que no se indican en los planos, así como las conclusiones y recomendaciones para el buen funcionamiento hidráulico de la obra que será proyectada para resolver el cruce.

Debe incluir los datos de localización, nombre del camino, su tramo, origen de cadenamiento, kilometraje del cruce y su esviajamiento, si es el caso, datos fisiográficos e hidráulicos de la zona en estudio, tales como orografía general de la cuenca, el área de éstas, donde nace y desemboca la corriente en estudio, gasto y velocidad propuestos para el diseño, afluentes, isletas, lagunas, esteros, cascadas, zonas de inundación, influencia de mareas o de otras corrientes, si el escurrimiento es perenne, torrencial o intermitente, etc.

Existencia de puentes cercanos mencionando su tipo, dimensiones, estado físico, funcionamiento hidráulico, antigüedad, etc.

Estructuras de control de caudal describiendo sus características más importantes, su funcionamiento y la influencia hidráulica que pueden ejercer en el cruce.

Fuente de información y su confiabilidad de los niveles máximos alcanzados por el agua.

Descripción de los materiales que forman el fondo del cauce y sus márgenes, materiales de arrastre y cuerpos flotantes, tipo de vegetación y uso del suelo.

*b) Informe fotográfico.*

Este informe muestra directamente el sitio de cruce con sus detalles, tales como la geometría del cauce, su vegetación, la geología superficial, estructuras hidráulicas cercanas al cruce ubicadas sobre la corriente en estudio, cuando existan.

La utilidad de este informe se ve acentuada cuando es usada por el proyectista que no ha tenido la posibilidad de visitar la zona de estudio.

## **CAPITULO III**

# **“OBTENCION DEL GASTO MÁXIMO CON DIFERENTES MÉTODOS HIDROLÓGICOS”**

### III.1 GENERALIDADES

Desde épocas muy remotas el hombre ha tenido la necesidad de cruzar las corrientes naturales de agua interceptadas por las diversas vías de comunicación que ha construido. Para ello, se ha visto en la necesidad de construir puentes, los cuales en su principio eran hechos a base de troncos tendidos o de cuerda. En la actualidad se construyen a base de estructuras metálicas, de concreto reforzado, postensado, utilizando técnicas de construcción muy variadas.

Por otra parte, debido a que un gran porcentaje del costo total para la construcción o modernización de una vía terrestre se gasta en los puentes, se justifica plenamente la realización de los estudios básicos que permitan seleccionar la mejor alternativa.

En la actualidad existen dependencias encargadas de proyectar y construir diversas obras hidráulicas, relacionadas con el drenaje transversal de las vías terrestres, tales como puentes, vados, obras menores, etc.

Uno de los datos fundamentales con que se debe contar para proyectar cualquiera de las obras mencionadas, es el gasto de la corriente en avenidas máximas extraordinarias, asociadas a un cierto período de retorno, mismo que se determina en función de la vida útil del proyecto y del riesgo que pueda aceptar de que falle la obra, el cual a su vez es función de la importancia de ésta, de los daños que ocasionaría en caso de falla y del costo de la operación o reconstrucción.

La determinación del gasto de la corriente es importante porque es el valor que se adoptará para el proyecto, y para esto el ingeniero se vale de la Hidrología, que se puede definir como la ciencia que trata las propiedades, distribución y circulación del agua en la naturaleza en sus tres estados gaseoso, líquido y sólido, estando una de sus ramas principales consagrada al análisis del gasto de las corrientes de agua.

El desarrollo de la Hidrología como materia fundamental y el de materias afines, ha traído como consecuencia la aparición de muy diversos métodos para el cálculo de avenidas de diseño.

### **III.2 DETERMINACIÓN DE LA CUENCA Y PENDIENTE HIDROLÓGICA**

En la elaboración de un estudio Hidrológico para determinar el gasto de diseño de un cauce de una vía de comunicación con una corriente natural, es necesario primero determinar el área de la cuenca de aportación.

Su objetivo es conocer el trayecto de la corriente principal y sus tributarios o corrientes secundarias, así como el área de la cuenca.

Para poder dibujar el parteaguas se deberá auxiliar el ingeniero responsable del estudio de una carta topográfica con escala de 1:50,000, 1:100,000 ó 1:250,000.

El otro dato fundamental en el estudio Hidrológico es obtener la pendiente media de la corriente principal.

Existen varios métodos para calcular la pendiente pero en este trabajo se considerará el método propuesto por Taylor-Schwarz, el cual propone calcular la pendiente media como la de un canal de sección trapecial uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

La fórmula de Taylor-Schwarz es la siguiente:

$$S = \left[ \frac{L(m)}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right]^2$$

Donde:

$L_m$  = Longitud del tramo en (m).

$S_m$  = Pendiente en el tramo en (m)

$S$  = Pendiente media



### III.3 PERIODO DE RETORNO

El principal objetivo del análisis de frecuencias de los datos hidrológicos es determinar el período de retorno de un evento hidrológico de magnitud dada "x".

Dicho período es el intervalo promedio de tiempo dentro del cual la magnitud "x", del evento es igualada o excedida en cualquier año; generalmente se designa por  $T_r$ .

Si un evento hidrológico igual o mayor que "x" ocurre una vez en  $T_r$  años la probabilidad  $P(X > X_1) = 1 / T_r$ .

Así el período de retorno y la probabilidad son recíprocos.

Usualmente cuando se tienen datos de un cierto período y se desea aplicar algún método estadístico para extrapolar dicho dato a períodos de retorno mayores al de las mediciones, es necesario asignar un valor de T a cada dato registrado.

Por lo tanto conviene usar la siguiente expresión para asignar períodos de retorno a una serie de datos. Por lo general se utiliza la fórmula de Weibull.

$$T = (n + 1) / m$$

Donde:

- T = Período de retorno en años
- n = Número de años de registro
- m = Número de orden de una lista de mayor a menor de los datos, correspondiendo m = 1 al gasto más grande de los registrados.

En base a las grandes precipitaciones de lluvia que se han presentado en los últimos 10 años en varios estados de la República Mexicana, se han adoptado como período de retorno 50 años para caminos importantes como:

- Carreteras
- Autopistas

30 años para caminos:

- Tipo "B"
- Tipo "C"

25 años para:

- Alcantarillas
- Puentes en caminos: Tipo "D" y Tipo "E".

### III. 4 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Los métodos hidrológicos pueden clasificarse como:

- Empíricos
- Semiempíricos
- Estadísticos

#### ***Métodos Empíricos:***

Estos métodos se han desarrollado por medio de correlación múltiple y se emplean para obtener una idea preliminar sobre el gasto de diseño, o bien cuando no se conocen las características de la precipitación en la zona correspondiente a la cuenca en estudio, ya que en ellos intervienen como variables únicamente las características físicas de la cuenca.

#### ***Métodos Semiempíricos:***

Son similares a los empíricos, pero hacen intervenir además la intensidad de la lluvia en la relación que define el gasto de diseño.

### ***Métodos Estadísticos:***

Son de gran utilidad en sitios en los que se cuenta con un buen registro de gastos ocurridos. Se basan en suponer que los gastos máximos anuales aforados en una cuenca son muestra aleatoria de una población de gastos máximos. Difieren entre ellos en la forma de la función de distribución de probabilidades que supone tiene la población.

## III.5 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS

### III.5.1 MÉTODO EMPÍRICO

#### *Método de Creager*

Para la obtención de su fórmula Creager graficó los gastos máximos unitarios observados en cuencas de todo el mundo, contra el área de la cuenca. Después trazó una curva envolvente de todos los puntos graficados y obtuvo la ecuación correspondiente, la cual se indica a continuación:

$$q = 0.503 c (0.386 A) \exp. [ \{ 0.894 / (0.396 A)^{0.048} \} - 1 ]$$

Donde:

q = Gasto unitario en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

c = Parámetro que depende de la región considerada

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó un estudio para determinar el valor del coeficiente "c" de la ecuación, considerando por separado 37 regiones hidrológicas en las que se dividió a la República Mexicana, *Ver fig. 4 y 5*

Los resultados están publicados en forma gráfica, una por cada región hidrológica con su envolvente y su valor de "c" correspondiente y otra que engloba la información obtenida en toda la República.

El gasto total Q se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = qA$$

Donde:

Q = Gasto máximo en m<sup>3</sup>

q = Gasto unitario en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

## MÉTODO RACIONAL

La fórmula Racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia - escurrimiento.

Las hipótesis más importantes en que se basa el método Racional son las siguientes:

- a) Toda la cuenca contribuye a la magnitud del gasto máximo.
- b) La intensidad de lluvia es uniforme sobre toda la cuenca.

Estas suposiciones básicas indican las limitaciones del método, sobre todo cuando el área de la cuenca es grande.

Como ya se mencionó este modelo toma en cuenta el área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día muy utilizado.

Supóngase que en una cuenca impermeable se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo.

Al principio el gasto que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará un momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, donde el volumen

que entra por unidad de tiempo por la lluvia sea el mismo que el gasto de salida de la cuenca. (Ver fig. 6.)

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Para aplicar este método, es necesario calcular previamente el tiempo de concentración para lo cual se emplea la fórmula de Kirpich que se describe a continuación:

$$T_c = 0.0662 (L^{0.077}/s^{0.385})$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración de hrs.

$L$  = Longitud del cauce principal en km.

$S$  = Pendiente media del cauce principal, en decimales.

En el sistema métrico decimal la fórmula Racional se puede escribir de la siguiente forma.

$$Q = 0.278 CIA$$

Donde:

$Q$  = Gasto máximo en  $m^3/s$

$C$  = Coeficiente de escurrimiento adimensional



I = Intensidad de lluvia para una duración de lluvia igual al tiempo de concentración en mm/hr.

A = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

0.278 = Factor de homogeneidad de unidades.

El coeficiente "c" representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido el cual depende de las características de la cuenca. En la tabla 1 se muestran los valores de "c" comúnmente empleados.

En caso de que la cuenca por drenar este compuesta por diferentes tipos de suelos, el coeficiente "c" se determina mediante un promedio ponderado.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL.

El método se aplicará al cruce Arroyo "Sin Nombre", de la Autopista México - Tuxpan, km 219+662, con origen de cadenamamiento en Ent. Ecatepec, Méx.

Dicha corriente nace a 7 km del sitio de cruce y desemboca a 6 km en el río "Grande", el área de la cuenca drenada hasta el cruce es de 17 km<sup>2</sup> (Ver fig. 7) y pertenece a la Región Hidrológica N° 27, según clasificación de la S.A.R.H.

La pendiente del cauce se obtiene por medio del método de Taylor-Schwarz. (Ver tabla 2).

$$S = \left[ \frac{L(m)}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S(m)}} \right]^2$$

donde m=número de tramos

**Tabla "2"**

TRAMO	LONGITUD m	DESNIVEL m	Si	Si	$\frac{1}{Si}$
1	500	5	0.01	0.1	10.00
2	500	5	0.01	0.1	10.00
3	500	5	0.01	0.1	10.00
4	500	5	0.01	0.1	10.00
5	500	5	0.01	0.1	10.00
6	500	5	0.01	0.1	10.00

TRAMO	LONGITUD m	DESNIVEL m	Si	Si	$\frac{l}{Si}$
7	500	5	0.01	0.1	10.00
8	500	5	0.01	0.1	10.00
9	500	10	0.02	0.14	7.07
10	500	10	0.02	0.14	7.07
11	500	20	0.04	0.20	5.00
12	500	20	0.04	0.20	5.00
13	500	40	0.08	0.28	3.54
14	500	40	0.08	0.28	3.54

$Sc = 0.016$

mientras que el coeficiente de escurrimiento "C" adimensional se obtiene de la tabla 1.

Debido a que el cruce se encuentra en una zona rural y existen campos de cultivo, el valor de "c" será igual a 0.40.

La intensidad de lluvia se obtiene para una duración de 120 min.

El período de retorno ( $Tr$ ) será para 50 años debido a que es una obra para una autopista.

El gasto que drena la cuenca es de  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Ver figura N° 8).

## MÉTODO DE VEN TE CHOW

El método de Chow está basado principalmente en el concepto de hidrograma unitario, la expresión general es:

$$Q_m = 2.78 A X Z$$

Donde:

$$Q_m = \text{Gasto máximo en m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{Área de la cuenca en km}^2$$

$$X = Pe/d = \text{factor de escurrimiento en cm/hr. (adelante se define Pe y d)}$$

$$2.78 = \text{Factor de homogeneidad de unidades.}$$

$$Z = \text{Factor de reducción del pico (adimensional)}$$

Los factores que afectan el escurrimiento considerados en este método pueden definirse en dos grupos.

- a) Afecta directamente a la cantidad de lluvia que escurre, el cual comprende el uso de la tierra, condición de la superficie, tipo de suelo, cantidad y duración de lluvia.
- b) Afecta la distribución del escurrimiento directo en el tiempo e influye en el tamaño y la forma de la cuenca y la pendiente del terreno.

Para considerar el efecto del primer grupo se introduce el número de escurrimiento N, el cual es función del uso y características del suelo.

Los suelos se clasifican, según influyan las características del material en el escurrimiento, en cuatro grupos:

A) Suelos con potencial de escurrimiento mínimo

Incluye gravas y arena en estratos de gran espesor con poco limo y arcilla, así como loess muy permeables (GW, GP, SW, SP).

B) Suelos con infiltración media superior a la del grupo A) y loess más compactados que los de dicho grupo (GM, SM, ML, MH, OL).

C) Suelos con infiltración media inferior a la del grupo B)

Se consideran en este grupo estratos poco potentes y los que contienen cantidades considerables de arcilla y colores (SC, CL).

D) Suelos con potencial de escurrimiento máximo.

Se clasifican dentro de este grupo las arcillas de alta plasticidad, los suelos con arcillas y colores en cantidades mayores de los que tienen las del grupo C) (CH, OH)

Conocido el tipo de suelo, de acuerdo con la clasificación anterior y considerando el uso que se le de, utilizando la tabla 3 se podrá determinar el valor de N.

Si es necesario puede calcularse un número de escurrimiento pesado.

Una vez conocido **N**, el valor de la lluvia en exceso **P<sub>e</sub>** puede calcularse para una altura de lluvia dada **P** mediante la fig.9 o bien por la ecuación.

$$P_e = \left\{ \left[ P - \left( \frac{508}{N} \right) + 5.08 \right]^2 / \left[ P + \left( \frac{2032}{N} \right) - 20.32 \right] \right\}$$

Para determinar el factor de escurrimiento **X** se utiliza la fórmula:

$$X = P_e/d$$

Donde:

**d** = duración total de la tormenta en hrs.

El valor de **Z** se puede calcular como una función de la relación entre la duración de la tormenta (**d**) y el tiempo de retraso (**tp**)

Dicho tiempo (**tp**) se define como el intervalo de tiempo medio del centro de masa de un bloque de intensidad de lluvia al pico resultante del hidrograma.

El tiempo de retraso depende principalmente de la forma del hidrograma y de las características fisiográficas de la cuenca y es independiente de la duración de la lluvia.

