

01162



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPFI

**"BORDOS DE PROTECCIÓN"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA (HIDRÁULICA)**

P R E S E N T A :

**JOSUÉ FUENTES PEÑA**

DIRECTOR: M.I. VICTOR FRANCO



MEXICO, D. F.

MAYO 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## DEDICATORIA

A:

*DIOS POR LA VIDA, GUÍA Y AYUDA QUE ME HA DADO (PROVERBIOS 9 : 10).*

*LA MEMORIA DE MI PADRE JONATHÁN \*, A MI MADRE MARÍA TERESA Y A MI HERMANO GABRIEL POR SU AMOR, COMPRENSIÓN, APOYO, AYUDA Y DIRECCIÓN EN MI FORMACIÓN.*

*MIS ABUELOS, TÍOS Y AMIGOS \*\*, POR SU RECUERDO Y TODO LO QUE COMPARTIERON CONMIGO DURANTE EL TRAYECTO DE SUS VIDAS.*

*MIS DEMÁS FAMILIARES: TÍOS, PRIMOS Y SOBRINOS; POR TODAS LAS EXPERIENCIAS QUE HEMOS COMPARTIDO.*

*MIS AMIGOS, PROFESORES Y COMPAÑEROS.*

*LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, Y A LOS DOCTORES Y MAESTROS EN INGENIERÍA POR SU APOYO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.*

*A TODOS Y A CADA UNO LES DOY LAS GRACIAS.*

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

NOMBRE:

JOSUE FUENTES PEÑA

FECHA:

17 JUNIO 2004

FIRMA:

*Josue Fuentes Peña*

\* FINADO.

\* FINADOS.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ANTECEDENTES	3
I) PROPÓSITO	4
II) MECÁNICA DE SUELOS Y TIPOS DE MATERIALES	5
III) FILTRACIÓN Y REDES DE FLUJO	36
IV) ESTABILIDAD DE TALUDES	42
V) DISEÑO DE LOS BORDOS	55
VI) EJEMPLO DE APLICACIÓN	87
VII) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	135

FIGURAS

- II.1 Representación Esquemática de las Fases que constituyen un Elemento de Suelo
- II.2 Suelo Granular ideal de partículas Esféricas. a)Arreglo cúbico, b)Arreglo rómbico
- II.3 Curvas de Graduación Típicas
- II.4 Estados de Consistencia de un Suelo Arcilloso
- II.5 Carta de Plasticidad para el Sistema Británico de Clasificación (BS 5930:1981)
- III.1 Experimento de Darcy
- IV.1 Talud Infinito
- IV.2 Talud Finito

## BORDOS DE PROTECCIÓN

IV.3 Cambios de la presión intersticial y del factor de seguridad durante y después de la construcción de un talud en corte en arcilla (Bishop y Bjerrum, 1960)

IV.4 Falla potencial de un talud. Fuerzas sobre las tajadas verticales de un suelo en las zonas Activa y Pasiva

IV.5 Estabilidad a corto plazo de taludes en arcilla saturadas. Gráficos de estabilidad para la condición de  $\varphi_u = 0$  (Taylor, 1948)

IV.6 Cambios en el esfuerzo cortante, la presión intersticial y el factor de seguridad durante y después de la construcción de un terraplén (Bishop y Bjerrum, 1960)

IV.7 Cambios de esfuerzo cortante, presión intersticial y factor de seguridad durante y después de la construcción de una presa de tierra (Lambe y Whitman, 1979; Bishop y Bjerrum, 1960)

V.1 Flujo según la duración del  $Q_{m\acute{a}x}$

V.2 Sección del río de acuerdo con la separación de los bordos

V.3 Sección compuesta

V.4 Aplicación de la ecuación de la Energía

V.5 Volumen de control (corte longitudinal)

V.6 Sección transversal

V.7 Fuerza por cambio de ancho

V.8 Sección transversal de un bordo, con altura de agua mayor de 3.0 m, según Linsley y Franzini (1979)

V.9 Sección transversal de un bordo con altura menor de 3.0 m

VI.1 Mapa con principales ríos

VI.2 Curva de Gastos – Período de Retorno

VI.3 Hidrograma adimensional del USSCS Cuenca del arroyo Juquiaquie

VI.4 Hidrogramas Cuenca propia del río Tecpan

VI.5 Hidrogramas (Simultaneidad) Cuenca del río Tecpan (incluye cuenca del arroyo Juquiaquie)

## BORDOS DE PROTECCIÓN

VI.6 Localización de bancos

VI.7 Localización de sondeos

VI.8 Análisis de Estabilidad de Taludes Alternativa 1

VI.9 Análisis de Estabilidad de Taludes Alternativa 2

VI.10 Proyecto río Tecpan, Gro., Condiciones Naturales para  $Q = 200 m^3/s$

VI.11 Proyecto río Tecpan, Gro., Condiciones Naturales para  $Q = 1000 m^3/s$

VI.12 Proyecto río Tecpan, Gro., Alt. # 1, B = 50 m, para  $Q = 4707 m^3/s$

VI.13 Proyecto río Tecpan, Gro., Alt. # 2, B = 60 m, para  $Q = 4707 m^3/s$

VI.14 Secciones río Tecpan del Km 0+600.00 al Km 8+000.00

VI.15 Secciones río Tecpan del Km 8+500.00 al Km 10+000.00

VI.16 Perfil río Tecpan

VI.17 Curvas de Gastos río Tecpan

### TABLAS

II.1 Propiedades típicas de algunos Suelos Naturales

II.2 Rango de tamices utilizado comúnmente para el análisis del tamaño de las partículas

II.3 Sistema Británico de Clasificación (BS 5930: 1981)

II.4 Sistema de Clasificación de Suelos (ASTMD – 2487 – 69)

V.1 Período de Retorno asociados con diversos grados de riesgo y vida de diseño esperada

V.2 Período de Retorno para avenidas de diseño de diferentes obras de protección

V.3 Valores de n para cauces, elaborado con datos de Chow (1959)

VI.1 Cuadro de construcción de la poligonal de apoyo del río Tecpan

VI.2 Cuadro de construcción de la poligonal de apoyo del río Tecpan (tramo adicional)

VI.3 Cálculo de la longitud de las secciones del río Tecpan

- VI.4 Cálculo de la longitud de las secciones en el tramo adicional del río Tecpan
- VI.5 Análisis probabilístico Método Normal
- VI.6 Análisis probabilístico Método Lognormal
- VI.7 Análisis probabilístico Método Gumbel
- VI.8 Análisis probabilístico Método Gumbel doble
- VI.9 Análisis probabilístico Método Exponencial
- VI.10 Análisis probabilístico Método Gamma
- VI.11 Selección del número de escurrimiento N (para condiciones de humedad previa media)
- VI.12 Hidrogramas para la Cuenca del arroyo Juquiaquie
- VI.13 Hidrogramas por Cuenca propia hasta el sitio de proyecto río Tecpan
- VI.14 Hidrogramas hasta el sitio de proyecto río Tecpan, considerando simultaneidad de evento
- VI.15 Proyecto río Tecpan Análisis hidráulico en condiciones naturales para un gasto de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030
- VI.16 Proyecto río Tecpan Análisis hidráulico en condiciones naturales para un gasto de  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030
- VI.17 Proyecto río Tecpan Análisis hidráulico para gastos asociados a períodos de retorno Alternativa N° 1, gasto de  $4707 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T_r = 50$  años, plantilla  $B = 50$  m y coef. Rugosidad de  $n = 0.030$
- VI.18 Proyecto río Tecpan Análisis hidráulico para gastos asociados a períodos de retorno Alternativa N° 2, gasto de  $4707 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T_r = 50$  años, plantilla  $B = 60$  m y coef. Rugosidad de  $n = 0.030$
- VI.19 Perfil río Tecpan
- VI.20 Archivo de Datos Tránsito de Avenida río Tecpan Condiciones Iniciales
- VI.21 Tirantes y Velocidades calculadas como Condiciones Iniciales

## BORDOS DE PROTECCIÓN

VI.22 Archivo de Resultados Determinación de Condiciones Iniciales Tránsito de Avenida río Tecpan

VI.23 Perfil del Agua del río Tecpan para  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$  y diferentes H

VI.24 Archivo de Datos modificados Tránsito de Avenida río Tecpan

VI.25 Resultados del Tránsito de Avenida río Tecpan

VI.26 Resultados de los Hidrogramas para las Secciones 20, 13 y 5

VI.27 Cálculo de la Socavación

VI.28 Cálculo del volumen de Excavación Alternativa N° 1 (ancho del cauce piloto de  $B = 50 \text{ m}$ )

VI.29 Cálculo del volumen de Excavación Alternativa N° 2 (ancho del cauce piloto de  $B = 60 \text{ m}$ )

VI.30 Volumen del bordo izquierdo del río Tecpan, Gro. para  $T = 50$  años y  $B = 50 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.31 Volumen del bordo derecho del río Tecpan, Gro. para  $T = 50$  años y  $B = 50 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.32 Volumen del bordo izquierdo del río Tecpan, Gro. para  $T = 100$  años y  $B = 50 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.33 Volumen del bordo derecho del río Tecpan, Gro. para  $T = 100$  años y  $B = 50 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.34 Volumen del bordo izquierdo del río Tecpan, Gro. para  $T = 50$  años y  $B = 60 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.35 Volumen del bordo derecho del río Tecpan, Gro. para  $T = 50$  años y  $B = 60 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.36 Volumen del bordo izquierdo del río Tecpan, Gro. para  $T = 100$  años y  $B = 60 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.37 Volumen del bordo derecho del río Tecpan, Gro. para  $T = 100$  años y  $B = 60 \text{ m}$  con corona de  $4.50 \text{ m}$ ; talud de  $1 : 2$  y bordo libre de  $1.00 \text{ m}$

VI.38 Volumen del Espigón de enrocamiento en la margen izquierda del río Tecpan, Gro. con talud  $1 : 2$  y corona de  $4.00 \text{ m}$  y Características geométricas de los espigones de roca, en m. izq. del río Tecpan, Gro.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

VI.39 Volumen del Espigón de gaviones en la margen izquierda del río Tecpan, Gro. con talud 1 : 1 y corona de 3.00 m y Características geométricas de los espigones de gaviones, en m. izq. del río Tecpan, Gro.