Chow encontró, para la zona que estudió que el tiempo de retraso se puede calcular mediante la ecuación siguiente:

$$t_p = 0.00505 \{L/(S)^{1/2}\}^{0.64}$$

Donde :

- $t_p$  = Tiempo de retraso en hrs.  
 $L$  = Longitud del cauce principal en m.  
 $S$  = Pendiente del cauce principal en %.

Conocido el valor de  $t_p$  de la cuenca en estudio, para cada duración de tormenta se puede calcular  $Z$ .

La relación de  $d/t_p$  con  $Z$ , obtenida por Chow se muestra en la fig. 10.

El valor máximo de la relación  $d/t_p$  que aparece en esta figura es 2 al cual le corresponde un valor de  $Z = 1$ , ya que teóricamente no se puede exceder este valor.

Si la duración es mayor que 2,  $t_p$  significa que el gasto de pico no ocurrirá antes de que termine la lluvia en exceso, y el hidrograma unitario alcanzará y mantendrá el valor del gasto máximo.

En otras palabras,  $Z = 1$  para  $d/t_p \geq 2$

#### *PROCEDIMIENTO DE CALCULO:*

Para aplicar el método de Chow se requieren los datos siguientes:

a) *Datos fisiográficos*

Área de la cuenca por estudiar

Longitud del cauce principal

Pendiente media del cauce principal

Tipos de suelo en la cuenca

Usos del suelo en la cuenca

b) *Datos climatológicos*

Isoyetas de Intensidad - Duración - Frecuencia. (Ver figuras 11, 12, 13, 14 y 15).



## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VEN TE CHOW

El método se aplicará al cruce con el arroyo "S/Nombre", los datos se describen en la aplicación del método Racional.

Los datos más importantes que se desprenden del cruce son:

- Área de la cuenca:  $17 \text{ km}^2$
- Longitud del cauce principal:  $7,000 \text{ m}$
- Pendiente media del cauce:  $0.0016\%$
- El número de escurrimiento de Chow se obtiene de la tabla N° 3.

Debido a que la cuenca se localiza en un terreno de cultivos y en un suelo con un potencial de escurrimiento máximo que se clasifica dentro del grupo de las arcillas de alta plasticidad el número de escurrimiento es 87.

$$N = 87$$

El cálculo se hará para una duración de 240, 120, 60, 30 y 10 minutos.

Las intensidades de lluvia serán en (cm/hr) y se obtienen de las figuras de las Isoyetas de Intensidad de Lluvia para un período de retorno de 50 años en el estado de Veracruz.

Las intensidades de lluvia serán:

MINUTOS	INTENSIDAD DE LLUVIA ( mm/hr)
10	200
30	140
60	100
120	70
240	40

El gasto obtenido es de 45 m<sup>3</sup>/s (Ver figura 16) para una duración de lluvia de 2 horas.

### III.5.3 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

#### MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

La fórmula que dedujo Gumbel para calcular el gasto máximo para un período de retorno determinado es la siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[ Y_N + \text{Ln} \left( \frac{1}{T} \right) \right]$$

en la que:

$$Q_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$\sigma_Q = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - NQ_m^2}{N-1}$$

Siendo:

N = Número de años de registro

$Q_i$  = Gastos máximos anuales registrados, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$Q_m$  = Gasto medio, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$\sigma_Q$  = Desviación estándar de los gastos, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$Y_n$  = Parámetro, función de N. (Ver tabla 4)

$\sigma_Q$  = Parámetro, función de N. (Ver tabla 4)

T = Período de retorno

$Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo para un período de retorno determinado, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

## APLICACIÓN DEL MÉTODO

### DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

El método se aplicara con los datos registrados en la estación hidrométrica de Salvatierra, Gto., (Ver plano de región hidrológica N° 12 parcial), sobre río Lerma.

Ver tabla 5.

De la tabla "5" se suma la columna 2 y se divide entre el número de años de registro.

$$Q_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$Q_m = \frac{1 \times (2248.80)}{20} = 112.4 m^3 / s$$

A continuación se calcula la desviación estándar  $\sigma_Q$ , siendo:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_Q = \left[ \frac{(36590000) - 20(112.2)^2}{20 - 1} \right]^{0.5}$$

$$\sigma_Q = 77.20$$

Cálculo de los coeficientes YN y DN de la tabla 4 se obtienen estos valores para N = 20, por lo tanto:

$$Y_N = 0.52355 \text{ y } D_N = 1.06283$$

En la siguiente ecuación se sustituyen los valores anteriormente calculados para obtener el gasto máximo para un período de retorno de 50 años.

$$Q_{\text{máx}} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[ Y_N + \text{Ln} \left( \frac{1}{T} \right) \right]$$

$$Q_{\text{máx}} = 112.4 - \frac{77.20}{1.06283} \left( 0.52355 + \log \frac{1}{50} \right)$$

$$Q_{\text{máx}} = 358 \text{ m}^3 / \text{s}$$

El intervalo de confianza no se toma para los cálculos, ya que es muy engañoso y no representa fielmente el gasto con relación al período de retorno, por lo que el gasto calculado por la ecuación se toma como gasto hidrológico.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## **CAPITULO IV**

# **OBTENCIÓN DEL GASTO MÁXIMO APLICANDO EL MÉTODO DE CONTINUIDAD, SECCIÓN Y PENDIENTE.**

## **IV.1 GENERALIDADES**

Previo a la ejecución del Estudio Hidráulico, se realiza un levantamiento topográfico donde se identifica, el cruce del eje de proyecto con el río y se observan todas las características físicas e hidráulicas que puedan presentar algún problema serio al funcionamiento del puente por diseñar.

En este estudio se toma nota de cualquier circunstancia que altere las condiciones naturales desde el punto de vista hidráulico.

Se elaboran croquis y se da un gasto aproximado, así como una velocidad estimada en campo, todo esto con la finalidad de programar el estudio hidráulico a realizar en el sitio de cruce y también para que sirva de comparación con los resultados obtenidos con el estudio hidrológico, el cual se hará en gabinete.

## **IV.2 NIVELACIÓN DEL FONDO DEL CAUCE DEL RÍO.**

Esta nivelación se hace con el fin de obtener la Pendiente del Fondo del río y así aplicar la Ecuación de Manning para cauces naturales y/o canales.

La longitud de niveles está en relación con el ancho del río que se estudia en una proporción de cuatro veces éste.

### **IV.3 LEVANTAMIENTO DE LAS SECCIONES HIDRÁULICAS DEL RÍO.**

Las Secciones Hidráulicas se utilizan en un Estudio Hidráulico para determinar el gasto que pasa por cada una de ellas y así poder determinar un gasto promedio en el tramo del río donde se levantaron dichas secciones.

### **IV.4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.**

Para determinar el coeficiente de rugosidad será necesario observar las condiciones del río, de acuerdo al tipo de material existente en sus márgenes, así como en su fondo, el tipo de vegetación y la espesura de ésta en sus orillas. (*Ver tabla 6*).

También influye la altura de los tirantes que existen en ambas orillas como en el fondo del cauce.

### **IV.5 CALCULO DE AREAS Y PERÍMETROS MOJADOS**

Para determinar el área de una Sección Hidráulica se utilizan los datos que se obtienen en el estudio topográfico tales como:



- Elevaciones
- Cadenamiento

Con dichos datos se calcula el Área y el Perímetro mojado de la sección hidráulica, que se indican en el capítulo V

#### IV.6 CALCULO DE LA VELOCIDAD Y GASTO TOTAL

Para obtener la velocidad en cada tramo y/o sección se emplea la fórmula de Manning, la cual es:

$$V = \frac{1.49}{n} S^{1/2} r^{2/3}$$

Donde:

s = Pendiente hidráulica del cauce

n = Coeficiente de rugosidad

r = Radio Hidráulico

Conociendo los valores de "n" y "s" se procede a determinar "r"

r = A/P

Donde:

A = Área Hidráulica de la Sección

P = Perímetro mojado

El gasto se calcula por medio de la Ecuación de Continuidad:

Q = VA

#### IV.7 CALCULO DE LA SOBREELEVACIÓN EN EL CRUCE

La sobreelevación o remanso es el fenómeno físico y mecánico del agua que se presenta al estrechar y reducir el área de un cauce natural o artificial; provocando que el tirante del agua se sobreeleve o aumente, debido a que el área es menor que en las condiciones iniciales; así también la velocidad aumentará.

Para calcular el remanso generado por un obstáculo, en este caso el puente, se toma el área bajo la estructura a construir, que es por donde se hará pasar el gasto y se obtendrá la sobreelevación, a esta área se le deberá restar el área de los apoyos de la estructura para determinar una sobreelevación más real.

En la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se utilizan los siguientes métodos:

## MÉTODO DE BERNOULLI

Este método se aplica a dos secciones, una en condiciones naturales y otra en condiciones alteradas y por diferencias de presiones se obtiene la velocidad y la sobreelevación en el cruce en condiciones alteradas.

### DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Ecuación de Bernoulli:

$$Z + Y + \frac{V^2}{2g} = \text{cte. para canales}$$

Por lo tanto:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Si el plano de referencia es el fondo del cauce:

$$Z_1 = Z_2$$

ya que las secciones pertenecen al mismo cauce y tienen la misma elevación.

Por lo que:

$$Y_1 - Y_2 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Si  $Y_1 - Y_2 = h = e$

entonces:

$$e = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Ecuación que se utiliza para el cálculo de la sobreelevación.

Los datos para calcular la sobreelevación son los siguientes:

- Longitud de puente ( $L_p$ )
- Gasto máximo ( $Q_{\text{máx}}$   $\text{m}^3/\text{s}$ )
- Velocidad media máxima en el cruce ( $V_1$   $\text{m/s}$ )
- Area hasta el NAME bajo el puente ( $A_1$   $\text{m}^2$ )
- Area de las pilas ( $A_2$   $\text{m}^2$ )
- Area efectiva bajo el puente ( $A_3$   $\text{m}^2$ )

El cálculo se lleva a cabo por tanteos, se supone una sobreelevación y se realizan las operaciones; si al final el resultado de la diferencia de presiones es igual o muy aproximado al propuesto, ésta es la sobreelevación que se presenta en el cruce.

## **IV. 8 OBTENCION DEL GASTO Y VELOCIDAD HIDRAULICA DEFINITIVA.**

El gasto definitivo será el que a juicio del Ingeniero. Proyectista sea el más confiable, de acuerdo a los resultados obtenidos en los Estudios Hidráulicos e Hidrológicos, y es el gasto que se utilizará para poder determinar la sobreelevación en el cruce.

La velocidad definitiva será la calculada con la ecuación de sobreelevación.

## **CAPITULO V**

### **APLICACIÓN A UN ESTUDIO**

# ESTUDIO TOPOHIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

CRUCE : PUENTE "LA FIGUA I" (RIO CARRIZAL)  
CARRETERA : VILLAHERMOSA-FRONTERA  
TRAMO : VILLAHERMOSA-FRONTERA  
KM : 3+021.25  
ORIGEN : VILLAHERMOSA, TAB.

## INFORME GENERAL

### I.- GENERALIDADES

La corriente nace a \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ km del sitio de cruce y desemboca a 2.3 Km, en el río Grijalva \_\_\_\_\_. Sí X No \_\_\_\_\_ provoca influencia hidráulica en el cruce. (ver croquis de localización). El área de la cuenca drenada hasta el cruce es de \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup> y pertenece a la Región Hidrológica N° 30, según clasificación de la SARH. En la zona de cruce, la vegetación se puede clasificar como pastizal y matorrales y la topografía es sensiblemente plana.

\* Ver nota 1 en página 4

Elevación y descripción del banco de nivel B.N.-7 C.N.A., sobre tornillo en base de poste de alumbrado público a 2.0 m derecha de est. 2+844.5. elevación = 9.528 m.

El cauce en la zona de cruce es:

sinuoso	<u>X</u>	estable	<u>X</u>	encajonado	
sensiblemente recto	_____	divagante	_____	con llanuras de inundación	<u>X</u>

COMENTARIOS Ver nota 2 en página 4

El escurrimiento es de carácter torrencial \_\_\_\_\_ perenne X intermitente \_\_\_\_\_

Tipo y longitud máxima de los cuerpos flotantes troncos de hasta de 15 m de longitud.

El período de lluvias en la región comprende los meses de  mayo  a  noviembre   
La precipitación media anual es de  2000  mm.

Información adicional (erosión marginal, caídas, ubicación del cruce en una curva del cauce, curvas cercanas, etc.)  En la margen derecha del río del lado de aguas arriba existe un depósito de material que ha propiciado la formación de corrientes secundarias, una hoyo de socavación de 12 m del lado de aguas abajo, a 60 m del puente y erosión en la margen izquierda también del lado de aguas abajo, en un tramo del orden de 130 m, afectando la primera al puente "La Pigua I" hasta producir su colapso. Ver planta topográfica general y foto 1.

Geología superficial en el fondo  arcilla limosa   
en la margen izquierda  arcilla   
en la margen derecha  arcilla

El eje del trazo cruza en dirección normal   esviado  X  a la corriente.  
Angulo de esviajamiento  10° izquierda

El paso actual de vehículos en la zona de cruce  se realiza por el puente existente "La Pigua II" correspondiente a la carretera Villahermosa - Frontera que se localiza adyacente al puente fallado.

Si existen puentes cercanos al cruce sobre la misma corriente, proporcionar los datos siguientes:

- Ubicación  en el sitio de cruce, "La Pigua II"
- Número y longitud de los claros  tres claros libres de 34.28, 62.0 y 34.2 m
- Altura media hasta la parte inferior de la superestructura  11 m.
- ¿Ha funcionado el puente a su máxima capacidad?  no
- Área hidráulica del puente hasta el NAME de campo  630 m<sup>2</sup>
- Área total bajo el puente  1568 m<sup>2</sup>
- Antigüedad de la obra  de 35 años.
- Otros datos útiles a juicio del observador  con la creciente ocurrida a finales de 1999 el puente trabajó con un espacio libre vertical de 8 m.

## II.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

Método Aplicado  Gumbel

Información utilizada  Ver nota 3 en página. 4

Se obtuvo un caudal máximo de  1633  m<sup>3</sup>/s, asociado a un período de retorno de  100  años.

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.).  La corriente que se estudia está controlada por las presas La Angostura, Chicoasen, Malpaso y Peñitas, construidas en 1964, 1974, 1980 y 1986; la estación de aforos se ubica aguas abajo de las presas y los registros de aforo son posteriores a la construcción de las mismas



### III.- ESTUDIO HIDRÁULICO

Nivel de aguas mínimas N.A.Mim. = 1.10 m Nivel de aguas ordinarias N.A.O. = 3.14 m.  
Nivel de aguas extraordinarias de campo N.A.E =6.67 m  
Nivel de aguas de diseño N.A.D. =8.14 m

Método aplicado Sección y Pendiente  
Secciones levantadas Tres, una en el cruce y dos a 160 y 400 m aguas arriba del cruce  
Fecha de la creciente máxima que se consideró: octubre de 1999  
Gasto obtenido 1322 m<sup>3</sup>/s; velocidad media máxima en el cruce 2.0 m/s;  
frecuencia del evento más de 27 años, de acuerdo al análisis hidrológico; duración de la creciente 3 meses.