VI.40 Proyecto de rectificación en el río Tecpan, Guerrero Alternativa No. 1 Catálogo de conceptos, cantidades de obra e importe

VI.41 Proyecto de rectificación en el río Tecpan, Guerrero Alternativa No. 2 Catálogo de conceptos, cantidades de obra e importe

VI.42 Proyecto de protección marginal en el río Tecpan, Guerrero Alternativa No. 1 Espigones de roca Catálogo de conceptos, cantidades de obra e importe

VI.43 Proyecto de protección marginal en el río Tecpan, Guerrero Alternativa No. 2 Espigones de gaviones Catálogo de conceptos, cantidades de obra e importe

## PLANOS

VI.1 (1/3) Planta Proyecto Ejecutivo del río Tecpan del Km 0+000.00 al Km 4+000.00

VI.1 (2/3) Planta Proyecto Ejecutivo del río Tecpan del Km 4+000.00 al Km 8+191.027

VI.1 (3/3) Perfil Proyecto Ejecutivo del río Tecpan del Km 0+000.00 al Km 8+191.027

## ANEXO DE GEOTECNIA

### TABLAS

1 Pozos a cielo abierto (PCA)

2 Calas de campo

3 Análisis granulométrico en bancos para formación de terraplenes

4 Contenido de agua en bancos para formación de terraplenes

5 Límites de consistencia en bancos para formación de terraplenes

6 Pruebas próctor SRH en bancos para formación de terraplenes

7 Compacidad relativa en bancos para formación de terraplenes

8 Densidad de sólidos en bancos para formación de terraplenes

9 Triaxial no consolidada – no drenada en bancos para formación de terraplenes



## BORDOS DE PROTECCIÓN

- 10 Análisis granulométrico en bancos para revestimiento de caminos
- 11 Límites de consistencia en bancos para revestimiento de caminos
- 12 Pruebas próctor SRH en bancos para revestimiento de caminos
- 13 Compacidad relativa en bancos para revestimiento de caminos
- 14 Análisis granulométrico en bancos de grava – arena
- 15 Intemperismo acelerado en bancos de roca y rezaga
- 16 Pruebas de absorción en bancos de roca y rezaga
- 17 Peso volumétrico en bancos de roca y rezaga
- 18 Contenido de agua en PCA (muestras alteradas)
- 19 Porcentaje de finos en PCA (muestras alteradas)
- 20 Análisis granulométrico en PCA (muestras alteradas)
- 21 Límites de consistencia en PCA (muestras alteradas)
- 22 Pruebas próctor en PCA (muestras alteradas)
- 23 Compacidad relativa en PCA (muestras alteradas)
- 24 Contenido de agua en PCA (muestras inalteradas)
- 25 Límites de consistencia en PCA (muestras inalteradas)
- 26 Porcentaje de finos en PCA (muestras inalteradas)
- 27 Peso volumétrico en PCA (muestras inalteradas)
- 28 Densidad de sólidos en PCA (muestras inalteradas)
- 29 Triaxial no consolidada – no drenada en PCA (muestras inalteradas)

## FIGURA

- 1 Análisis de Estabilidad de Taludes

# BORDOS DE PROTECCIÓN

## RESUMEN.

El agua siempre ha sido un elemento vital e importante en la historia y desarrollo de la humanidad, por lo cual los hombres la hemos aprovechado y usado en diferentes actividades; aunque en ocasiones el flujo en demasía en las zonas bajas de los ríos superficiales ha provocado problemas de inundaciones, donde una solución es el proyecto de bordos de protección.

Por eso primeramente se mencionan algunos antecedentes y el propósito que se tiene al construir este tipo de obras.

Posteriormente se describen las características de mecánica de suelos y los tipos de materiales que forman los suelos utilizados en los proyectos de ingeniería; indicando los orígenes, las relaciones entre dichas variables y su clasificación para su estudio y aplicación.

Después de manera general se presentan las bases para el análisis de la filtración y las redes de flujo a través de los suelos mediante las fórmulas o expresiones conocidas, así como el estudio de la estabilidad de taludes para diferentes estructuras y condiciones de las masas de suelo.

Luego de todo lo anterior, se toca más directamente lo relacionado con el diseño de los bordos de protección, que incluye la visita de reconocimiento, lo referente a la geología, la topografía, la hidrología, los estudios geotécnicos, los hidráulicos y el proyecto de los mismos; describiendo en cada uno de ellos los diferentes aspectos involucrados en su análisis, pero con respecto a los estudios hidráulicos se presentan las diferentes ecuaciones que comprenden el flujo permanente y el flujo no permanente.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

En la penúltima parte se desarrolla un ejemplo de aplicación donde se abarcan todos los puntos descritos, para un caso real, el cual es un tramo del río Tecpan en el estado de Guerrero.

Finalmente se incluyen las conclusiones y las recomendaciones derivadas del estudio del caso presentado y para otros posibles a efectuar. Además se anexan las figuras, tablas, planos y lo relacionado con la geotecnia.

### ANTECEDENTES.

A través de los años la mayoría de las culturas y civilizaciones en nuestro planeta se desarrollaron cercanas a ríos y lagos, de los cuales se abastecían del agua necesaria para su sobrevivencia principalmente.

Posteriormente, los hombres utilizaron las corrientes de una mejor manera para su beneficio en otras actividades productivas como son: agricultura, ganadería, industria, generación eléctrica, etc.; realizando para ello la construcción de obras hidráulicas, que son un conjunto de estructuras que permiten el manejo del agua con fines de aprovechamiento o de defensa.

Algunas de las estructuras que se pueden mencionar son: presas de almacenamiento, presas derivadoras, tomas directas, navegación, puentes, bordos de protección, defensa de márgenes, cierre de cauces, canales de tierra y encauzamientos.

### I) PROPÓSITO.

Los bordos de protección están incluidos dentro de las obras de defensa, las cuales se construyen contra erosiones o inundaciones provocadas por flujos extraordinarios en los ríos; se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1) Cuando el cauce del río tiene una capacidad reducida y no se puede ampliar (regularización de las avenidas aguas arriba mediante presas).
- 2) Cuando el cauce tiene una capacidad reducida pero se puede ampliar (incrementando la sección hidráulica mediante bordos de protección).
- 3) Cuando se complementan las dos soluciones anteriores.
- 4) Cuando se necesitan proteger las márgenes del río contra erosiones.

### II) MECÁNICA DE SUELOS Y TIPOS DE MATERIALES.

La corteza terrestre está formada principalmente por rocas cuya composición geológica ha tomado varios millones de años; durante este lapso de tiempo la superficie rocosa ha experimentado una descomposición y desintegración continuas mediante procesos de meteorización, presentándose la meteorización física y la meteorización química. El primero es el proceso de fragmentación física o fracturación de la masa de roca, mientras el otro es el proceso de descomposición química de algunos o de todos los minerales que constituyen las rocas.

Las rocas expuestas a la acción permanente de los agentes atmosféricos como fuertes vientos, inundaciones y actividad glacial producen la mayoría de los residuos de roca fragmentada, los cuales han sido arrastrados, sometidos a abrasión y más fragmentación, siendo posteriormente depositados a lo largo de los ríos, lagos y océanos; este ciclo de erosión, transporte y formación de depósitos junto con los cambios climáticos y las variaciones de los niveles medios del mar y la superficie terrestre ha sido repetido, interrumpido y renovado en muchas ocasiones durante miles de años.

Por lo anterior, la mayor parte de la superficie actual de la tierra (lecho rocoso inalterado) está cubierto por una acumulación de materiales sin cementación o muy poco cementados, de espesor y naturaleza altamente variables; para los ingenieros a este material depositado se le denomina suelo.

En algunos lugares el estrato o capa superficial del suelo ha sido altamente meteorizado, rico en humus y capaz de permitir el crecimiento de plantas y vegetación, conociendo a dicha zona como la capa vegetal y teniendo en general un espesor inferior a 0.5 m; siempre se retira de la superficie antes de iniciar algún trabajo de construcción y sus características son de mucha importancia para los agricultores, mientras que el suelo que utilizan los ingenieros para soportar estructuras y en algunas ocasiones para construirlas es el suelo subyacente, y es dicho material cuyas propiedades y comportamiento se necesitan conocer.

La mayor parte de los minerales que forman las rocas están compuestos de los elementos siguientes: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio; presentándose en silicatos metálicos y óxidos. Entre los minerales que existen en las rocas

## BORDOS DE PROTECCIÓN

tenemos: cuarzo, ortosa, plagioclasa, mica, hornablenda, augita y olivino; siendo el suelo derivado principal del cuarzo la grava, arena y partículas de limo, mientras que para los restantes minerales mencionados son las partículas de mineral de arcilla de diferentes grupos.

La meteorización, el transporte y el depósito producen partículas de suelo individuales de gran variedad en forma y tamaño, por lo tanto el tamaño y forma de las partículas tienen influencia en las propiedades y el comportamiento del depósito. En relación a su tamaño y forma de las partículas tienen influencia en las propiedades y el comportamiento del depósito. En relación a su tamaño se clasifican en grava, arena, limo y arcilla; no existiendo para estos términos una definición universal como estándar. En Gran Bretaña se utiliza la norma BS 5930:1981, mientras que en EUA existen varios organismos con diferentes normas: AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), ASTM (American Society for Testing and Materials) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos); siendo las diferencias entre ellas mínimas.