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.). La información de niveles de agua utilizados en los cálculos fue proporcionada por personas del lugar que tienen más de 40 años de vivir en las cercanías al cruce.

### IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda adoptar como gasto de diseño 1633\* m<sup>3</sup>/s, obtenido hidrológicamente para un período de retorno de 100 años.

La longitud del puente podrá ser de 145 m con claros horizontales no menores de 30 m. Se propone ubicarlas del km 2+947.735 al km 3+092.735, colineal al puente "La Pigua II".

Se recomienda un espacio libre vertical entre el NAME de diseño y el lecho inferior de la superestructura, de 2.0 m mínimo. La velocidad máxima bajo la obra se estima será de 2.1 m/s y la sobreelevación de la superficie del agua será despreciable

Obras auxiliares, de protección, de encauzamiento, etc. Ver nota 4 en página 4

Los materiales necesarios para la construcción del puente pueden ser adquiridos en Villahermosa, Tab., que se ubica a 3 km del sitio del cruce.

OBSERVACIONES \* Al transitar el gasto de 1633 m<sup>3</sup>/s obtenido con el estudio hidrológico, se determinó la elevación de la superficie del agua de cota 8.14 m y velocidad de 2.1 m/s bajo el puente

## **NOTA 1**

El río Carrizal se forma a 50 km aguas arriba del cruce, con la bifurcación del río Samaria. No se determinó la cuenca de aportación hasta el sitio de cruce, debido a que la corriente que se estudia es una derivación del río Samaria que tiene una cuenca superior a los 33,000 km<sup>2</sup>.

## **NOTA 2**

El río Carrizal se desarrolla en la planicie costera del estado de Tabasco, presenta en su desarrollo la formación de meandros que dadas las características del terreno van incrementando su longitud al ser erosionadas las márgenes correspondientes a las curvas externas del río; (ver fotografía aérea). En particular el depósito de material en la margen derecha donde se localiza el cruce provocó con la creciente ocurrida a finales de 1999 corrientes secundarias, que contribuyeron a la falla del puente "La Pigua I". El objeto del estudio es el de proporcionar las recomendaciones de gasto y velocidad así como de la ubicación más conveniente del puente.

## **NOTA 3**

Aforos de gastos máximos anuales de 1976 a 1999, registrados en la Estación Hidrométrica "González", que se localiza sobre la misma corriente a 20 km aguas arriba del cruce; no se indica el dato sobre la cuenca que se afora por tratarse de una corriente que se forma de una bifurcación del río Samaria. El gasto máximo aforado es de 1,430 m<sup>3</sup>/s y ocurrió en octubre de 1999; los gastos que siguen en magnitud son de 789 y 650 m<sup>3</sup>/s en 1998 y en 1990.

## **NOTA 4**

Con la finalidad de que las líneas de corriente del río Carrizal tengan una trayectoria paralela a la margen, que evite la formación de corrientes secundarias y con ello vorticidad en el cauce, se recomienda remover el material de la margen derecha que se ha depositado en forma irregular; la zona de la margen derecha que deberá ser removida se muestra en la planta topográfica general y detallada. Cabe hacer notar que la Comisión Nacional del Agua, efectuó el proyecto para la protección de las márgenes.

## METODO DE GUMBEL

DATOS OBTENIDOS EN LA ESTACION HIDROMETRICA "GONZALEZ" SOBRE EL RIO "CARRIZAL" QUE SE UBICA A 20 KM AGUAS ARRIBA DEL SITIO EN ESTUDIO

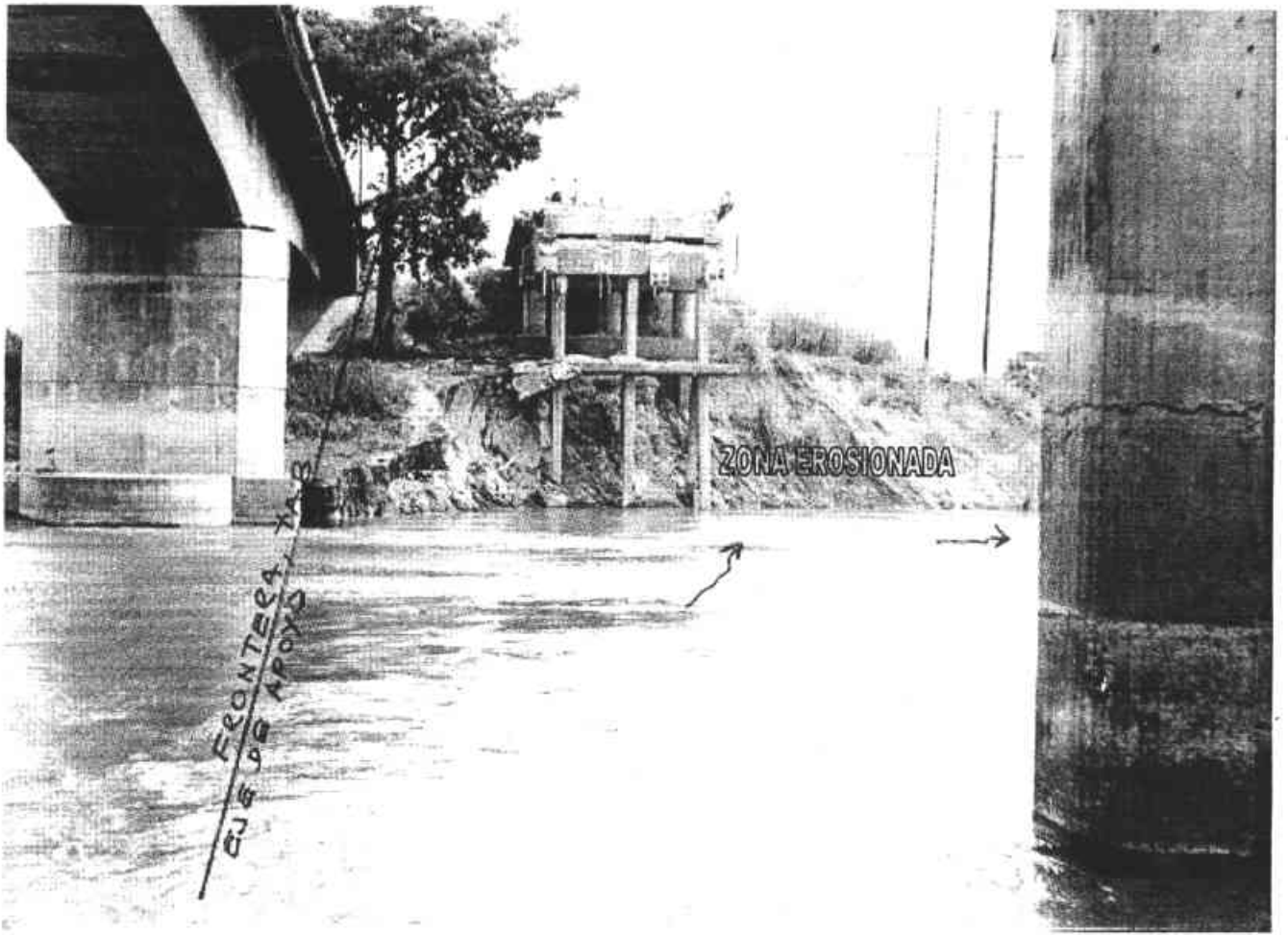
N	AÑOS DE OBSERVACION	GASTO MAXIMO	$Q^2 \times 10^{-4}$
1	1976	439.00	19.272
2	1977	590.00	34.810
3	1978	432.00	18.662
4	1979	522.00	27.248
5	1980	639.00	40.832
6	1981	379.00	14.364
7	1982	305.00	9.303
8	1983	283.00	8.009
9	1984	368.00	13.542
10	1985	389.00	15.132
11	1986	328.00	10.628
12	1987	344.00	11.834
13	1988	540.00	29.160
14	1989	468.00	21.902
15	1990	850.00	42.250
16	1991	343.00	11.765
17	1992	380.00	14.440
18	1993	521.00	27.144
19	1994	419.00	17.558
20	1995	615.00	37.823
21	1996	507.00	25.705
22	1997	586.00	34.340
23	1998	789.00	62.252
24	1999	1430.00	204.490
SUMAS		1264.00	752.463

$$Q = 1633 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para un  
Tr = 100 años



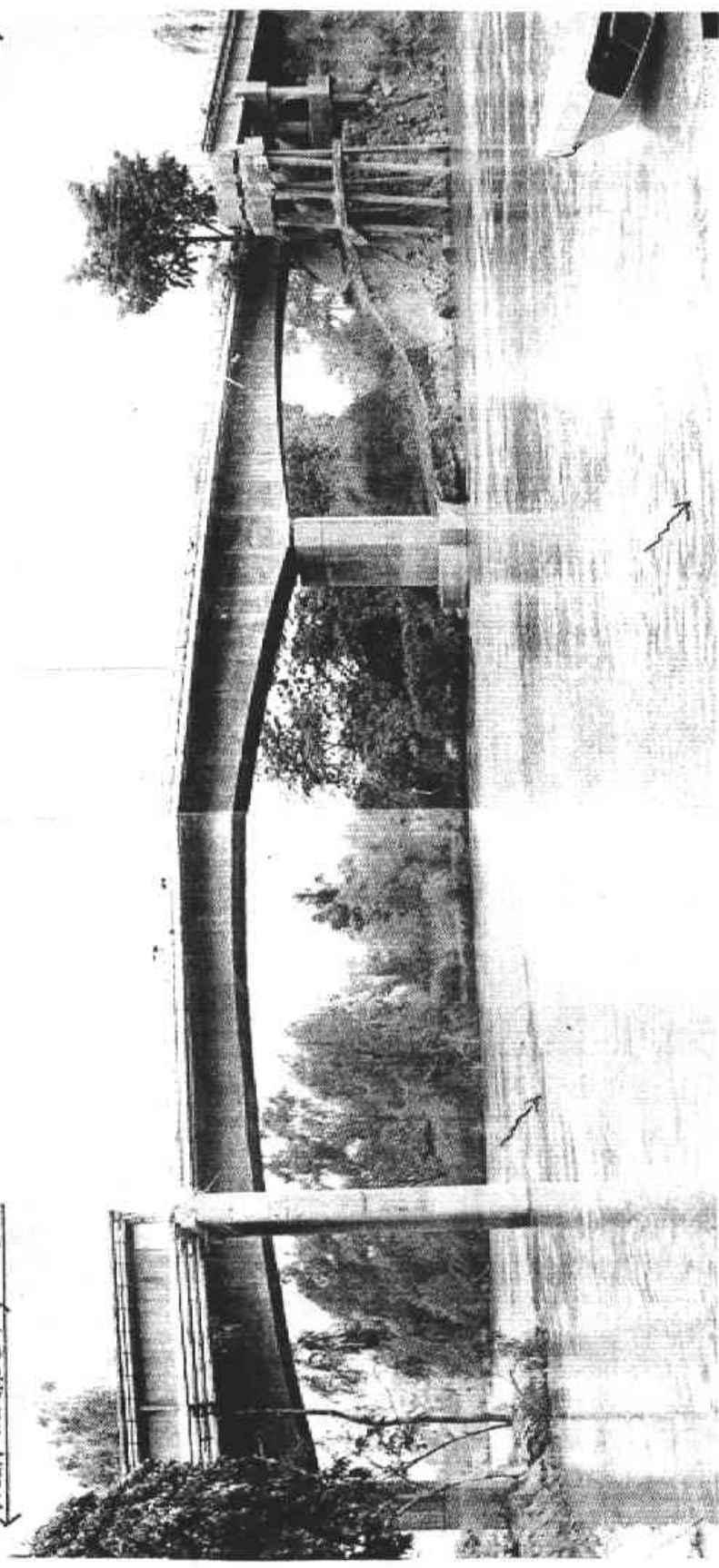
FOTOGRAFIA AEREA DE LA ZONA EN ESTUDIO



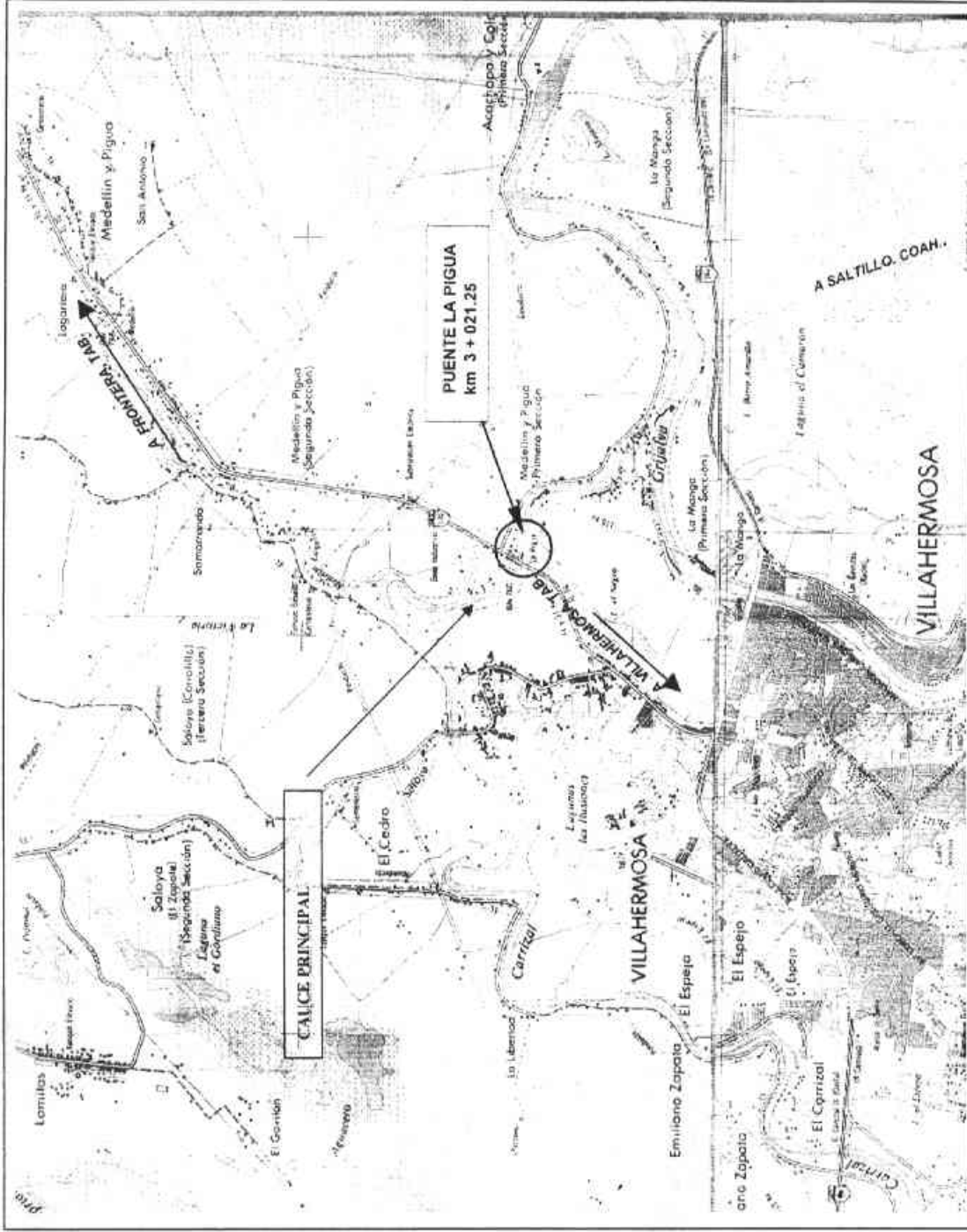
VISTA DEL PUENTE "LA FIGUA I" COLAPSADO

FRONTERA, TAB →

← VILLA HERMOOSA, TAB



VISTA GENERAL DEL PUENTE COLAPSADO "LA FIGUA I"



## Croquis de Localización

CRUCE  
 CARRETERA  
 TRAMO  
 KM  
 ORIGEN

PUENTE "LA PIGUA"  
 VILLAHERMOSA-FRONTERA)  
 VILLAHERMOSA-FRONTERA  
 3+021.25  
 VILLAHERMOSA, TAB.