### Tamaño de las partículas (mm)

Partícula	BS 5930:1981	AASHTO	ASTM	SUCS
Grava	60-2	75-2	> 2	75-4.75
Arena	2-0.06	2-0.05	2-0.075	4.75-0.075
Limo	0.06-0.002	0.05-0.002	0.075-0.005	< 0.075 finos
Arcilla	< 0.002	< 0.002	< 0.005	

La grava, arena y partículas de mayor tamaño son producidas generalmente por la meteorización física y tienen casi siempre la misma composición mineralógica que la roca madre, están formadas por sólidos de forma tridimensional que se modifican en mayor o menor grado debido a la magnitud de la abrasión que sucede durante el transporte; las partículas que presentan poca o casi ninguna abrasión tienen bordes afilados y caras planas llamándoseles angulares, las que han experimentado cambios de manera parcial por una abrasión moderada mostrarán solo los bordes redondeados y se les conoce como

## BORDOS DE PROTECCIÓN

subangulares o parcialmente redondeadas, y finalmente se les nombra como bien redondeadas a las que han sufrido una abrasión intensa.

Los procesos de abrasión asociados con la meteorización física son los que producen la mayoría de las partículas de tamaño de limo.

Las partículas de tamaño de arcilla en su mayor parte están compuestas por minerales de arcilla producidos por la meteorización química y no contienen la misma composición mineralógica que la roca madre, tampoco presentan la forma de sólido tridimensional; de estudios efectuados con microscopios electrónicos se ha encontrado que en general presentan una forma semejante a una placa plana con una relación diámetro / espesor mayor a 10.

El comportamiento ingenieril de un depósito de suelo depende principalmente de las fuerzas que actúan en las áreas de contacto entre las partículas individuales, éstas son en su mayor parte las fuerzas superficiales derivadas de la actividad electroquímica en la superficie de las partículas, y las fuerzas gravitacionales relacionadas con la masa y aproximadamente con el volumen de las mismas.

Las partículas de arcilla no solo son muy pequeñas sino que debido a su forma de placa plana presentan una alta relación entre el área de la superficie y el volumen, por esto ellas experimentan fuerzas superficiales que predominan sobre las gravitacionales derivadas de la masa. El resultado de la influencia predominante de éstas es la adherencia o stiction (propiedad característica de las partículas de mineral de arcilla que tienden a pegarse una con otra) entre las partículas individuales de arcilla, y le confieren a la arcilla húmeda su característica de plasticidad semejante a la de una pasta; si la arcilla se seca la adhesión entre las partículas produce un material sólido resistente a las deformaciones plásticas.

Por otra parte, no se necesita concluir que todas las partículas de un depósito de suelo tienen el tamaño de arcilla para describirlo como arcilloso, solo si contiene una cantidad de mineral de arcilla suficiente para darle las características de adhesión y plasticidad; la proporción en peso de partículas con tamaño de limo y arcilla puede ser tan pequeña como un 35 % del total.

Un depósito con la misma proporción de partículas finas pero constituido por muchas más partículas con tamaños correspondientes a limo y menos de mineral arcilloso tendrá



## BORDOS DE PROTECCIÓN

características de plasticidad y adhesión menos pronunciadas y se le puede describir como limo.

En relación con la distribución del tamaño de las partículas con el resto del suelo, dichas descripciones se pueden modificar con el uso de términos tales como limo gravoso, arcilla arenosa, etc.

Los depósitos que presentan características de plasticidad y adhesión asociadas con la presencia de una cantidad significativa de partículas de mineral de arcilla se describen en general con el término de suelos cohesivos.

Las partículas mayores con tamaños correspondientes a grava y arena tienden a tener granos voluminosos más o menos equidimensionales y una relación pequeña entre el área superficial y el volumen, por esto las fuerzas derivadas de la actividad superficial son mínimas en comparación con las fuerzas gravitacionales derivadas de la masa; en ausencia de partículas de mineral de arcilla los materiales no tendrán adherencia entre los granos individuales y a las arenas y gravas se les conocerá con los nombres de suelos granulares o suelos sin cohesión.

Estos últimos son descritos generalmente en función del tamaño de las partículas que predominan; por ello para designar un suelo como arena no se necesita inferir que todas las partículas son del tamaño de arena sino que se tienen más partículas de este tamaño que de cualquier otro. Cuando existe una pequeña pero significativa proporción en peso de otro tamaño de partículas, se puede hacer la descripción usando términos tales como arena gravosa o arena limosa.

La división entre los tamaños correspondientes a limo y arena coincide aproximadamente con el límite de la separación mecánica en tamaños de granos y con el límite de distinción de las partículas a simple vista; de esta manera el término suelo fino (granos finos) se emplea para nombrar los materiales que son limos o arcillas, mientras que el término suelo grueso (granos gruesos) se utiliza para denominar los materiales que son arenas o gravas.

En todo suelo ingenieril típico las partículas individuales que varían considerablemente en tamaño y forma presentan un armazón de material sólido que se le conoce como esqueleto del suelo o estructura del suelo, existiendo también entre dichas partículas un sistema de espacios interconectados que se denominan vacíos o poros.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

La existencia de vacíos permite que un depósito de suelo actúe como un reservorio para las aguas freáticas (aguas acumuladas en el subsuelo sobre una capa impermeable), se le conoce como nivel freático o tabla freática a la superficie superior del agua; cuando este nivel rebasa el nivel del mar continúa aproximadamente paralelo a la superficie del terreno, en climas templados es común encontrarlo a pocos metros de la superficie mientras que en climas áridos es probable que se encuentre a una profundidad muy superior. La presión del agua correspondiente a este nivel es la presión atmosférica.

En un depósito de suelo por lo general los poros por abajo del nivel freático suelen estar completamente llenos de agua, mientras que por encima de este nivel los poros pueden contener solo aire o más seguro aire y agua. Cuando los vacíos están llenos de aire el suelo está seco, en el caso en que los vacíos contienen aire y agua el suelo está parcialmente saturado, y cuando éstos están o se encuentran completamente llenos de agua el suelo se considera saturado.

En relación al agua contenida en los poros ubicados arriba del nivel freático (N. F.), esto se debe solamente a la infiltración y a la percolación de las aguas de lluvias provenientes de la superficie del terreno, o puede ser resultado de la ascensión capilar en los vacíos (fenómeno evidente particularmente en suelos de granos finos).

Por estar interconectados los vacíos en un suelo el agua puede fluir a través del espacio de poros, por eso todos los suelos son permeables además de porosos. Dicha característica de permeabilidad es la que en muchos casos prácticos tiene una influencia básica en el comportamiento ingenieril del suelo.

Al considerar la velocidad a la cual se mueve el agua a través de los poros encontramos que ésta depende del tamaño absoluto de los mismos; cuando se trata de gravas y arenas cuyos vacíos son relativamente grandes el agua fluye con bastante libertad, pero en el caso de limos y arcillas el flujo es muy lento ya que sus poros son muy pequeños.

Este término permeable se aplica a los suelos en sentido relativo, ya que para arenas y gravas se les nombra como libremente drenantes o permeables, y a los limos y arcillas como suelos de drenaje lento o impermeables.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Por lo anterior, el suelo es un material que puede encontrarse en tres situaciones diferentes; un conjunto de partículas sólidas rodeado de huecos o espacios llenos de aire, agua, o una combinación de ambos.

Una manera amplia de clasificación de los depósitos de suelos naturales es la siguiente:

1) Suelos residuales, los cuales se han formado completamente por meteorización in situ (en sitio) y han permanecido en su posición original.

2) Suelos transportados, aquellos que han sido desplazados de su lugar original y depositados en otro sitio; los principales agentes de transporte son el agua, el viento y el hielo. La forma y el tamaño de las partículas en un suelo transportado casi siempre están determinados por el agente de transporte y el modo como se acumulan los depósitos.

Los ríos son agentes de erosión, transporte y formación de depósitos durante las crecientes; el material que se deposita a lo largo de los ríos se le llama aluvión, aunque con frecuencia también se aplica a los suelos más finos (arenas, limos y arcillas) para distinguirlos de la arena gruesa, grava y partículas de mayores dimensiones.

En la parte alta el flujo rápido transporta todo menos los fragmentos de roca más grandes, erosionando con rapidez el lecho del valle y produciendo abrasión en las partículas hasta redondearlas. La formación del depósito se inicia en la parte media del río donde la velocidad del flujo y la capacidad de transporte bajan, primeramente se forman los depósitos de grava, aguas abajo los de arenas y finalmente en la parte baja del río donde el flujo es lento los de arenas finas aluviales y limos aluviales.

Durante las avenidas cuando el río desborda las orillas en su parte baja el agua llega a inundar grandes extensiones de tierras planas; la velocidad disminuye en toda el área excepto en el canal central y grandes cantidades de material son depositados, primero las partículas gruesas y luego las más finas. En esta zona baja las inundaciones repetidas combinadas con los meandros producen extensas planicies de inundación aluvial con sucesiones de limo y arcilla aluviales intercalados con capas de arenas y gravas.

Cuando en ocasiones el río desemboca en un lugar de aguas tranquilas el flujo se detiene y el material fino en suspensión es depositado; los suelos formados en el agua de lagos se les llaman depósitos lacustres, los que se forman en estuarios creados por las mareas se

conocen como depósitos estuarinos y los que se forman en el delta de un río se les denominan depósitos deltaicos.

Con respecto al mar, también es un agente de erosión, transporte y formación de depósitos; las olas que repetidamente atacan la costa la erosionan debido a su impacto y a los residuos que transportan. Los fragmentos de roca quebrados y redondeados se acumulan y forman los depósitos de playa de arena y piedras. El material fino producido por esta abrasión se combina con los materiales finos llevados al mar por los ríos permaneciendo en suspensión y por la acción de las mareas y corrientes son transportados para ser depositados en grandes áreas del lecho marino y formar los depósitos marinos.

El transporte y la formación de depósitos debidos al agua producen partículas de suelo que presentan forma redondeada y depósitos de suelos que llegan a ser homogéneos (suelos que presentan todas las partículas de aproximadamente la misma dimensión o estratificados con una graduación que sigue un orden vertical).

Los depósitos de limo y arcilla derivados de la sedimentación en zonas de inundación de ríos, lagos o estuarios presentan cantidades de materia orgánica producida por plantas en descomposición y cadáveres de animales, dicha materia fue arrastrada por el viento o el río y en ocasiones es producto de la vegetación desarrollada en el lugar; cuando el contenido de materia orgánica es importante dichos depósitos se conocen como limos y arcillas orgánicas, llegando a identificar la presencia de ésta en el suelo por un color que varía del gris oscuro al negro y el olor característico de la descomposición.

Cuando el material orgánico presenta una cantidad de mineral muy reducido al depósito se le denomina turba o turbera, éstos se localizan encima de las arcillas y limos orgánicos y con frecuencia son el resultado del llenado gradual de los lagos.

En otras ocasiones el hombre coloca material sobre el suelo a los que se les llama relleno o terreno artificial; éstos provienen casi siempre de excavaciones de roca o suelo, y también de desperdicios de canteras, escombros de construcción e inclusive desechos domésticos. Algunos ejemplos de rellenos son: terraplenes para carreteras, vías férreas, presas y rompeolas; aprovechamiento de terrenos costeros y pantanos, etc.

Si el relleno se coloca bajo condiciones controladas y se compacta de forma adecuada se tendrá un material estable y de características razonablemente predecibles; mientras que si

el relleno depositado se realiza de manera desordenada se obtendrá un material suelto, inestable y compresible con características variables e impredecibles.

Las propiedades ingenieriles y la estructura de los suelos granulares no presentan gran complejidad y son predecibles ya que dependen principalmente de las fuerzas de gravedad y la distribución del tamaño de las partículas en el depósito de suelo; en cambio para los suelos cohesivos estas características son más complejas y se debe al predominio de las fuerzas de superficie derivadas de la actividad electroquímica en la superficie de las partículas de mineral arcilloso.

Los minerales arcillosos tienen forma cristalina y están constituidos por dos unidades estructurales: la tetraédrica en la cual cuatro oxígenos encierran un átomo de silicio y la octaédrica donde un átomo de aluminio o magnesio está encerrado por seis grupos hidróxilos; de acuerdo con la organización de estas unidades en la red cristalina, éstos se dividen en tres grupos principales: las caolinitas, las ilitas y las montmorilonitas.

En el primer grupo el bloque estructural de minerales tienen un espesor de  $7 \text{ \AA}$  y está constituido por una capa de unidades tetraédricas y una de octaédricas; un gran número de estos bloques se unen entre sí para formar partículas de  $500 - 1000 \text{ \AA}$  de espesor, así como una relación típica diámetro / espesor de  $10 - 20$ . Los enlaces iónicos de hidrógeno entre los bloques generan una estructura relativamente estable en la que el agua no penetra con facilidad; presentando una baja susceptibilidad a la retracción y expansión, y una baja absorción de agua cuando son sometidas a cambios de humedad.

El bloque estructural del segundo grupo mide  $10 \text{ \AA}$  de espesor y se forma con una capa de unidades octaédricas en medio de dos capas tetraédricas orientadas de manera opuesta; en éstas algunos de los silicios ( $\text{Si}^{4+}$ ) en las tetraédricas son reemplazados por aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) permitiendo que se adhieran iones potasio ( $\text{K}^+$ ) para compensar el déficit de cargas, esta adherencia logra alcanzar la unión entre bloques pero es menos estable que la que se tiene en el grupo de las caolinitas. Las ilitas alcanzan una relación diámetro / espesor de  $20-50$  y espesores de  $200 - 300 \text{ \AA}$ , produciendo una mayor tendencia a la absorción de agua y mayor susceptibilidad a la expansión y retracción que el primer grupo.

En el caso del tercer grupo su bloque estructural es similar al de las ilitas ( $9.6 \text{ \AA}$ ), pero adicional a la sustitución en las unidades tetraédricas del silicio por aluminio, en las

unidades octaédricas algunos de los iones de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) son reemplazados por hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y por magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) provocando estos cambios una gran carga negativa neta que atrae a las moléculas de agua y de cualquier otro catión disponible hacia el cristal. El enlace entre las capas formado por el agua es muy débil e inestable en comparación con el que se tiene en las ilitas, este grupo es fácilmente divisible en partículas muy pequeñas con espesor aproximado de 10-30 Å y una relación diámetro / espesor del orden de 200-400, presentando muy altas características de retracción y expansión así como muy alta absorción de agua.

Cuando las partículas de mineral de arcilla presentan carga negativa neta, parte del agua en los vacíos es atraída y se adhiere fuertemente a la superficie de éstas, en otras ocasiones como las moléculas de agua son de característica dipolar son atraídas por la superficie de las partículas, y en otros casos las moléculas del agua se pueden adherir directamente a las partículas mediante la unión del hidrógeno o a los cationes hidratados los cuales son atraídos por la superficie negativa. Al agua que es atraída y se adhiere alrededor de las partículas de estas formas se le conoce como agua adsorbida.

En relación a la naturaleza del agua adsorbida se acepta en general que en un espesor de varias moléculas el agua se encuentra fuertemente adherida a la partícula y presenta una baja movilidad y una viscosidad muy alta; cuando la atracción disminuye el agua vuelve de manera gradual a su estado original.

En la mayor parte de suelos arcillosos con humedad intermedia se presenta la plasticidad, que es la capacidad de experimentar deformaciones irreversibles sin romperse; si se seca el suelo se perderá esta propiedad y se convertirá en un sólido frágil con una resistencia en función de la stiction entre las partículas, si finalmente este sólido se descompone en las partículas que lo constituyen se perderá la stiction y el material se convertirá en un polvo seco. Al mezclar nuevamente este polvo con una cantidad adecuada de agua, el agua intersticial ayudará para que las propiedades de stiction y plasticidad reaparezcan en el suelo.

La stiction se atribuye principalmente a la atracción producida entre las partículas por las fuerzas de Van der Waal (fuerzas de atracción de corto alcance entre las moléculas adyacentes y se deben a la interacción de los campos eléctricos que se generan alrededor de



éstas por los electrones que giran alrededor de los núcleos atómicos), a la afinidad de ciertos cationes en el agua intersticial y a algunas uniones borde-cara entre partículas (bordes con una baja concentración de cargas positivas y caras con carga superficial negativa).

Por otra parte, la plasticidad es atribuida a la deformación de las capas de agua adsorbida y aunque las partículas de mineral de arcilla atraen fuertemente el agua, las moléculas del agua adsorbida se pueden mover fácilmente a lo largo de la superficie de las partículas; por eso cuando las partículas se comprimen, éstas sufren un desplazamiento relativo unas con respecto a otras y la capa de agua adsorbida altamente viscosa se deforma con elasticidad.

El desarrollo de la capa de agua adsorbida alrededor de las partículas depende de la capacidad del mineral para atraer iones intercambiables y así neutralizar la carga negativa. Esta capacidad se expresa cuantitativamente en términos de la capacidad de intercambio iónico por unidad de masa de arcilla seca, esta característica presenta el área total de la superficie de las partículas por unidad de masa, el tamaño de las mismas y la deficiencia de carga de ellas.

Al considerar la caolinita, la illita y la montmorilonita en ese orden, la capacidad de intercambio iónico aumenta así como la proporción de agua adsorbida en la superficie de las partículas produciendo con ello un incremento de la plasticidad; además a escala macroscópica se tiene un aumento de la compresibilidad y una disminución del ángulo de fricción.

Los rasgos estructurales generalmente visibles en un depósito de arcilla tales como fisuración, estratificación, canales de raíces y las inclusiones orgánicas son las que definen la macrotextura o macroestructura del depósito.

Un depósito de arcilla que no presenta cambios visibles en su estructura se puede catalogar como de estructura difícilmente identificable o uniforme; sin embargo en general muchos suelos arcillosos son estratificados y la interfase entre cada capa se define como plano de estratificación, cuando las capas individuales son relativamente delgadas (menos de 25 mm de espesor aproximadamente y paralelas entre ellas) la arcilla se cataloga como laminada.

En otros casos muchas arcillas duras presentan en su estado natural una red de grietas capilares, uniones o fisuras, conociendo a estos depósitos como fisurados; la existencia de

## BORDOS DE PROTECCIÓN

la fisuración se atribuye a cambios de volumen debidos a la desecación, a la presencia previa de altos niveles de esfuerzos en la arcilla o a pasados movimientos del terreno con una inestabilidad general. En un estado más avanzado se pueden formar fisuras suficientemente abiertas que permiten su relleno con partículas de limo durante un ciclo de inundación y formación de depósitos posteriores; cuando el depósito de arcilla no presenta evidencias de fisuración se le conoce como intacto.

La existencia de una macroestructura bien definida tiene influencia en el comportamiento ingenieril del depósito de arcilla; cuando existen fisuras en estos depósitos, éstas constituyen planos de debilidad que dan como resultado que la arcilla fisurada muy seguramente tendrá una resistencia menor que la de una arcilla similar en estado intacto. Las capas de limo o arena y las fisuras llenas de limo en el depósito de arcilla actuarán como trayectorias preferenciales de drenaje, por tanto la permeabilidad de una arcilla laminada será superior a la de una arcilla uniforme; en particular la que se presenta en la dirección horizontal donde el flujo ocurre relativamente libre a lo largo de las láminas de limo y arena, y ésta será varias veces superior a la que corresponde a la dirección vertical en la que el flujo tiene lugar a través de la suma del espesor de todas las capas de arcilla.

Por otra parte, el arreglo estructural de las partículas individuales o grupos de partículas del depósito de arcilla a escala microscópica definen la microtextura o microestructura del mismo.

Cuando las partículas se encuentran en suspensión en el agua pueden experimentar una atracción mutua (fuerzas de Van der Waal y afinidad de ciertos cationes) o una repulsión mutua (similitud de cargas de las partículas y presencia del agua adsorbida). Una suspensión alcalina suprime el efecto repulsivo y las partículas al chocar o aproximarse suficientemente se atraerán y se formarán grumos o grupos que se sedimentarán con relativa rapidez; mientras que si la suspensión se neutraliza con la adición de una solución ácida las fuerzas de repulsión seguirán dominando y las partículas en la suspensión permanecerán dispersas por mucho más tiempo.