CORDENADAS  
 GEOGRAFICAS

LATITUD: 25° 50'  
 LONGITUD: 101° 08'

CARTA TOPOGRAF.

O COIH ZAPOTLAN E 15881

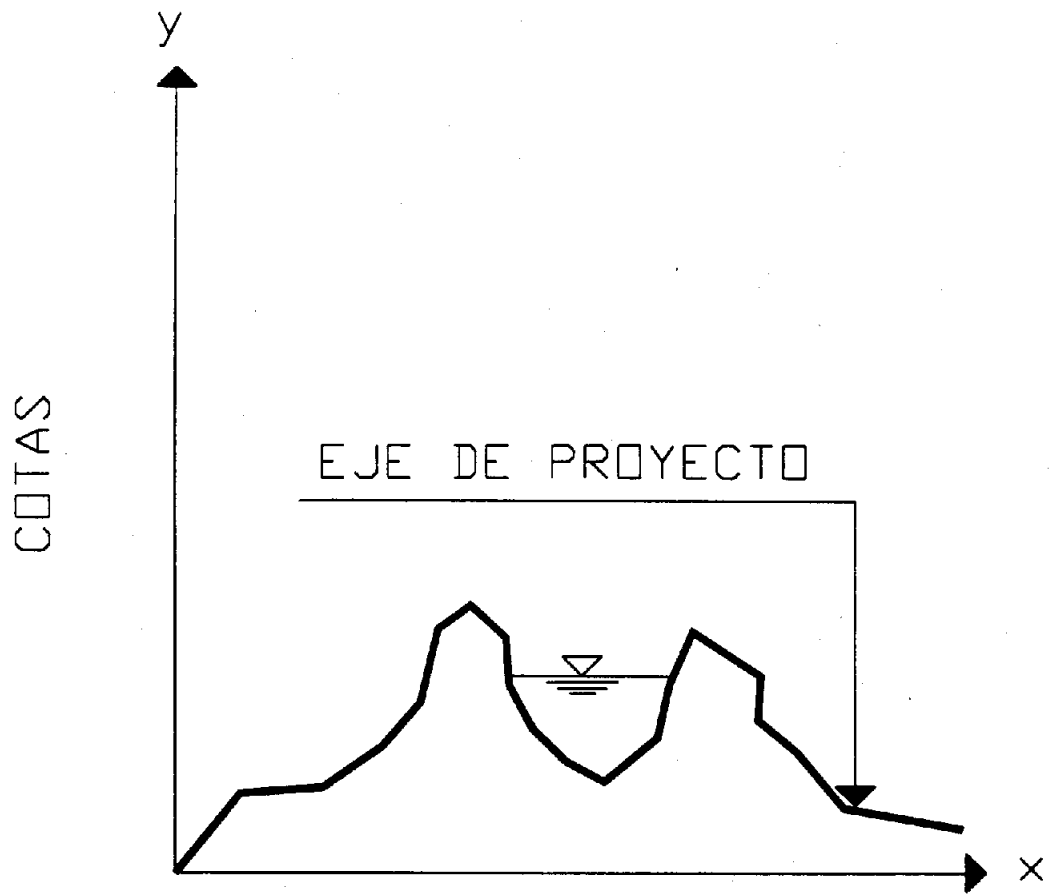
**FIGURAS**

**Y**

**TABLAS**



TRAZO DEL EJE DE PROYECTO



CADENAMIENTO DE UNA LINEA

FIGURA 1

# NIVELACION DEL EJE DE PROYECTO

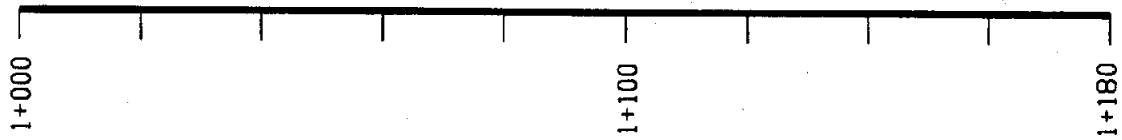
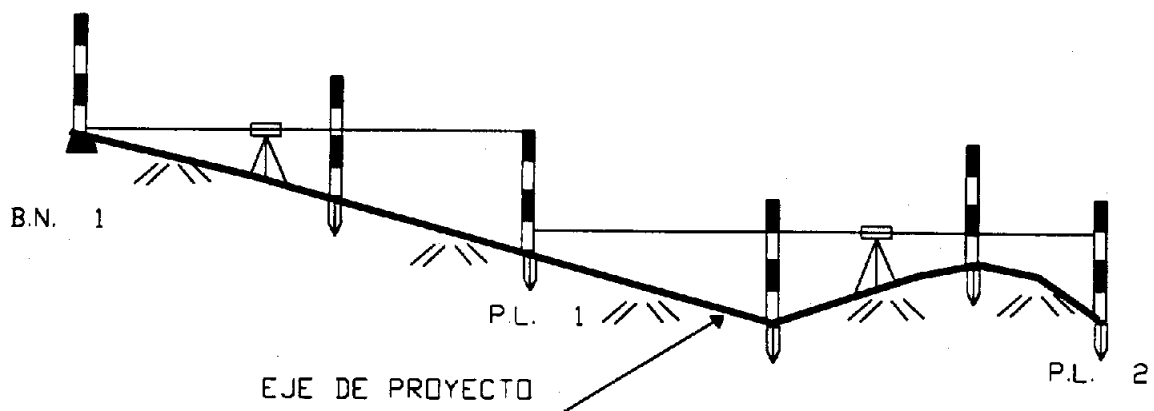


FIGURA 2

# CROQUIS DEL TRAZO DE LA POLIGONAL Y SECCIONES TOPOGRAFICAS

SECCIONES DE TOPOGRAFIA

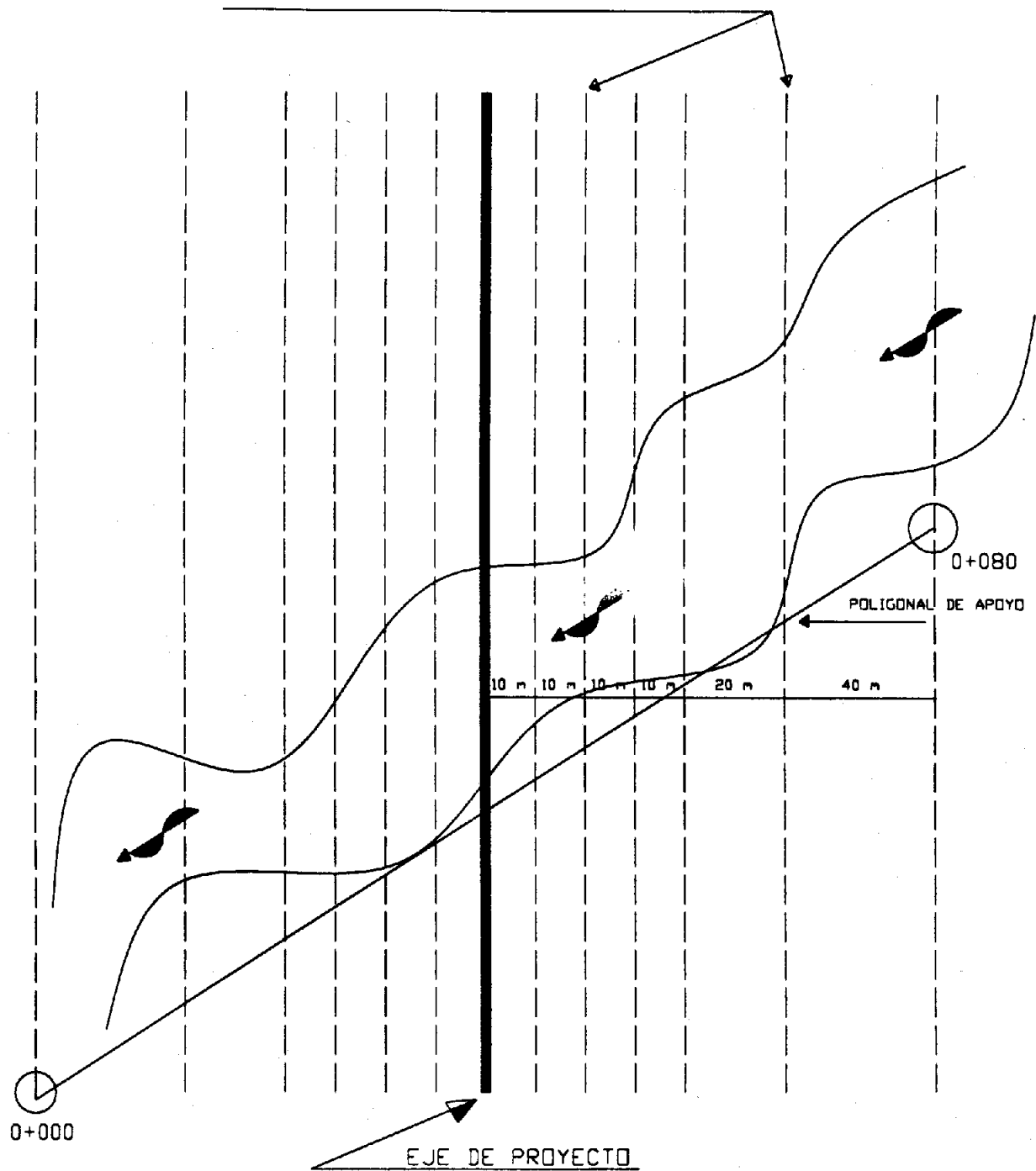
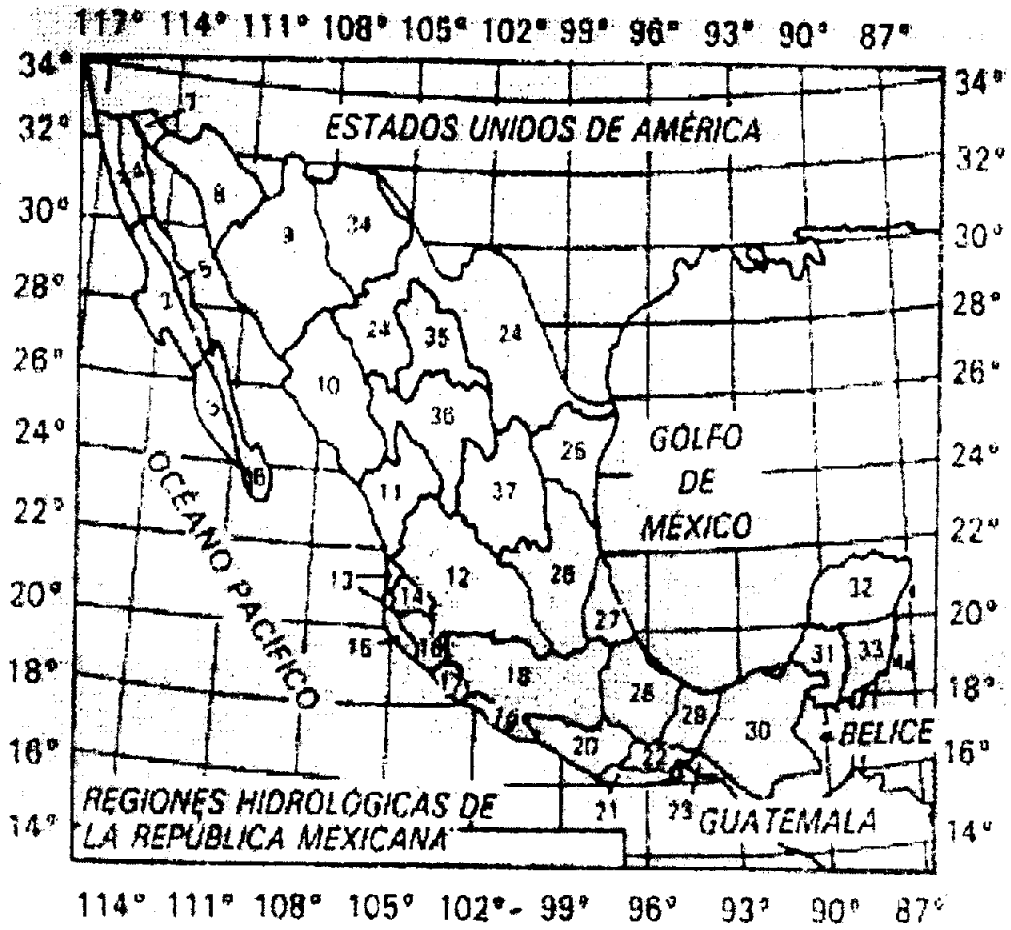


FIGURA 3

<i>Región</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cl</i>
No.		
1	Baja California noroeste (Ensenada)	980
2	Baja California centro (El Vizcaíno)	530
3	Baja California suroeste (Magdalena)	2190
4	Baja California noreste (Laguna Salada)	1050
5	Baja California centro este (Sta. Rosalía)	990
6	Baja California sureste (La Paz)	5120
7	Río Colorado	1050
8	Sonora norte	760
9	Sonora sur	2140
10	Sinaloa	3290
11	Presidio - San Pedro zona costera	4630
11	Presidio - San Pedro zona alta	470
12	Lerma - Santiago	1290
13	Huicicila	760
14	Ameca	600
15	Costa de Jalisco	5270
16	Armeria - Coahuayana	4940
17	Costa de Michoacán	2100
18	Balsas alto	1090
18	Balsas medio y bajo	4450
19	Costa Grande	2100
20	Costa Chica - Río Verde	3180
20	Alto Río Verde	390
21	Costa de Oaxaca (Pto. Ángel)	3000
22	Tehuantepec	2170
23	Costa de Chiapas	1190
24A	Alto Bravo - Conchos	1020
24B	Medio Bravo	5170
24C	Río Salado	1410
24D	Bajo Bravo	2130
25	San Fernando - Soto la Marina	2330
26A	Alto Pánuco	1390
26B	Bajo Pánuco	3010
26C	Valle de México	760
27	Tuxpan - Nautla	2450
28	Papaloapan	1750
29	Coatzacoalcos	1840
30	Grijalva - Usumacinta	2130
30	Alto Grijalva	610
31	Yucatán oeste (Campeche)	370
32	Yucatán norte (Yucatán)	sin datos
33	Yucatán este (Quintana Roo)	sin datos
34	Cuencas cerradas del norte (Casas Grandes)	230
35	Mapimi	
36	Nazas	1510
36	Aguañaval	380
37	El Salado	1310

FIGURA 4 . - Coeficientes de la envolvente de Lowry



**FIG. 5 DIVISIÓN DE LA REPUBLICA MEXICANA EN REGIONES HIDROLOGICAS**

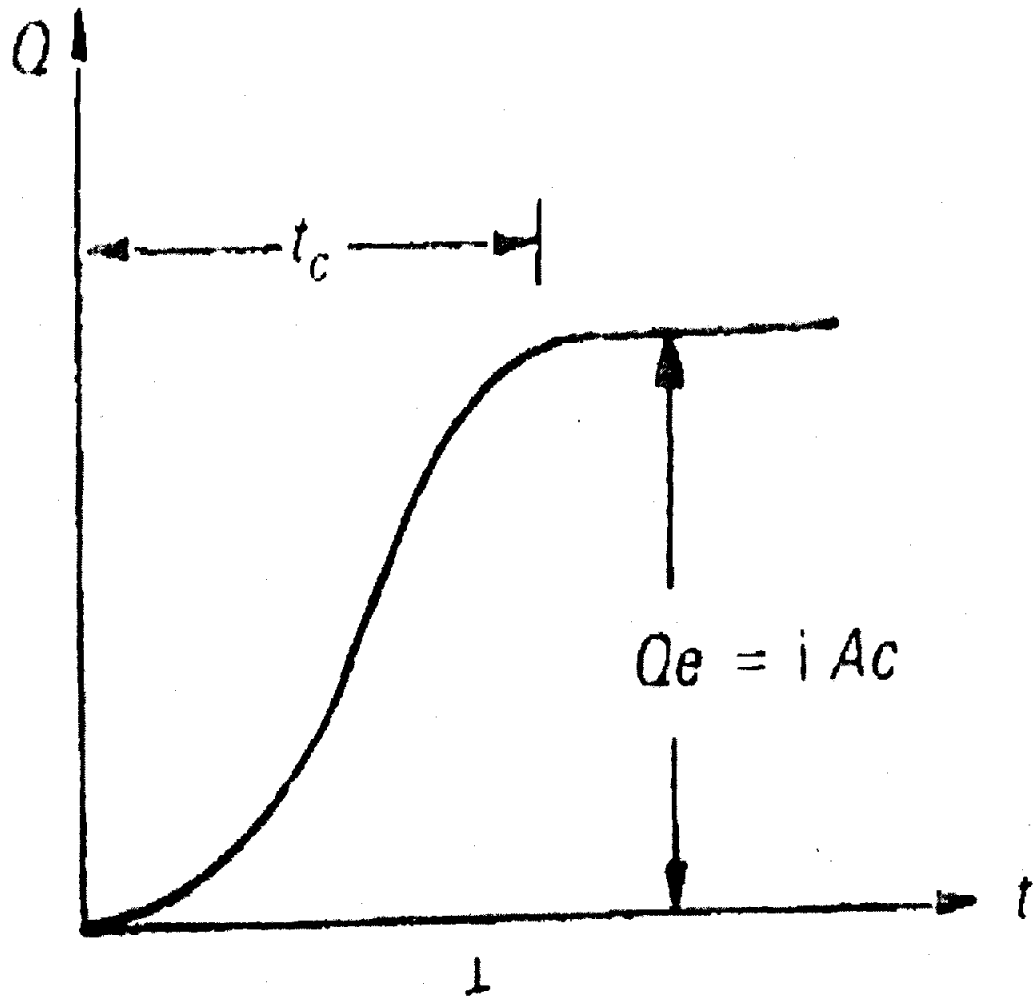


FIG. 6

CROQUIS DE LOCALIZACION Y AREA DE LA CUENCA

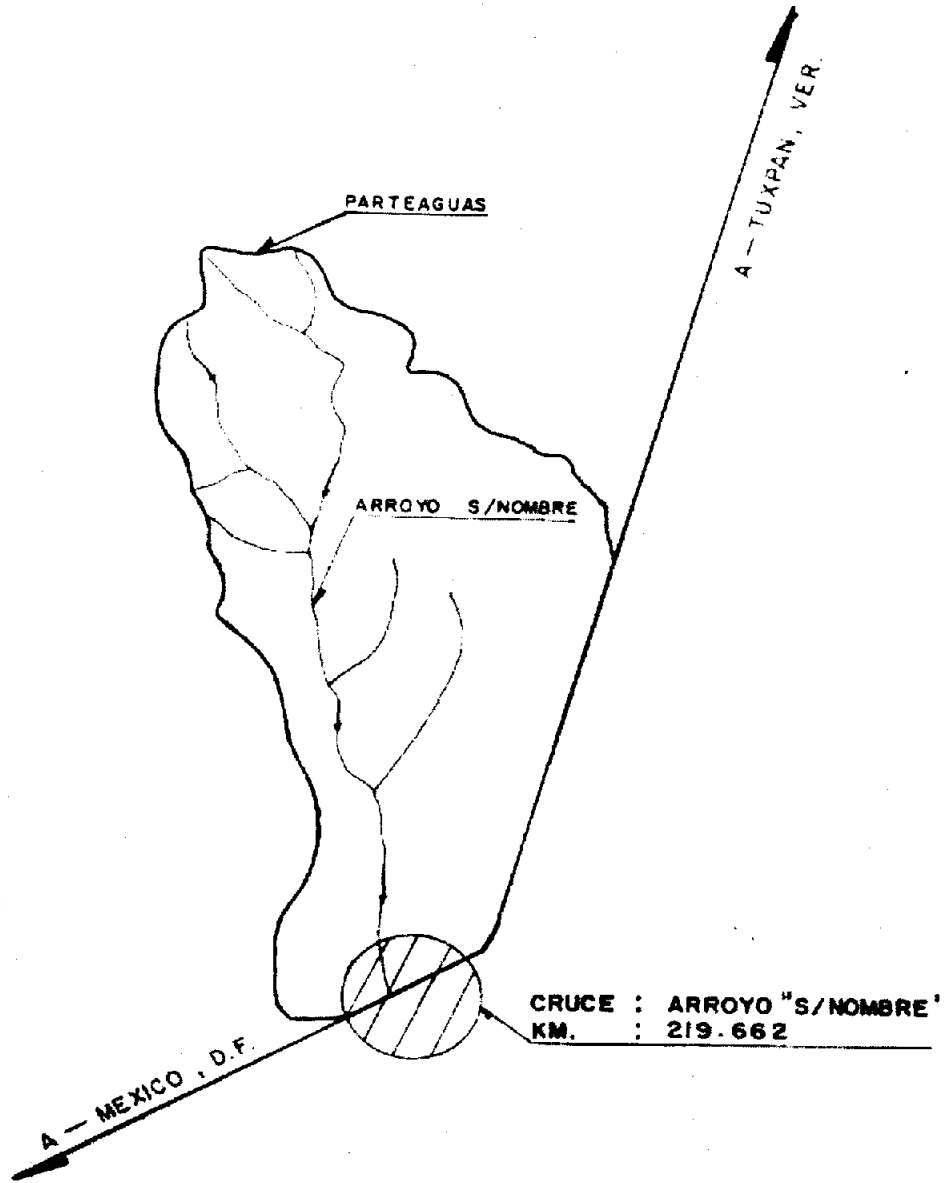


FIG. 7

## METODO RACIONAL

CRUCE: ARROYO SIN NOMBRE  
 CARRETERA: MEXICO-TUXPAN  
 KM: 219+662  
 ORIGEN: ENTRONQUE ECATEPEC, MEX.

CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	DATOS
ÁREA DE LA CUENCA (Km <sup>2</sup> )	A	17
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)	L	7
PENDIENTE DEL CAUCE (DECIMALES)	S	0.016
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (ADIMENSIONAL)	C	0.40
TIEMPO DE CONCENTRACION (Hrs)	tc	14.55

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \frac{0.662}{(0.016)^{0.385}}$$

Para  $T_r = \underline{50}$  años

$I = \underline{45}$  mm/hr

$$Q = 0.278 \text{ CIA} = 0.278 (0.40) (45) (17) \quad Q = \underline{85} \text{ M}^3/\text{S}$$

FIGURA 8



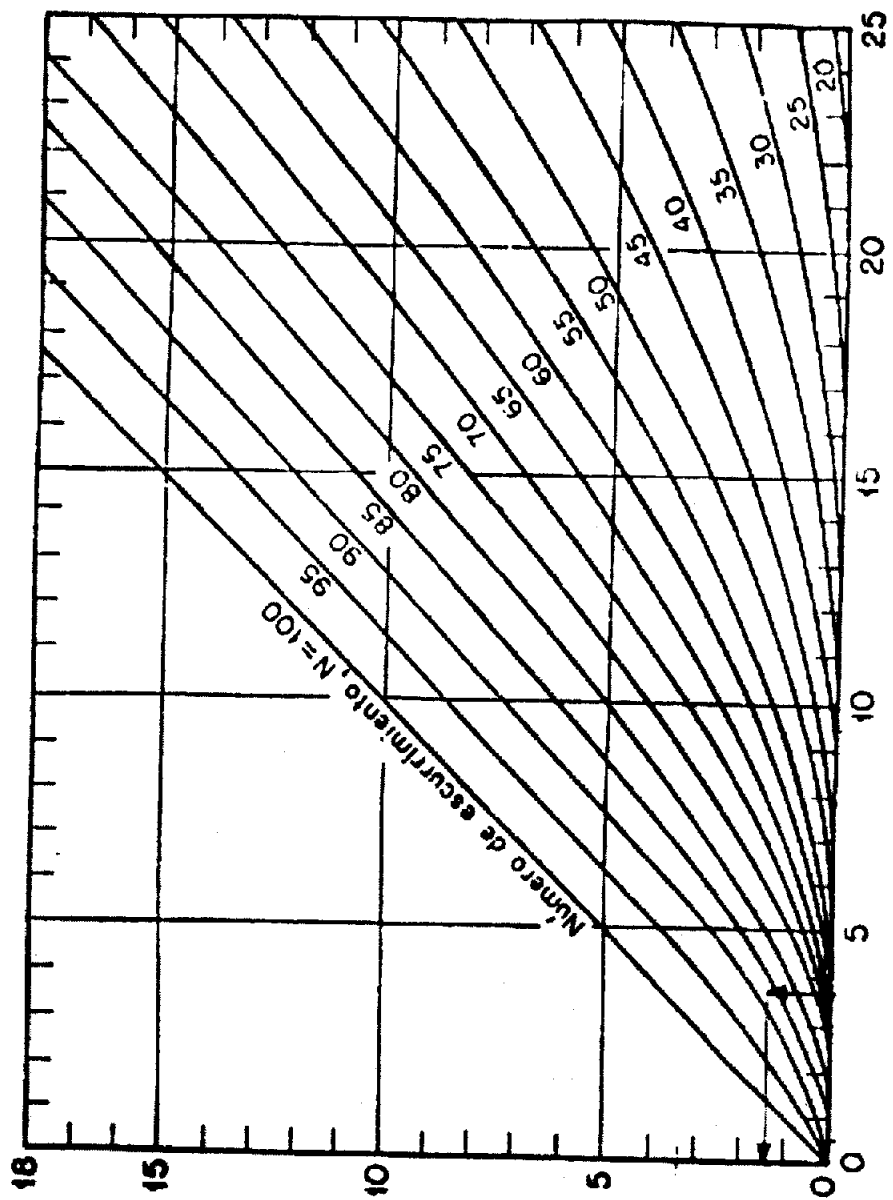


FIG. 9 Relación entre lluvia total y la lluvia en exceso para diferentes números de escurrimientos