Anteriormente se pensaba que la formación del depósito en agua salada producía arcillas marinas con una diferenciada estructura floculada y en agua dulce se producían arcillas lacustres o aluviales con una estructura dispersa menos floculada. De investigaciones



## BORDOS DE PROTECCIÓN

recientes donde se han empleado microscopios electrónicos se ha demostrado que la microestructura es mucho más compleja y menos predecible; identificando grupos de placas de arcilla que tienen arreglos con contactos cara a cara y paralelos, y conjuntos de esos grupos desempeñando el papel de conectores entre partículas de limo o arena, haciendo difícil representar visualmente los variados y complejos arreglos.

Una masa de arcilla se considera que ha sido remoldeada cuando se ha modificado severamente hasta el punto de destruir su estructura original. Los procesos que producen este remoldeo son variados y numerosos, desde un simple moldeo o amasado manual hasta los movimientos de tierra masivos que incluyen excavación y reemplazo del suelo bajo condiciones de compactación controladas.

La resistencia de una arcilla remoldeada generalmente es inferior a la de una arcilla inalterada; la pérdida de resistencia se atribuye a la redistribución de parte del agua adsorbida que se convierte en agua libre y a la ruptura de la adhesión electroquímica entre las partículas.

Esta pérdida debida al remoldeo se caracteriza con la sensibilidad de la arcilla que se define como la resistencia inalterada entre la resistencia remoldeada; la mayor parte de éstas tienen una sensibilidad en el rango de 1-4, para Skempton y Northey (1952) y Bjerrum (1954) una escala de sensibilidad es la siguiente:

Descripción	Sensibilidad
Insensitiva	< 2
Medianamente sensitiva	2 - 4
Sensitiva	4 - 8
Muy sensitiva	8 - 16
Rápida	>16

Para la descripción completa de las características de un suelo es conveniente expresar la mezcla de sólidos, aire y agua en función de algunas propiedades físicas estándar. La definición de éstas se hace con referencia en la figura II.1 que representa de manera

## BORDOS DE PROTECCIÓN

esquemática las proporciones en volumen y masa de las fases que constituyen un elemento típico de un depósito de suelo, en el cual:

$V$ = volumen total del elemento	$M$ = masa total del elemento
$V_s$ = volumen de sólidos	$M_s$ = masa de sólidos
$V_v$ = volumen de vacíos	$M_v$ = masa de vacíos
	$M_a$ = masa del aire
$V_w$ = volumen del agua intersticial	$M_w$ = masa del agua intersticial
$V_a$ = volumen del aire en los poros	La masa del aire en los poros se supone igual a cero ( $M_a = 0$ )

Se tiene que:  $V = V_v + V_s = V_a + V_w + V_s$  (2.1)

$$M = M_v + M_s = M_a + M_w + M_s = M_w + M_s \quad (2.2)$$

Una propiedad fundamental es la gravedad específica de las partículas de suelo ( $G_s$ ) que se define como la densidad de las partículas de suelo entre la densidad del agua

$$G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w} \quad (2.3)$$

donde  $\rho_w$  = densidad del agua =  $1000 \text{ Kg/mm}^3$  o  $1 \text{ Mg/m}^3$ .

El valor de  $G_s$  depende de la composición mineralógica de las partículas que forman el suelo, algunos valores típicos son:

Tipo de suelo	$G_s$
Grava, arena y limo	2.65
Arcilla inorgánica	2.70
Arcilla orgánica	2.60
Turba amorfa	2.00

Turba fibrosa

1,50

La proporción de vacíos en un elemento de suelo se expresa en función de la relación de vacíos ( $e$ ) o de la porosidad ( $n$ ) de la siguiente manera:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.5)$$

Ambas propiedades son parámetros adimensionales y con frecuencia  $n$  se expresa en porcentaje ( $n$  no puede exceder de 100 %).

Se tiene

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{1 - \frac{V_v}{V}}$$

entonces

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (2.6)$$

y

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.7)$$

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Los rangos de valores de la relación de vacíos y porosidad que se tienen comúnmente en los suelos granulares dependen de la organización de las partículas en el esqueleto del suelo, las condiciones extremas se ilustran considerando un suelo ideal con partículas esféricas de tamaño uniforme.

El estado más suelto correspondiente al máximo volumen de vacíos se obtiene cuando las esferas están ordenadas en un arreglo cúbico con seis puntos de contacto por esfera (figura II.2a), al realizar el cálculo se tiene lo siguiente:

$$e_{m\acute{a}x} = 0.91, \quad n_{m\acute{a}x} = 47.6 \%$$

Por otro lado, el estado más denso que corresponde al mínimo volumen de vacíos se tiene cuando las esferas están ordenadas en un arreglo rómbico con doce puntos de contacto por esfera (figura II.2b), al efectuar el cálculo se obtiene lo siguiente:

$$e_{m\acute{i}n} = 0.35, \quad n_{m\acute{i}n} = 26 \%$$

En la práctica los valores extremos que se tienen para suelos granulares se encuentran limitados por los valores teóricos, los rangos típicos son:

Arenas bien graduadas	$e = 0.43 - 0.67, \quad n = 30 - 40 \%$
Arenas de tamaño uniforme	$e = 0.51 - 0.85, \quad n = 34 - 46 \%$

Los suelos bien graduados pueden llegar a una menor relación de vacíos o a un arreglo más denso que los suelos uniformes porque las partículas más finas pueden ocupar los vacíos que existen entre las partículas más gruesas.

El conocer la relación de vacíos de un suelo en su estado natural no proporciona una información suficiente para definir si el suelo se encuentra en estado suelto o denso, esto se logra sólo si la relación  $e$  de vacíos in situ se compara con  $e_{m\acute{a}x}$  y  $e_{m\acute{i}n}$  que se puede obtener con ese suelo. La comparación se expresa numéricamente en términos de la densidad relativa ( $D_r$ ) del suelo, la cual se calcula como:

$$D_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \quad (2.8)$$

## BORDOS DE PROTECCIÓN

La ecuación (2.8) indica que  $0 \leq D_r \leq 1$ ; los valores bajos de esta relación muestran que el suelo natural se encuentra en estado suelto, mientras que los valores altos indican que está en estado denso. Esta propiedad se conoce también como índice de densidad ( $I_D$ ).

La relación de vacíos mínima ( $e_{min}$ ) se obtiene en el laboratorio compactando un suelo secado en el horno en un recipiente estándar; el método de compactado puede ser: llenar el molde en tres capas iguales compactando cada una con un martillo vibratorio, o llenar el molde en una sola capa, colocarle una sobrecarga en la superficie de la arena y compactar el conjunto en una mesa vibratoria. La relación de vacíos máxima ( $e_{max}$ ) se puede obtener: vertiendo en un molde estándar desde una altura fija una muestra secada en el horno; o colocar aproximadamente 1 Kg de suelo seco en una probeta de 2 litros, se tapa, se agita unas pocas veces y se invierte, luego se inclina rápidamente la probeta y se endereza de nuevo adquiriendo la arena así un estado que puede suponerse como el más suelto.

Los suelos cohesivos poseen generalmente una proporción de vacíos mucho más alta que la de los suelos granulares, debido a la actividad electroquímica asociada con las partículas de mineral de arcilla; los valores típicos de la porosidad y relación de vacíos son:

$$e = 0.55 - 5, \quad n = 35 - 83 \%$$

Los depósitos de arcilla recién formados son muy compresibles por lo general.

La turba se caracteriza por tener un alto contenido de materia orgánica y una gran capacidad para retener y almacenar agua, los valores de  $e$  a menudo están en el rango de 10 - 15; por tanto en un depósito típico de este material que tenga 3 m de espesor podría haber menos de 300 mm de materia sólida. En consecuencia es un material muy compresible y los depósitos superficiales podrían sufrir una deformación del 50 % o más si se somete a la acción de una carga equivalente a un metro de suelo de relleno.

La proporción de agua presente en un elemento de suelo se expresa en términos del contenido de humedad ( $W$ ) definido como:

$$W = \frac{M_w}{M_s} \quad (2.9)$$

El grado de saturación ( $S_r$ ) es la proporción de vacíos ocupados por el agua y se calcula de la siguiente manera:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.10)$$

La proporción de aire presente en un elemento de suelo es el contenido de aire ( $A_r$ ) y se obtiene como:

$$A_r = \frac{V_a}{V} \quad (2.11)$$

Las tres propiedades mencionadas anteriormente son parámetros adimensionales y normalmente se expresan en porcentaje; se puede notar que  $0 \leq S_r \leq 100 \%$  y  $0 \leq A_r \leq n$ , mientras que los valores de  $W$  pueden ser superiores al 100 %.

Bajo el nivel freático los suelos generalmente se encuentran saturados (todos los espacios llenos de agua) y  $S_r = 100 \%$ ; los suelos finos pueden estar saturados por encima del nivel freático por los efectos de la ascensión capilar en los poros más pequeños, por el contrario los suelos de granos gruesos por encima del nivel freático sólo estarán parcialmente saturados con  $S_r < 100 \%$ .

El contenido de humedad varía de manera considerable de un suelo a otro, e inclusive puede variar en el mismo depósito ya que esto depende del grado de saturación. En la tabla II.1 se presentan algunos valores típicos de humedad y otros parámetros básicos para varios suelos saturados.