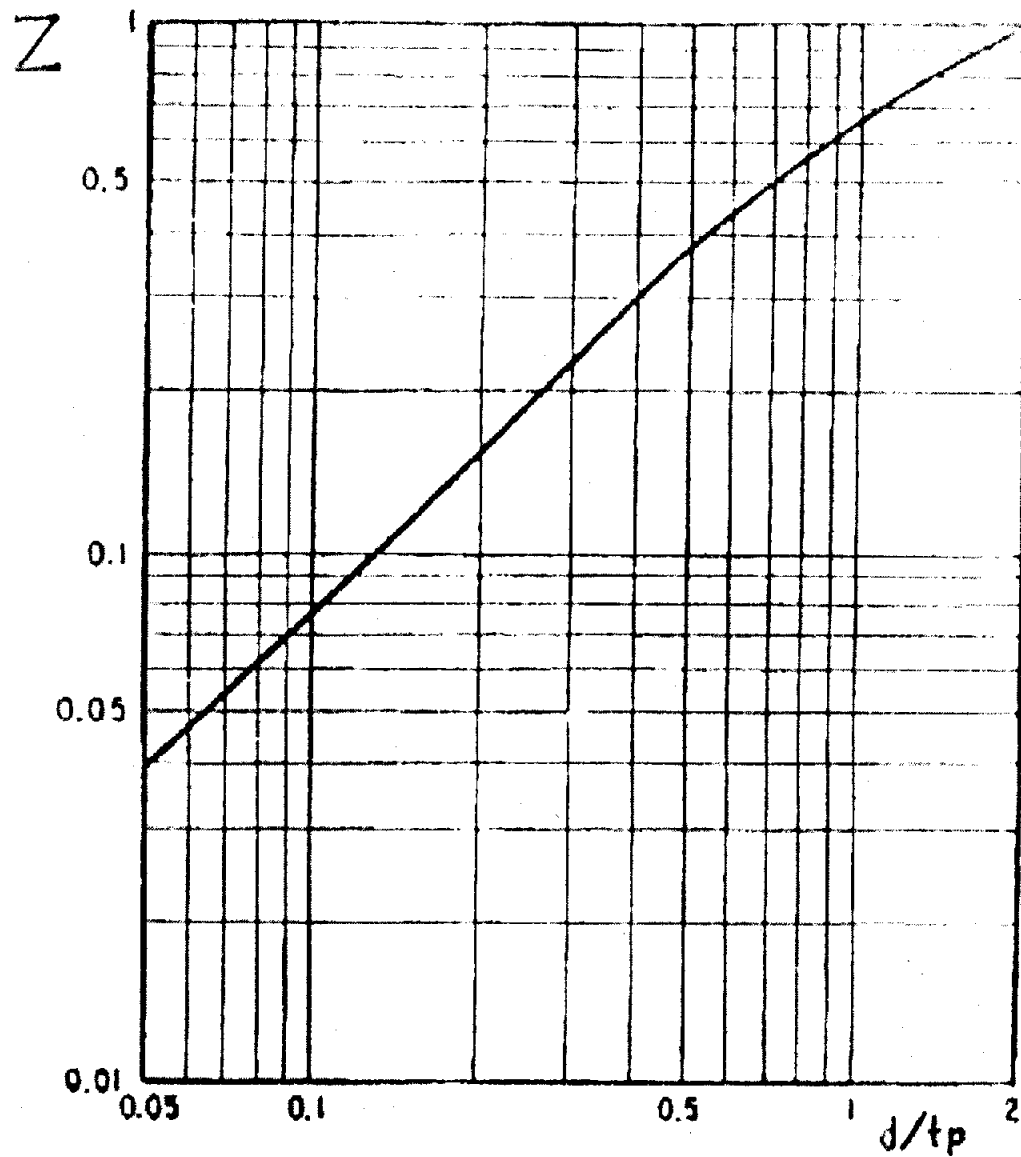


FIG. 10 RELACION ENTRE  $Z$  y  $d/tp$

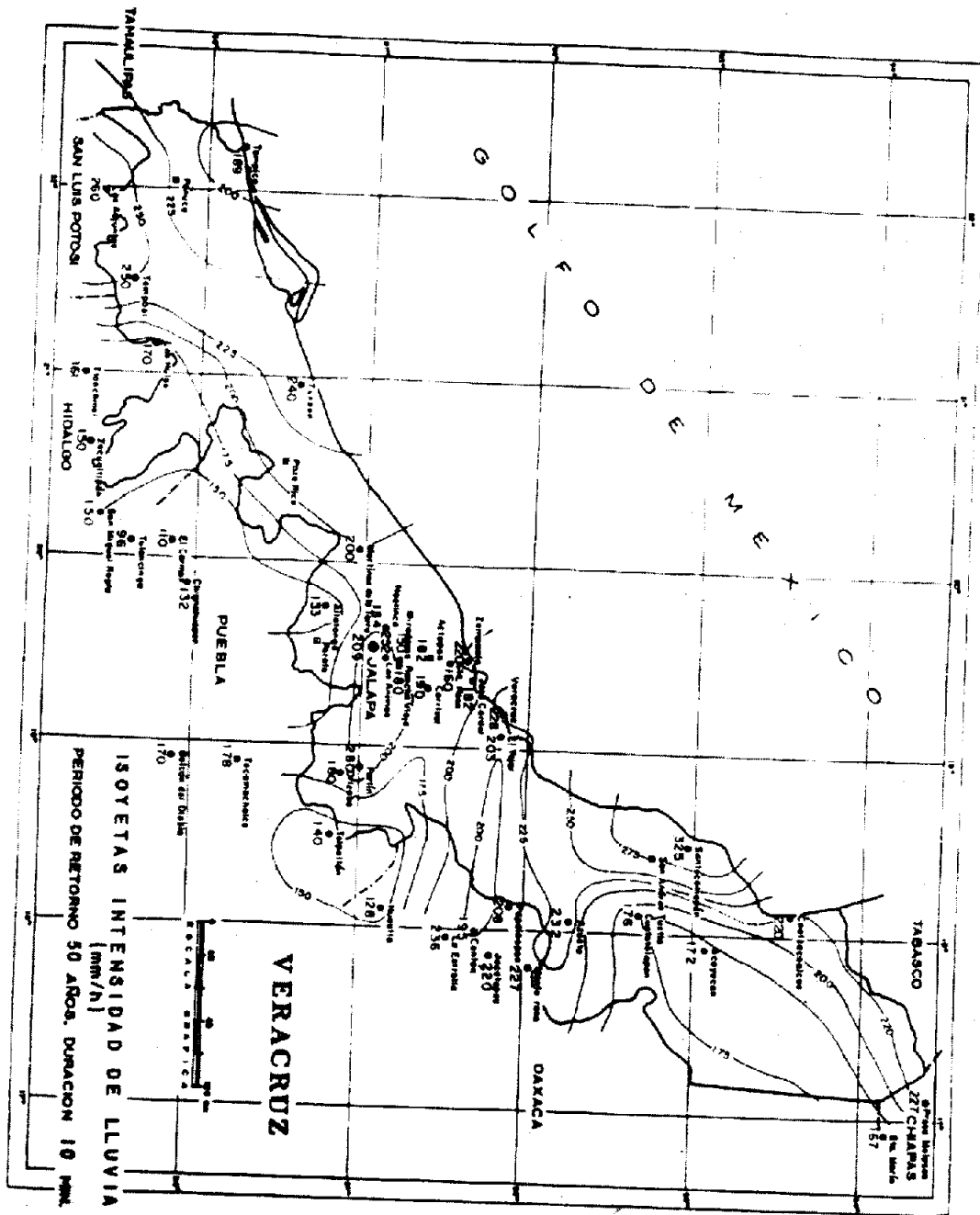


FIG. 11

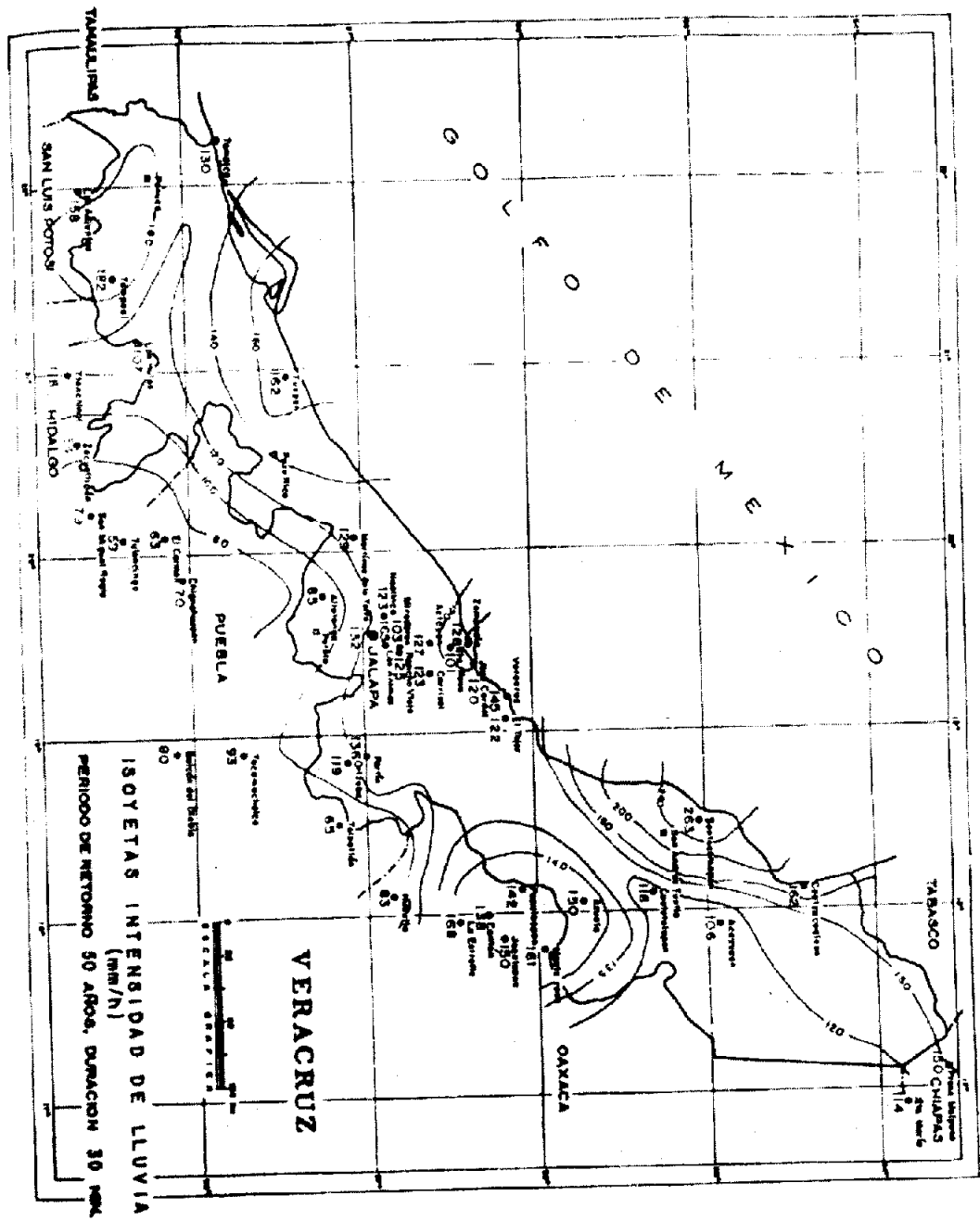


FIG. 12





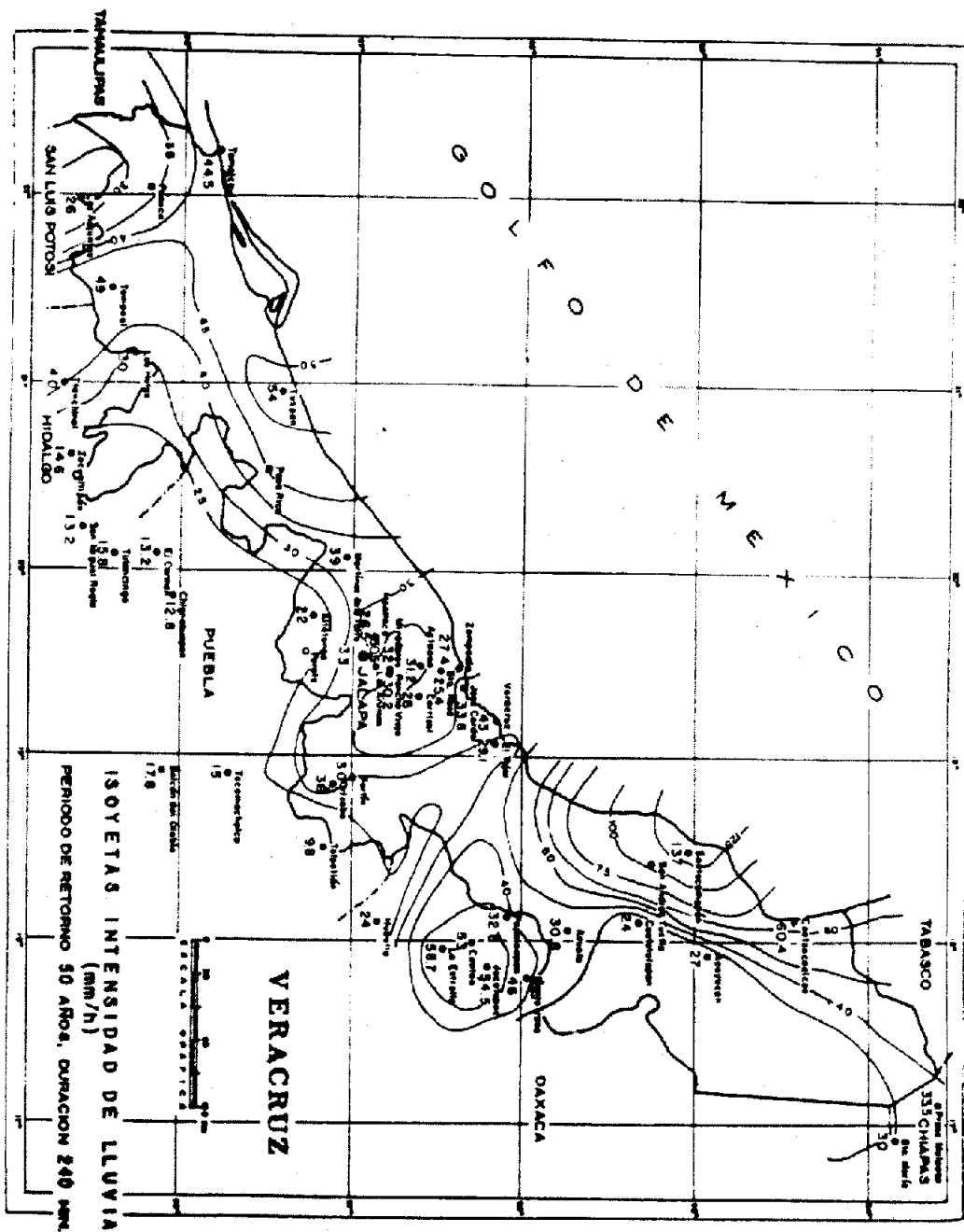


FIG. 15

## METODO DE VENTE CHOW

CRUCE: ARROYO SIN NOMBRE  
 CARRETERA: MEXICO-TUXPAN  
 KM: 219+662  
 ORIGEN: ENTRONQUE ECATEPEC, MEX.

CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	DATOS
AREA DE LA CUENCA Km2	A	17
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (m)	L	7000
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE (%)	S	0.0016
NUMERO DE ESCURRIMIRNTO DE CHOW (adimencional)	N	87
PRESIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ESTACION BASE (cm)	Pb	1
PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA CUENCA (cm)	P	1
FACTOR CLIMATICO $Y=2.78 P/Pb$	Y	2.78
TIEMPO DE RETRASO (hr) $tp=0.00505 (L/S 1/2) 0.64$	tp	11.45

Tr = 50 años

d(min)	d(hr)	I	Pb*	Peb*	X	d/tp	z	Q
10	0.167	20	3.34	1.04	6.25	0.014	0.12	3.55
30	0.5	14	7	3.88	7.75	0.04	0.04	14.67
60	1	10	10	6.55	6.55	0.09	0.07	21.67
120	2	7	14	13.16	6.58	0.17	0.14	43.54
240	4	4	16	12.2	3.05	0.35	0.27	38.91

d = Duración de lluvia

I = Intensidad de lluvia (cm/hr)

$Pb^* = Id$  (cm)

$Peb^* = ((Pb^* - (508/N) + 5.08)^2) / ((Pb^* + 2032/N) - 20.32)$  (cm)

X =  $Peb^*/d$  Factor de escurrimiento

Z = Factor de reducción de pico

si  $d/tp > 2$ ; Z=1

si  $d/tp < 0.6$ ; Z=0.6315(d/tp)<sup>0.6632</sup>

si  $d/tp < 0.6$ ; Z=0.7401(d/tp)<sup>0.9740</sup>

$$Q = A X Y Z \quad (M^3/S)$$

FIGURA 16



## VALORES DEL COEFICIENTE "C" DE LA FORMULA RACIONAL

TIPO DE AREA POR DRENAR	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C"
<b>Con césped</b>	
Suelo arenoso	0.05-0.10
Suelo grueso	0.13-0.17
	0.13-0.17
<b>Zonas comerciales</b>	
Areas céntricas	0.70-0.95
Areas vecinales	0.50-0.70
<b>Zonas residenciales</b>	
Areas familiares	0.30-0.50
Areas multifamiliares separadas	0.40-0.60
Areas multifamiliares juntas	0.60-0.75
Areas suburbanas	0.25-0.40
Areas de apartamentos habitacionales	0.50-0.70
<b>Zonas industriales</b>	
Claros	0.50-0.80
Zonas densamente construidas	0.60-0.90
Parques y cementerios	0.10-0.25
Areas de recreo	0.20-0.35
Patios de FF.CC.	0.20-0.40
Areas provisionales	0.10-0.30
<b>Calles</b>	
Asfáltadas	0.70-0.95
De concreto	0.80-0.95
Enladrillado	0.70-0.85
Calzada y banquetas	0.75-0.85
Azoteas y techados	0.75-0.95
<b>Zonas rurales</b>	
Campos cultivados	0.20-0.40
Zonas forestadas	0.10-0.30

TABLA 1

Uso de la tierra o cobertura. Descripción Según el autor.	Símbolos en carta de uso del suelo. (DETENAL)	Condición de la superficie.				Tipo de suelo			
		Descripción Según el Autor	Serán información DETENAL			A	B	C	D
			Espesura(1) %	Cobertura(2) %	Pendiente(3) %				
Bosques (sembrados y cultivados).	FB, FBG. AR?, ARSp, AtpP (4)	Ralo, baja transpiración Normal, transpiración media Espeso o alta transpirac.	30 - 50 50 - 70 70 - 90	- - -	45 36 25	66 60 55	77 73 70	83 79 71	
Bosques naturales	FB, FS, Pal, Mz, Qt, Ma, Ch	Muy ralo o baja transpirac. Ralo, baja transpiración Normal, transpiración media Espeso, alta transpiración Muy espeso, alta transpirac.	10 - 30 30 - 50 50 - 70 70 - 90 90 - 100	- - - -	15 68 49 39	44 79 69 61	54 86 79 74	61 89 84 80	
Pastizal	Pn, Pi	Pobre Normal Bueno	- - -	0 - 25 25 - 75 75 - 100	68 49 39	79 69 61	86 79 74	89 84 80	
Pastizal	Pc	Curvas de nivel, pobre Curvas de nivel, normal Curvas de nivel, bueno	- - -	0 - 25 25 - 75 75 - 100	47 25 6	67 59 35	81 75 70	88 83 79	
Potrero(permanente)	Sr, Mo, Mi, Ms (5)	Normal	-	-	30	58	71	78	
Cultivos de surco	Ar, Atp, Atn (6)	Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - -	0 - 2 2 - 6 6 ó más	70 67 64	80 77 73	87 83 79	90 87 82	
Cereales	Ar, Atp, Atn (6)	Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - -	0 - 2 2 - 6 6 ó más	64 62 60	76 74 71	84 82 79	88 85 82	
Leguminosas o po- trero de rotación	Ar, Atp, Atn (6)	Surcos rectos Surcos en curvas de nivel Terrazas	- - -	0 - 2 2 - 6 6 ó más	62 60 57	75 72 70	83 81 78	87 84 82	
Pescanos(sin cultivos)	Es, S.	Surcos rectos	-	-	77	86	91	94	
Caminos	-----	De tierra	-	-	72	82	87	89	
Superfíc. impermeab.	-----	Superficie dura	-	-	74	84	90	92	
-	Ca, Iz, No, Dc, Da, Pa, CR, Q.	-	-	-	100	100	100	100	
-	Po, Tu.	-	-	-	70	80	87	90	
-	Me, Mi, Ms (7)	-	-	-	64	76	84	88	
-	-	-	-	-	62	75	83	87	

TABLA 3

TABLA 4

N	$Y_N$	$\sigma_N$	N	$Y_N$	$\sigma_N$
8	.4843	.9043	49	.5481	1,1590
9	.4902	.9288	50	.54854	1.16066
10	.4952	.9497	51	.5489	1,1623
11	.4996	.9676	52	.5493	1.1638
12	.5035	.9833	53	.5497	1.1653
13	.5070	.9972	54	.5501	1.1667
14	.5100	1.0095	55	.5504	1.1681
15	.5128	1.02057	56	.5508	1.1696
16	.5157	1.0316	57	.5511	1.1708
17	.5181	1.0411	58	.5515	1.1721
18	.5202	1.0493	59	.5518	1.1734
19	.5220	1.0566	60	.55208	1.17467
20	.52355	1.06283	62	.5527	1.1770
21	.5252	1.0696	64	.5533	1.1793
22	.5268	1.0754	66	.5538	1.1814
23	.5283	1.0811	68	.5543	1.1834
24	.5296	1.0864	70	.55477	1.18536
25	.53086	1.09145	72	.5552	1.1873
26	.5320	1.0961	74	.5557	1.1890
27	.5332	1.1004	76	.5561	1.1906
28	.5343	1.1047	78	.5565	1.1923
29	.5353	1.1086	80	.55688	1.19382
30	.53622	1.11238	82	.5572	1,1953
31	.5371	1.1159	84	.5576	1.1967
32	.5380	1.1193	86	.5580	1.1980
33	.5388	1.1226	88	.5583	1.1994
34	.5396	1.1255	90	.55860	1.20073
35	.54034	1.12847	92	.5589	1.2020
36	.5410	1.1313	94	.5592	1.2032
37	.5418	1.1339	96	.5595	1.2044
38	.5424	1.1363	98	.5598	1.2055
39	.5430	1,1388	100	.56002	1.20649
40	.54362	1.14132	150	.56461	1.22534
41	.5442	1.1436	200	.56715	1.23598
42	.5448	1.1458	250	.56878	1.24292
43	.5453	1.1480	300	.56993	1.24786
44	.5458	1.1499	400	.57144	1.25450
45	.54630	1.15185	500	.57240	1.25880
46	.5468	1.1538	750	.57377	1.26506
47	.5473	1.1557	1000	.57450	1.26851
48	.5477	1.1574		.57722	1.28255

TABLA 5

1	2	3
Año de Observación	Gasto máximo anual ( $Q_i$ )	$Q_i^2 \times 10^{-4}$
1943	300	9
44	188	3.53
45	147	2.16
46	105	1.10
47	165	2.72
48	203	4.12
49	48.8	0.24
1950	36.2	0.13
51	56.3	0.32
52	56.8	0.32
53	45.2	0.20
54	47.9	0.23
55	141	1.99
56	98.2	0.96
57	53.6	0.29
58	246	6.05
59	156	2.43
1960	47.9	0.23
61	54.9	0.30
62	52	0.27
SUMA	2248.8	36.59

## VALORES DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
<b>CAUCES NATURALES</b>			
<b>A) CORRIENTES EN PLANICIES</b>			
1.- Limpios, rectos, sin deslaves ni remansos profundos	0.025	0.630	0.033
2.- Igual al anterior, pero más rocoso y con hierba	0.030	0.035	0.040
3.- Limpio, curvo, algunas irregularidades del fondo	0.033	0.040	0.045
4.- Igual al anterior, algo de hierba y roca	0.035	0.045	0.050
5.- Igual al anterior, para menor profundidad y secciones poco eficientes.	0.040	0.048	0.055
6.- igual que el 4, pero más rocas	0.045	0.050	0.060
7.- Tramos irregulares con hierba y estanques profundos	0.050	0.070	0.080
8.- Tramos con mucha hierba, estanques profundos, o cruzadas de avenidas con raíces y plantas subacuáticas	0.075	0.100	0.150
<b>B) CORRIENTES DE MONTAÑAS, SIN VEGETACION EN EL CAUCE, TALUDES MUY PENDIENTES, ARBOLES Y ARBUSTOS A LO LARGO DE LAS MARGENES QUE QUEDAN SUMERGIDAS EN LAS AVENIDAS.</b>			
1.- Fondo de: grado, boleado de algunos cantos rodados	0.030	0.040	0.050
2.- Fondo de: boleado y grandes rocas	0.040	0.050	0.070
<b>PLANICIES Y AVENIDAS</b>			
<b>A) PASTURA SIN ARBUSTOS</b>			
1.- Pasto bajo	0.025	0.030	0.035
2.- Pasto alto	0.030	0.035	0.050
<b>B) AREAS CULTIVADAS</b>			
1.- Sin cosecha	0.020	0.030	0.040
2.- Cosecha en tierra labrada y pradera	0.025	0.035	0.045
3.- Cosecha de campo	0.030	0.040	0.050
<b>C) ARBUSTOS</b>			
1.- Arbustos deseminados y mucha hierba	0.035	0.050	0.070
2.- Pocos arbustos y arboles, en invierno	0.035	0.050	0.070
3.- Pocos arbustos y arboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4.- Mediana a densa población de arbustos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5.- Mediana a densa población de arbustos, en verano	0.070	0.100	0.160
TIPO Y DESCRIPCION DEL CANAL	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
<b>D) ARBOLES</b>			
1.- Población densa de sauces, en verano, rectos	0.110	0.150	0.200
2.- Terrenos talados con troncos muertos	0.030	0.040	0.050
3.- Igual al anterior, pero con troncos retoñables	0.030	0.040	0.050
4.- Arboles de madera, con pocos arboles de sombra y avenidas debajo de las ramas	0.800	0.100	0.120
5.- Igual al anterior, pero las avenidas alcanzan a las ramas	0.1	0.12	0.160
<b>RIOS (ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN AVENIDAS 30 MTS.) LA n ES MENOR QUE LOS ARROYOS DE IGUAL DESCRIPCION, PORQUE LOS BORDES OFRECEN MENOR RESISTENCIA.</b>			
<b>A) SECCIONES REGULARES SIN CANTOS RODADOS, NI ARBUSTOS</b>			
	0.025		0.060
<b>B) SECCIONES RUGOSAS E IRREGULARES</b>			
	0.035		0.100

**TABLA 6**

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- Métodos Hidrológicos para Previsión de Escurrimientos  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

-Hidráulica de Canales Abiertos  
Ven Te Chow-

-Topografía (Apuntes de la ENEP Aragón)  
U.N.A.M

- Fundamentos de Hidrología de Superficie  
Francisco Javier Aparicio Mijares

-Análisis Estadístico y probabilístico de Datos Hidrológicos (Capítulo 8)  
Rolando Springall.

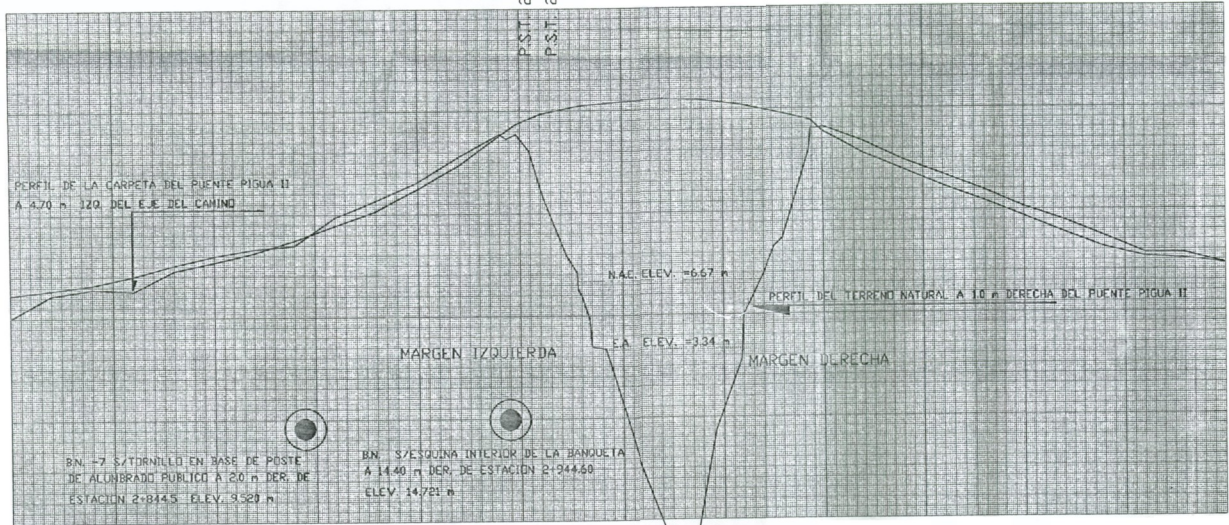
-Autocad versión 14  
Elia Yathie Matsumoto

2+700

A VILLAHERMOSA, TAB.

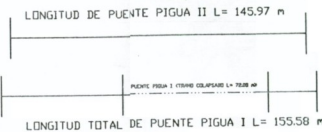
3+300

A FRONTERA, TAB.



B.N. - 7 S/TORNILLO EN BASE DE POSTE DE ALUMBRADO PUBLICO A 2.0 m DER. DE ESTACION 2+844.5 ELEV. 3.320 m

B.N. S/ESQUINA INTERIOR DE LA BANQUETA A 14.40 m DER. DE ESTACION 2+944.60 ELEV. 14.721 m



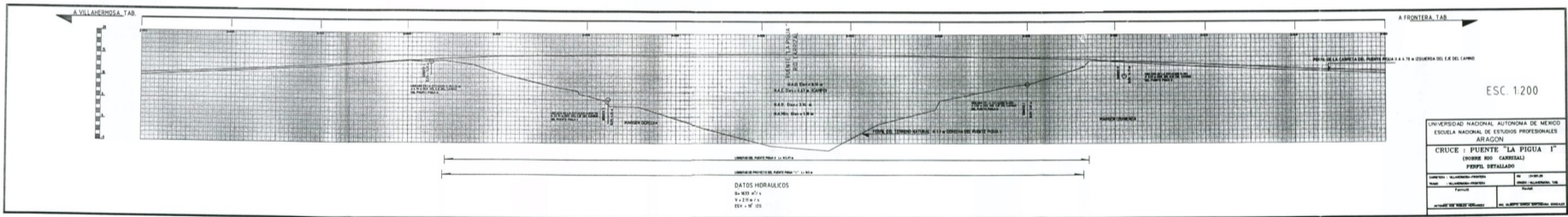
ESTACION	CARPETA	T.A.
2+700	3.00	6.13
2+720	6.10	6.36
2+740	6.40	6.60
2+760	6.89	7.03
2+780	7.29	7.25
2+800	7.69	8.00
2+820	8.13	8.32
2+840	8.75	8.49
2+860	9.47	9.88
2+880	10.17	10.68
2+900	11.23	11.56
2+920	12.26	12.79
2+940	13.79	13.86
2+960	14.85	11.22
2+980	15.26	5.99
3+000	15.42	0.60
3+020	15.54	-4.98
3+040	15.46	-4.0
3+060	15.21	4.56
3+080	14.78	8.71
3+100	13.89	14.13
3+120	12.80	13.38
3+140	12.00	12.46
3+160	11.20	11.75
3+180	10.43	10.96
3+200	9.68	10.14
3+220	8.90	9.49
3+240	8.15	8.70
3+260	7.48	7.97
3+280	7.26	7.84
3+300	7.22	7.23

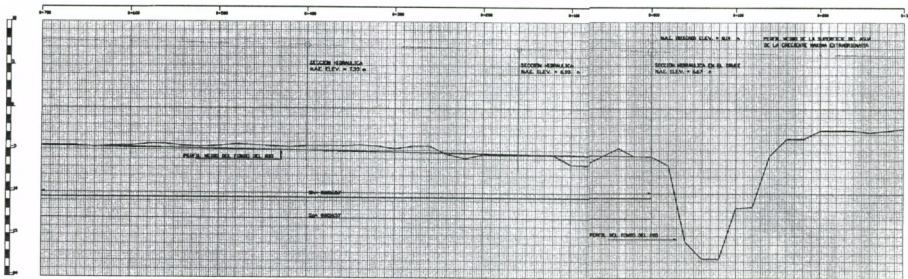
ESC. HOR. 1:1000  
VER. 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
**ARAGON**  
 CRUCE : PUENTE "LA FIGUA I"  
 (SOBRE RIO LA FIGUA O CARRIZAL)  
 PERFIL DE CONSTRUCCION