Por otro lado, una expresión muy útil que correlaciona a  $W$ ,  $S_r$ , e  $G_s$ , se obtiene con las ecuaciones (2.3), (2.4), (2.9) y (2.10) como sigue:

$$W = \frac{M_w}{M_s} = \frac{V_w \rho_w}{V_s \rho_w G_s} = \frac{V_w}{V_v} * \frac{V_v}{V_s} * \frac{1}{G_s}$$

$$W = \frac{S_r e}{G_s} \quad (2.12)$$

De forma similar se puede obtener una relación entre  $A_r$ ,  $S_r$  y  $n$  a partir de las ecuaciones (2.5), (2.10) y (2.11):

$$A_r = \frac{V_a}{V} = \frac{V_v - V_w}{V} = \frac{V_v}{V} \left[ 1 - \frac{V_w}{V_v} \right]$$

$$A_r = n (1 - S_r) \quad (2.13)$$

La densidad aparente ( $\rho$ ) de un elemento de suelo se define como su masa por unidad de volumen y se expresa:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.14)$$

Adicionalmente, desarrollando y sustituyendo de las ecuaciones (2.3), (2.4) y (2.9) obtenemos:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V_s + V_v} = \frac{M_s \left[ 1 + \frac{M_w}{M_s} \right]}{V_s \left[ 1 + \frac{V_v}{V_s} \right]}$$

$$\rho = \frac{G_s (1 + W)}{(1 + e)} \rho_w \quad (2.15)$$

y sustituyendo por  $W$  de la ecuación (2.12)

$$\rho = \left[ \frac{G_s + S_r e}{1 + e} \right] \rho_w \quad (2.16)$$

Si el elemento de suelo está saturado y conserva la misma relación de vacíos entonces  $S_r = 1$  (100 %) y se calcula la densidad saturada ( $\rho_s$ ) como:

$$\rho_s = \left[ \frac{G_s + e}{1 + e} \right] \rho_w \quad (2.17)$$

Si el elemento se encuentra seco y conserva la misma relación de vacíos entonces  $S_r = 0$  y la densidad seca ( $\rho_d$ ) se obtiene de la siguiente manera:

$$\rho_d = \left[ \frac{G_s}{1 + e} \right] \rho_w \quad (2.18)$$

o a partir de las definiciones básicas con  $M_w = 0$  se tiene:

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \quad (2.19)$$

Cuando el elemento de suelo está situado bajo el nivel freático, las partículas experimentan un empuje  $U$  tal que su peso efectivo  $W'_s$  es:

$$W'_s = W_s - U$$



Por lo tanto  $W'_s = (W - W_w)\rho_w gV_s = W - \rho_w g(V_w + V_s)$ .

Como los vacíos están llenos de agua completamente  $V_w = V_v$  y entonces  $V_w + V_s = V$ ,

por tanto  $W'_s = W - \rho_w gV$

$$y \quad \frac{W'_s}{gV} = \frac{W}{gV} - \rho_w$$

Ahora el peso efectivo de las partículas de suelo  $W'_s$  también representa el peso efectivo del elemento de suelo y por tanto  $W'_s/gV$  es la densidad efectiva ( $\rho'$ ) del elemento; el peso total  $W$  del elemento representa el peso saturado y  $W/gV$  es la densidad saturada ( $\rho_s$ ).

Con lo anterior se obtiene:

$$\rho' = \rho_s - \rho_w \quad (2.20)$$

Sustituyendo  $\rho_s$  en la ecuación (2.17) se tiene:

$$\rho' = \left[ \frac{G_s - 1}{1 + e} \right] \rho_w \quad (2.21)$$

Para la densidad efectiva se usan también los términos densidad sumergida o flotante.

Se pueden deducir dos relaciones adicionales para la densidad, las cuales tienen una particular importancia en los análisis de los resultados de los ensayos de compactación. A partir de la ecuación (2.14) se tiene:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V} = \frac{M_s}{V} \left[ 1 + \frac{M_w}{M_s} \right]$$

$$\rho = \rho_d(1+W) \quad (2.22)$$

Y a partir de la ecuación (2.1) tenemos que:

$$V - V_a = V_s + V_w$$

$$V \left[ 1 - \frac{V_a}{V} \right] = \frac{M_s}{G_s \rho_w} + \frac{M_w}{\rho_w} = \frac{M_s}{G_s \rho_w} \left[ 1 + G_s \frac{M_w}{M_s} \right]$$

$$\frac{M_s}{V} = \frac{G_s \left[ 1 - \frac{V_a}{V} \right]}{\left[ 1 + G_s \frac{M_w}{M_s} \right]} \rho_w$$

$$\rho_d = \frac{G_s(1 - A_r)}{(1 + G_s W)} \rho_w \quad (2.23)$$

Las unidades más convenientes en el sistema SI para la densidad del suelo son  $Mg/m^3$  y algunos valores típicos para diferentes suelos se presentan en la tabla II.1.

El peso unitario se utiliza como una alternativa al de la densidad, se define fundamentalmente como el peso por unidad de volumen y se obtiene multiplicando la densidad por la aceleración de la gravedad (g), en el SI  $1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ Kgm/s}^2$  y  $1 \text{ KN} = 1 \text{ Mg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ Mgm/s}^2$ , el peso unitario aparente ( $\gamma = \rho g$ ); y de forma

similar se calcula el peso unitario saturado ( $\gamma_s$ ), el peso unitario seco ( $\gamma_d$ ) y el peso unitario efectivo ( $\gamma'$ ).

La gravedad específica de las partículas, el contenido de humedad y la densidad aparente se pueden determinar directamente usando procedimientos estándar; obteniendo las otras propiedades mediante cálculos.

El propósito de la clasificación de los suelos es aportar bases para agruparlos dependiendo de sus propiedades físicas y su apariencia, con el fin de comparar diferentes suelos, realizar la descripción de sus propiedades y considerar su posible uso en los trabajos de ingeniería.

En un suelo granular su apariencia y características físicas principalmente dependen de la distribución del tamaño de las partículas; mientras que en un suelo arcilloso están en función de la adherencia del tipo stiction y la plasticidad, propiedades asociadas con su composición mineralógica, el contenido de humedad y su textura natural (macroestructura). Por eso la parte granular de un suelo se clasifica con la distribución de tamaños de las partículas, y la parte arcillosa de acuerdo con sus características de plasticidad con los parámetros de los límites de Atterberg.

Los diferentes tamaños de una masa de suelo se representan gráficamente con la curva de graduación, granulométrica o de distribución de tamaños de las partículas; en ella el porcentaje de partículas inferiores a un tamaño en particular se representa en función de ese tamaño en escala logarítmica, la figura II.3 presenta algunas curvas típicas de graduación.

La curva granulométrica se obtiene al medir la distribución de tamaños de una muestra de suelo representativa; para el caso de gravas y arenas se logra con un análisis por tamizado, y para la fracción limosa con un análisis por sedimentación.

En el análisis por tamizado la muestra se pasa a través de una serie de tamices estándar con aberturas cada vez más pequeñas (cribado) midiendo la masa retenida en cada uno de ellos, con el resultado se calcula el porcentaje de masa que pasa cada tamiz y se representa en base a la abertura correspondiente.

La tabla II.2 presenta los tamices usados normalmente para su medición, de este rango se seleccionan los más apropiados para estudiar un material en particular. Si el suelo contiene partículas de limo y arcilla, la muestra se trata primero con un agente defloculante y se lava

a través de algunos tamices escogidos para separar los finos, luego el material grueso se seca y se tamiza como ya se mencionó.

Las partículas de limo tienen tamaños inferiores a los límites prácticos para el análisis por tamizado, por eso la distribución se obtiene observando el comportamiento durante su sedimentación en una suspensión en agua.

El análisis por sedimentación se realiza con material que pasa el tamiz BS de 63  $\mu m$  (US No. 10). Se prepara una suspensión de concentración conocida empleando agua destilada y un agente defloculante para lograr que las partículas se sedimenten por separado, luego de agitar intensamente la suspensión en una probeta se inicia el proceso de sedimentación.

La interpretación de los resultados del proceso se basa en la ley de Stokes, con la cual se calcula la velocidad terminal de descenso  $V$  de una partícula esférica en función del diámetro de la partícula  $D$ , de la siguiente manera:

$$V = \frac{(G_s - G_w)\rho_w}{18\eta} D^2 \quad (2.24)$$

donde  $\eta$  es el coeficiente de viscosidad cinemática del agua.

Considerando  $G_s = 2.65$ ,  $G_w = 1$ ,  $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ ,  $\eta = 9.12 * 10^{-6} \text{ gs/cm}^2$  y expresando  $D$  en mm, se tiene de la ecuación (2.24) que:

$$V = 100.51 D^2 \quad (\text{cm/s})$$

De esta forma después de un tiempo  $t$  (s) a una profundidad  $L$  (cm) de la suspensión no se encontrarán partículas más grandes que:

$$D = \sqrt{\frac{L}{100.51t}} \quad (\text{mm}) \quad (2.25)$$

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Todas las partículas con tamaños inferiores a este valor  $D$  estarán en la misma concentración que al inicio de la sedimentación; esta concentración es una medida de la masa de las partículas de la suspensión original que tienen partículas de tamaño inferior a  $D$  mm.

Un procedimiento para la determinación de la concentración es el método de la pipeta que consiste en tomar una pequeña muestra de la suspensión a una profundidad  $L = 10$  cm y a un tiempo  $t$  (s), después la muestra se seca y la masa de los residuos sólidos obtenidos se utiliza para determinar la masa de las partículas en la suspensión original que tienen un diámetro inferior al que se calcula al sustituir los datos en la ecuación (2.25) por proporcionalidad.

Al repetir este proceso para diferentes tiempos a partir del inicio de la sedimentación se puede completar el análisis de tamaño de las partículas y la curva granulométrica se puede prolongar más allá del rango correspondiente a limo.

Un proceso alternativo es el método del hidrómetro, en el cual se introduce en la suspensión un hidrómetro especial a determinados tiempos después del inicio de la sedimentación; en cada tiempo el aparato mide la gravedad específica o concentración de la suspensión a una determinada profundidad.

La ley de Stokes se aplica principalmente a partículas esféricas, por eso el diámetro obtenido con este análisis se le conoce como “diámetro equivalente de las partículas” y es el diámetro de una esfera con la misma gravedad específica que las partículas de suelo y que se sedimenta a la misma velocidad; además esta ley tiene aplicación sólo a partículas con tamaños aproximados a limos. Para el caso de partículas más gruesas se provocará turbulencia excesiva en la suspensión, y para las partículas muy finas de arcilla se presentará la influencia del movimiento browniano.

La forma de la curva granulométrica muestra si el tamaño de las partículas en el suelo varía en un rango estrecho o amplio, y sirve para la descripción de la graduación del suelo.