CARRICERA : VILLAHERMOSA-FRONTERA	KM 13+079
TRAMO : VILLAHERMOSA-FRONTERA	ORIGEN : VILLAHERMOSA TABASCO
Formas	Formas
ANIBERTO JIMenez RODRIGUEZ	ING. ORIBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ







Sh = 0.001657      Ch = 0.0407

**SECCION HIDRAULICA A 400 m AGUAS ARRIBA DEL CRUCE**

TRAMO	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	r (m)	r <sup>4/3</sup>	n	V (M/S)	Q (M <sup>3</sup> /S)
1	41.68	53.99	1.141	1.592	0.160	0.278	11.70
2	370.24	162.73	4.268	24.72	0.070	1.954	1397.00
3	195.17	103.16	1.772	1.454	0.160	0.272	73.00
<b>TOTAL</b>	<b>595.83</b>	<b>262.68</b>					<b>1194.00</b>

Sh = 0.001657      Ch = 0.0407

**SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE**

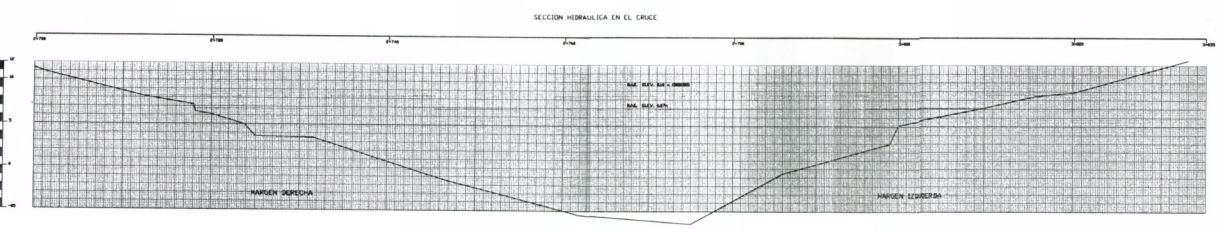
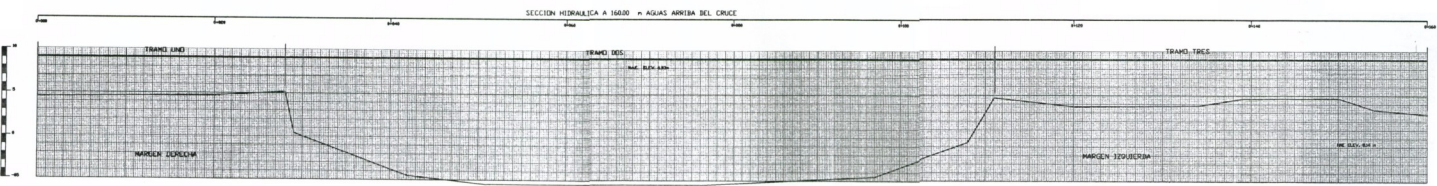
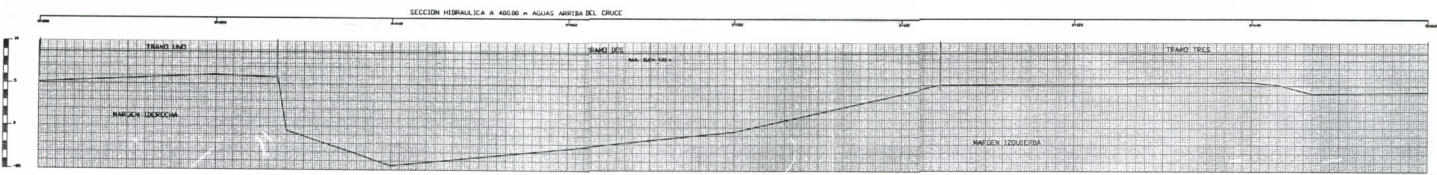
TRAMO	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	r (m)	r <sup>4/3</sup>	n	V (M/S)	Q (M <sup>3</sup> /S)
<b>TOTAL</b>	<b>638.41</b>	<b>96.48</b>	<b>6.54</b>	<b>3.497</b>	<b>0.070</b>	<b>2.03</b>	<b>1292.00</b>

**SECCION HIDRAULICA A 160.00 m AGUAS ARRIBA DEL CRUCE**

TRAMO	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	r (m)	r <sup>4/3</sup>	n	V (M/S)	Q (M <sup>3</sup> /S)
1	41.46	56.70	0.829	0.582	0.160	0.225	10.00
2	879.20	174.75	4.979	24.96	0.070	1.956	1397.00
3	38.47	98.15	0.292	0.205	0.160	0.136	5.00
<b>TOTAL</b>	<b>1149.79</b>	<b>329.91</b>					<b>1490.00</b>

**SECCION HIDRAULICA EN EL CRUCE O.N.A.E. DISEÑO**

TRAMO	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	r (m)	r <sup>4/3</sup>	n	V (M/S)	Q (M <sup>3</sup> /S)
<b>TOTAL</b>	<b>749.48</b>	<b>11.06</b>	<b>6.93</b>	<b>3.63</b>	<b>0.070</b>	<b>2.01</b>	<b>1423.00</b>



PROBANTE: [Signature]  
ESC. 1:200

SEC. 1000  
ESC. 1:200

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**ARAGON**

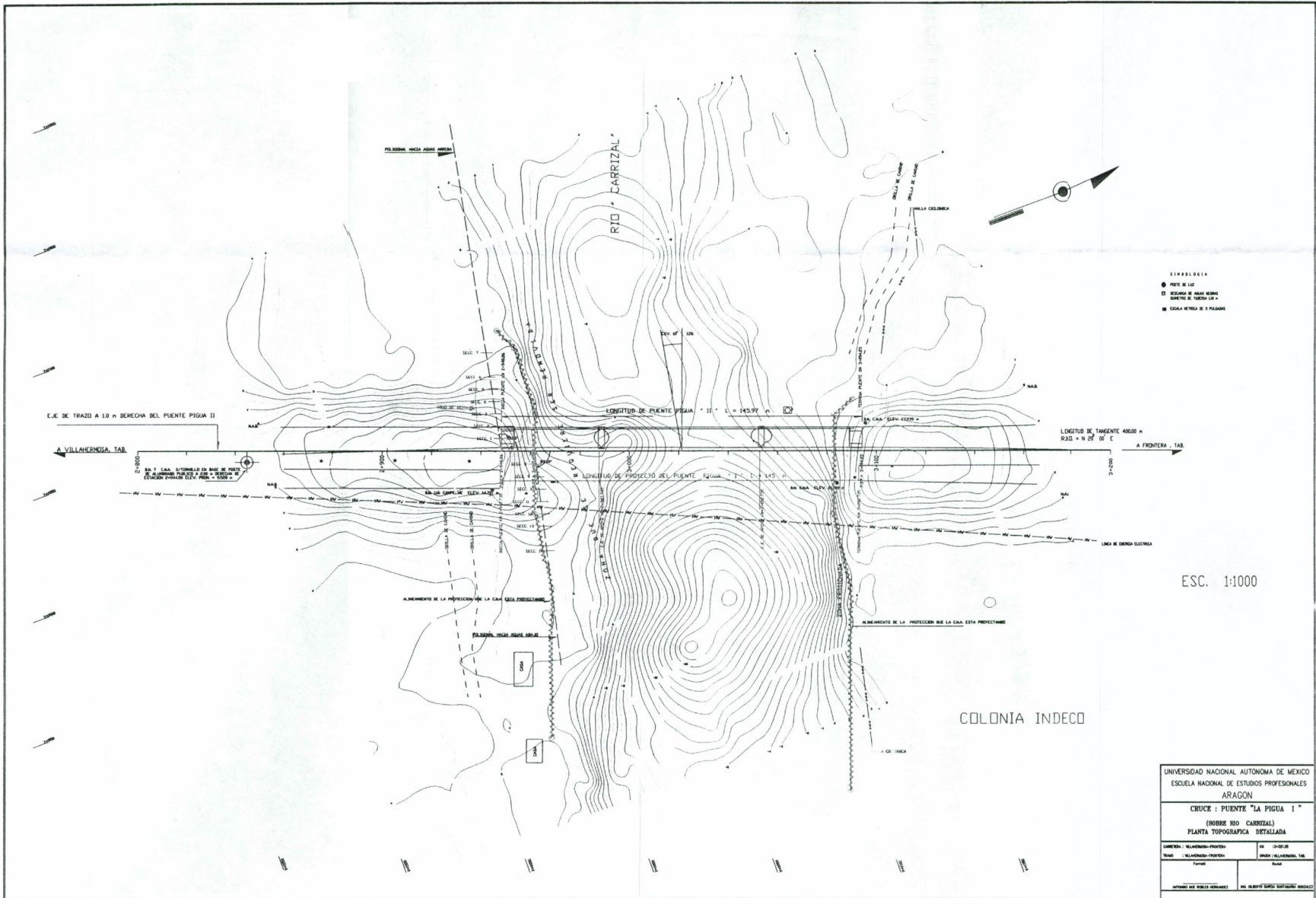
**CRUCE : PUENTE "LA FIGUA I"**  
(SOBRE RIO CARRIZAL)

**PLANO DE PENDIENTE Y SECCIONES HIDRAULICAS**

CARRETERA : VILLAHERMOSA-FRONTERA      KM (34)01.35  
TRAMO : VILLAHERMOSA-FRONTERA      OPUS : VILLAHERMOSA TAB.

Formulad: [Signature]      Revisó: [Signature]

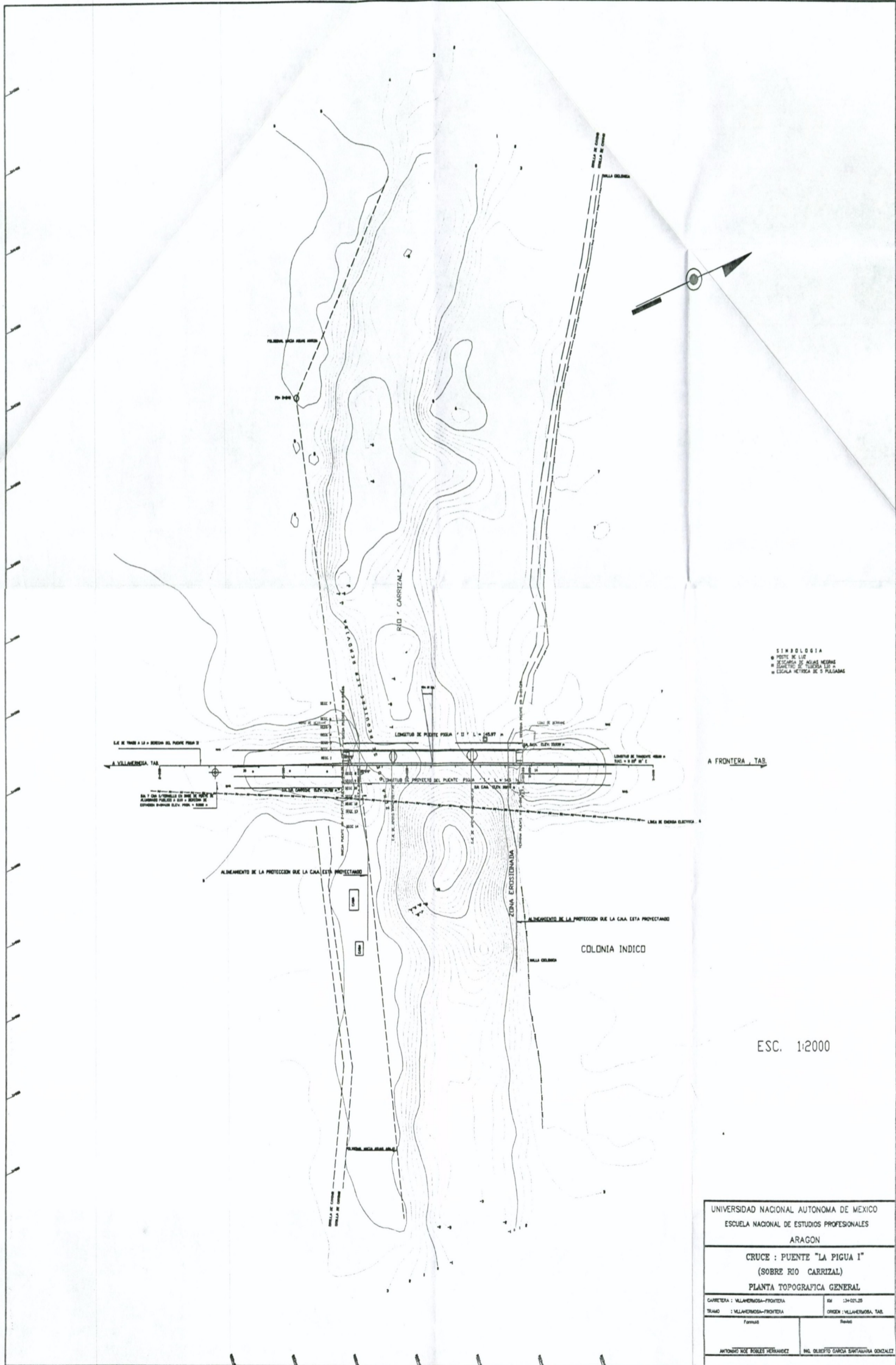
ANTONIO HERRERA HERNANDEZ      ING. ROBERTO GARCIA SERRANOS GONZALEZ



- LINEA DE COTA  
 ● PUNTO DE LÍNEA  
 □ ESTACION DE ANILLO SOBRE SECCIÓN DE TERRENO L.P.  
 ■ ESCALA METRICA DE 1 PASADIZO

ESC. 1:1000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES	
ARAGÓN	
CRUCE: PUENTE "LA FIGUA I"	
(SOBRE RÍO CARRIZAL)	
PLANTA TOPOGRÁFICA DETALLADA	
CARRERA: VILLAHERMOSA-FRONTERA	Nº: 12-02-10
MADE: VILLAHERMOSA-FRONTERA	PROYECTO: VILLAHERMOSA, TAB.
Forma	Revisión
ELABORADO POR: [Nombre]	REVISADO POR: [Nombre]



SIMBOLOGIA  
 ● PUNTO DE LIZ  
 ○ PISCINA DE AGUAS NEGRAS  
 ■ CUARTO DE TUBERIA LIO  
 □ ESCALA METRICA DE 0 PALMARES

A FRONTERA, TAB.

ESC. 1:2000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES	
ARAGON	
CRUCE : PUENTE "LA PIGUA I" (SOBRE RIO CARRIZAL)	
PLANTA TOPOGRAFICA GENERAL	
CARRETERA : VILLAHERROSA-FRONTERA	EM 134-02125
TRAMO : VILLAHERROSA-FRONTERA	ORDEN : VILLAHERROSA, TAB.
Formado	Revisado
ANTONIO NOE POBLES HERRANDEZ	ING. GILBERTO GARCIA SANTILLANA GONZALEZ