Si un suelo granular presenta proporciones aproximadamente iguales de todos los tamaños se describe como bien graduado y se caracteriza por tener una curva relativamente suave que abarca un rango amplio de partículas como el suelo A de la figura II.3, en caso contrario si el suelo no presenta las características anteriores será mal graduado.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Un suelo se describe como uniforme cuando una alta proporción de partículas queda comprendida en una banda de tamaños estrecha, caracterizándose la curva por presentar una parte importante casi vertical como el suelo B de la figura II.3.

Un suelo tiene graduación discontinua si contiene partículas pequeñas y grandes pero presenta ausencia notable de partículas intermedias.

Una forma de indicar la graduación de un suelo numéricamente es con los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ) y de curvatura ( $C_c$ ), los cuales se definen como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.26)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} \quad (2.27)$$

En donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son los tamaños de las partículas para los cuales el 10 %, 30 % y 60 % del material respectivamente son más finos que esos tamaños.

$C_u$  y  $C_c$  se usan como criterios en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, pero en general en cuanto más alto es el valor de  $C_u$  más amplio es el rango de tamaños de partículas en el suelo.

Los suelos se clasifican como bien graduados si  $C_u > 4$  o  $6$  y  $1 < C_c < 3$ .

La consistencia de una arcilla natural varía en base al contenido de humedad; desde un estado sólido en condición seca pasa a un estado semisólido para bajos contenidos de humedad donde el suelo se desmorona y no presenta plasticidad, después presenta un estado plástico para contenidos de humedad altos y finalmente llegar a un estado esencialmente líquido para contenidos muy altos de humedad.

El contenido de humedad para el cual la consistencia se modifica de un estado a otro es variable de una arcilla a otra, dependiendo del tipo y cantidad de mineral de arcilla que esté presente; además como esta propiedad de la humedad es fácil de medir se desarrolló un método de clasificación de las arcillas basado en estos contenidos de humedad límites.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Al ser el cambio de un estado de consistencia a otro gradualmente, para satisfacer los requerimientos de un sistema de clasificación estándar se hizo necesario establecer límites arbitrarios entre los diferentes estados; éstos se conocen como límites de Atterberg (científico sueco), los cuales se presentan en la figura II.4 y consisten en lo siguiente:

- 1) Límite de retracción ( $\omega_s$  o SL), se define como el cambio del estado sólido al semisólido o no plástico.
- 2) Límite plástico ( $\omega_p$  o PL), es el cambio entre el estado no plástico y plástico.
- 3) Límite líquido ( $\omega_L$  o LL), corresponde al cambio del estado plástico al líquido.

Los tres límites anteriores son simplemente contenidos de humedad; el rango de variación de éstos en el que la arcilla presenta plasticidad se llama índice de plasticidad ( $I_p$  o PI), y se calcula como:

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (2.28)$$

El contenido de humedad natural ( $\omega$ ) que tiene una arcilla en campo se puede comparar con sus límites líquido y plástico mediante el índice de liquidez ( $I_L$  o LI), de la manera siguiente:

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} \quad (2.29)$$

El valor de  $I_L$  se expresa en porcentaje generalmente; cuando el valor está próximo al 100 % indica que la arcilla natural presenta en el campo una consistencia cercana a la que corresponde a su límite líquido, mientras que cuando está cerca al 0 % la arcilla tiene una consistencia próxima a la correspondiente a su límite plástico. La mayoría de arcillas naturales se encuentran en el terreno en un estado plástico, por lo cual el rango de  $I_L$  es de 0 - 100 %, aunque este valor puede ser negativo en ciertas ocasiones.

Como la plasticidad se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de las partículas de minerales arcillosos, por ello el grado de plasticidad del suelo también está

relacionado con la cantidad y tipo de minerales presentes. Skempton en 1953 expresó la siguiente relación para la actividad  $A$  de la arcilla.

$$A = \frac{I_p}{a(\%)} \quad (2.30)$$

Donde  $a(\%)$  es el porcentaje de arcilla y se considera como el porcentaje en masa de las partículas inferiores a 0.002 mm. Los valores de actividad más bajos corresponden a la caolinita, los intermedios a los de la illita y los más altos a la montmorilonita.

Los límites de Atterberg se obtienen en el laboratorio mediante ensayos empíricos efectuados con muestras de material que pasan el tamiz de 425  $\mu m$ ; mientras que para la clasificación  $\omega_g$  no es importante.

Cuando los resultados de laboratorio se quieren utilizar en el diseño de trabajos de ingeniería se debe procurar que las muestras del suelo sean representativas e inalteradas, lo cual es muy difícil; por eso las pruebas de límites líquido y plástico que se realizan en muestras remoldeadas de suelo sólo proporcionan bases para la clasificación de los suelos arcillosos y no dan criterios para conocer el comportamiento ingenieril.

Con respecto a los sistemas de clasificación de suelos en el transcurso de los años se han propuesto numerosos, no existiendo un sistema que se reconozca internacionalmente. En los EUA los sistemas más utilizados son el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.

El sistema AASHTO fue desarrollado en sus orígenes por el US Bureau of Public Roads en la década de los años veintes procurando establecer la conveniencia de un material para usar en la construcción de carreteras, después de algunas revisiones mayores fue adoptado por la American Association of State Highway and Transportation Officials en 1945 como la norma AASHTO M-145.

El sistema unificado fue elaborado originalmente por Casagrande en la década de los años cuarentas para su utilización en la construcción de aeropuertos, en 1952 fue modificado para ampliar su uso por el US Bureau of Reclamation y el US Corps of Engineers, y



## BORDOS DE PROTECCIÓN

finalmente en 1969 fue adoptado por la American Society for Testings and Materials como el método estándar de clasificación de suelos para propósitos ingenieriles como ASTM D – 2487 – 69.

En Gran Bretaña hasta 1981 se empleó un método muy similar al sistema unificado, pero en ese año se publicó el sistema británico de clasificación de suelos BS 5930 : 1981 como una parte del “Código para la práctica de investigaciones de campo.”

El sistema británico se basa en la distribución de tamaños de las partículas que pasan el tamiz BS de  $63 \mu m$ , clasificando el suelo como granular si menos del 35 % es inferior a 0.06 mm o fino si más del 35 % es inferior a esta medida; partiendo de esta gran división se clasifica el suelo en alguno de los numerosos grupos dependiendo de la graduación de la fracción granular y de las características de plasticidad del material que pasa el tamiz BS de  $425 \mu m$ , en la tabla II.3 se presenta un resumen de este sistema.

Cada grupo tiene un nombre descriptivo y un grupo de símbolos formados por letras que indican el tipo predominante y la graduación o plasticidad, de la siguiente forma:

G - grava

S - arena

F - suelo fino (finos)

M - limo (suelo M)

C - arcilla

*Pt* - turba

W - bien graduado

P - mal graduado

*Pu* - graduación uniforme

## BORDOS DE PROTECCIÓN

*Pg* - graduación discontinua

O - orgánico

L - baja plasticidad (  $\omega_L < 35$  )

I - plasticidad intermedia (  $\omega_L = 35 - 50$  )

H - alta plasticidad (  $\omega_L = 50 - 70$  )

V - muy alta plasticidad (  $\omega_L = 70 - 90$  )

E - extremadamente alta plasticidad (  $\omega_L > 90$  )

U - en el rango de plasticidad alta (  $\omega_L > 35$  )

Para los suelos granulares las características de graduación se obtienen de la curva granulométrica, mientras que para los suelos finos el nombre y el símbolo del grupo se escoge empleando la carta de plasticidad de la figura II.5 en base a los valores del índice de plasticidad y límite líquido; en el caso de la turba su clasificación se realiza solamente con la apreciación visual de la presencia predominante de materia orgánica, el color negro o café oscuro y el olor característico.

La letra que describe el tamaño de la parte predominante se escribe primero en el grupo de símbolos, continuando con las letras que indican las características de la parte secundaria como la graduación, plasticidad y presencia de materia orgánica; en el nombre del grupo el componente principal se escribe con mayúsculas, como ejemplos:

GWM - GRAVA limosa bien graduada

CHSO - ARCILLA orgánica arenosa de alta plasticidad

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Para el sistema unificado SUCS la base de la clasificación es el material que pasa el tamiz de 75 mm, siendo granular si más del 50 % es retenido por el tamiz No. 200 o suelo fino si el 50 % o más pasa el tamiz mencionado; estos grupos se dividen a su vez en subgrupos, correspondiendo a cada grupo un símbolo formado por una letra prefijo y una sufijo. La tabla II.4 presenta un resumen.

El grupo de símbolos que se utilizan para los suelos granulares son:

Letras prefijo.

G - grava (si el 50 % o más de la parte granular es retenida por el tamiz No. 4).

S - arena (cuando más del 50 % de la fracción granular pasa el tamiz No. 4).

Letras sufijo.

W - bien graduado o P - mal graduado (depende de los valores de  $C_u$  y  $C_c$ ).

M - limoso o C - arcilloso (en base a los valores de  $\omega_L$  e  $I_p$ ).

Si menos del 5 % del suelo pasa por el tamiz No. 200 los sufijos que se usan son W o P, si más del 12 % pasa ese tamiz se utilizan M o C, y cuando el porcentaje de finos está entre 5 – 12 % se emplea una clasificación intermedia con símbolos dobles.

En relación a los suelos finos el grupo de símbolos son:

Letras prefijo.

M - limo.

C - arcilla.

O - suelo orgánico.

Letras sufijo.

L - baja plasticidad ( $\omega_L < 50\%$ ).

H - alta plasticidad (  $\omega_L > 50\%$  ).

La clasificación se apoya sólo en los límites de Atterberg de la parte de suelo que pasa por el tamiz No. 40 y se obtiene con la carta de plasticidad de la tabla II.4; los suelos situados por encima de la línea A son las arcillas inorgánicas y los situados por debajo son los limos y las arcillas orgánicas.

La turba y los demás suelos con bastante contenido orgánico se clasifican por inspección visual y se agrupan con el símbolo *Pt*.

La clasificación sitúa un suelo en un limitado número de grupos basándose en la graduación y plasticidad de una muestra de suelo alterada sin conocer las condiciones particulares en las que se encuentra en el terreno; por eso la descripción completa del suelo debe incluir información no sólo de los tamaños de las partículas, graduación y plasticidad, sino también detalles acerca del color, grado de compactación o resistencia, macroestructura y estado de meteorización del suelo en su estado natural inalterado.

Una descripción completa del suelo requiere una inspección visual cuidadosa, un examen manual en el campo y probablemente también de las muestras inalteradas llevadas al laboratorio.

Para los suelos granulares la inspección a simple vista para describirlos es fácil; siendo difícil para arenas finas, limos y arcillas por lo cual se han desarrollado pruebas simples para la evaluación rápida de tamaño y plasticidad.

### III) FILTRACIÓN Y REDES DE FLUJO.

La presión intersticial que se presenta en un suelo con frecuencia no es la que corresponde a las condiciones hidrostáticas, sino a la formada por el flujo de agua a través de los poros del mismo.

Considerando una estructura cimentada en un depósito de suelo, el agua se almacena una altura determinada aguas arriba, la diferencia de nivel del agua entre los lados de la estructura (por ejemplo una presa de concreto), formará una filtración a través del suelo desde el lado aguas arriba hasta el lado aguas abajo.

Cuando se inicia el flujo la presión intersticial en el suelo pasa de los valores iniciales a los valores finales que deben ser compatibles con las nuevas condiciones de frontera hidráulicas y con los cambios de volumen que se presentan en la masa de suelo.

Durante este período el flujo varía en función del tiempo y se le conoce como flujo transitorio; pero cuando la presión intersticial en toda la masa se equilibra con las nuevas condiciones de frontera, el flujo se vuelve independiente del tiempo y se le denomina flujo estacionario.

La velocidad a la cual la presión intersticial se ajusta a los nuevos valores de equilibrio depende del tipo de suelo. Para el caso de gravas y arenas de drenaje libre que permiten un flujo rápido del agua, la presión es capaz de equilibrarse muy rápidamente, y puede suponerse que luego de cualquier cambio en las condiciones de frontera hidráulicas, el flujo estacionario en éstas se establece de manera instantánea. Mientras que el flujo estacionario para las arcillas de drenaje lento puede tardar varios años en establecerse y el período de flujo tiene importancia principalmente en el estudio de la expansión y consolidación de los suelos arcillosos.

La teoría del flujo estacionario se puede aplicar a problemas de campo de flujo de aguas subterráneas tales como los siguientes:

- 1) Flujo bajo presas de concreto y vertedores cimentados en suelos permeables.
- 2) Flujo en excavaciones en suelos permeables.
- 3) Flujo hacia pozos o pozos de alivio.
- 4) Flujo a través de presas de tierra.

De acuerdo con Osborne Reynolds en sus investigaciones realizadas hacia finales del siglo XIX, el flujo del agua se produce en dos estados característicos diferentes llamados flujo laminar o flujo turbulento.

El flujo laminar es ordenado y en capas, en donde cada partícula de agua fluye siguiendo una trayectoria bien definida que nunca corta la trayectoria de otra; en el rango de este flujo el gradiente hidráulico es proporcional a la velocidad del flujo, y éste se presenta cuando las velocidades son bajas. Mientras que el flujo turbulento sucede a altas velocidades, donde se observa un patrón más irregular y en el que las trayectorias de flujo se entrecruzan al azar, en éste el gradiente hidráulico varía con el cuadrado de la velocidad.

Considerando que los poros de la mayoría de los suelos son pequeños, se tendrán velocidades del flujo pequeñas y por lo tanto en la mayor parte de los casos el flujo de las aguas subterráneas es laminar.

Los poros de una masa de suelo están interconectados de forma compleja y aleatoria provocando en ella canales de flujo irregular, estrechos y entrelazados, por lo cual se hace difícil analizar el flujo en cada poro individualmente; para el caso de los problemas de ingeniería relacionados con la filtración de agua a través de los suelos, el análisis no se centra en el microflujo en cada poro sino en el macroflujo que se presenta a través de todos los poros de un elemento de suelo suficientemente grande para que sea representativo de toda la masa. Este tipo de flujo fue estudiado en el año de 1856 por el francés Henry Darcy con una serie de experimentos sobre lechos filtrantes de arena del sistema de abastecimiento de agua de Dijon, y cuya forma se presenta en la figura III.1.

En sus experimentos la columna vertical de arena de longitud  $\Delta D$  y sección transversal A se conecta arriba y abajo con recipientes con agua que producen un flujo descendente a través de ella; en un punto P en la arena la carga total H en el agua es igual a la suma de la carga de posición  $h_e$ , la carga de presión  $h_p$  y la carga de velocidad  $h_v$ .

$$H = h_e + h_p + h_v \quad (3.1)$$

La carga de posición es la altura por encima de un nivel de referencia arbitrario y se le puede asignar el valor de z,

$$h_e = z \quad (3.2)$$

La carga de presión es la altura del agua en un tubo vertical o piezómetro, y equivale a

$$h_p = \frac{u}{\rho_w g} \quad (3.3)$$

donde:  $u$  es la presión intersticial en el suelo

$\rho_w$  es la densidad del agua

$g$  es la gravedad

Y finalmente, la carga de velocidad se calcula como:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (3.4)$$

En relación con los problemas de flujo de agua subterránea se ha encontrado que la carga de velocidad en la mayoría de ellos es muy pequeña y es posible despreciarla.

Por lo tanto, la ecuación (3.1) con las ecuaciones de las diferentes cargas y la consideración anterior se transforma en:

$$H = h_e + h_p = z + \frac{u}{\rho_w + g} \quad (3.5)$$

En un fluido la carga piezométrica es la suma de la carga de presión y la de posición, de esta manera en las aguas subterráneas la carga total es igual a la carga piezométrica.

Además la viscosidad produce una resistencia al flujo en los canales formados por los poros, lo que provoca una disminución de la carga total o pérdida de energía en el agua que fluye a través de la arena; también se tiene que la carga piezométrica arriba y abajo de la

## BORDOS DE PROTECCIÓN

columna de arena se pueden medir instalando piezómetros en los puntos 1 y 2, donde la diferencia de nivel piezométrico entre los tubos constituye la diferencia de carga total  $\Delta h$  en la columna de arena.

Del resultado de sus experimentos Darcy concluyó que el gasto  $Q$  que pasa a través de la arena es directamente proporcional a la sección transversal  $A$  y a la diferencia de carga total  $\Delta h$  e inversamente proporcional a la longitud  $\Delta D$ , obteniendo la siguiente expresión:

$$Q = kA \frac{\Delta h}{\Delta D} \quad (3.6)$$

Donde  $k$  es una constante de proporcionalidad llamada coeficiente de permeabilidad y  $\Delta h/\Delta D$  es la pérdida de carga a través de la arena la cual se le conoce como gradiente hidráulico  $i$ .

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta D} \quad (3.7)$$

La relación  $Q/A$  es la velocidad de descarga  $v$ , con lo cual la ecuación (3.6) tomando en cuenta la ecuación (3.7) se transforma en:

$$v = ki \quad (3.8)$$

Esta última ecuación es la ley de Darcy para el flujo a través de los suelos y en la que se observa que la velocidad de descarga es directamente proporcional al gradiente hidráulico; tiempo después Reynolds determinó que ésta es una característica distintiva del flujo laminar.

Por otra parte, el coeficiente de permeabilidad es una propiedad de los suelos y se determina mediante la experimentación; por la dificultad de obtener muestras inalteradas de arenas y gravas el coeficiente de los suelos de drenaje libre sin cohesión se determina en el campo mediante pruebas de bombeo, mientras que para el caso de los suelos arcillosos éste



## BORDOS DE PROTECCIÓN

se obtiene en el laboratorio. A continuación se presentan los valores de los coeficientes para diferentes suelos naturales.

Tipo de suelo	Coficiente de permeabilidad (m/s)
Grava	$> 10^{-2}$
Arena gravosa	$10^{-3} - 10^{-2}$
Arena gruesa	$10^{-4} - 10^{-3}$
Arena fina	$10^{-6} - 10^{-4}$
Turba	$10^{-7} - 10^{-6}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-7}$
Arcilla arenosa	$10^{-9} - 10^{-8}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

El experimento de Darcy es un caso particularmente simple de filtración en estado estacionario en el que la dirección del flujo se conoce en todos los puntos del suelo, sin embargo en la mayoría de los casos de flujo en aguas subterráneas la dirección varía en el espacio en el que éste tiene lugar y la determinación de la trayectoria constituye parte del problema, por lo que es necesario expresar la velocidad de descarga en cualquier punto en términos de sus componentes con referencia a un sistema preseleccionado de coordenadas.

Para el caso del sistema de coordenadas cartesiano ortogonal  $(X, Y, Z)$ , si éste se hace coincidir con el sistema de direcciones principales de permeabilidad de la masa de suelo,

donde  $Z$  es el eje vertical al plano horizontal que  $X$  y  $Y$  forman, entonces las componentes de la velocidad de descarga en las 3 direcciones de referencia son:

$$v_x = k_x i_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.9)$$

$$v_y = k_y i_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3.10)$$

$$v_z = k_z i_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3.11)$$

Las 3 ecuaciones representan la Ley de Darcy generalizada para el flujo en tres dimensiones; donde  $k_x$ ,  $k_y$  y  $k_z$  son los coeficientes de permeabilidad,  $i_x = -\partial h/\partial x$ ,  $i_y = -\partial h/\partial y$ ,  $i_z = -\partial h/\partial z$  son los componentes del gradiente hidráulico en las tres direcciones de referencia respectivamente.

El signo negativo indica que  $v_x$ ,  $v_y$  y  $v_z$  son positivas en la dirección del flujo, es decir, en la dirección en que disminuye la carga total.

## IV) ESTABILIDAD DE TALUDES.

Para el análisis de la estabilidad de taludes (masas de suelo sin retención), éstos se clasifican en infinitos y finitos.

Un talud es infinito en la práctica si las propiedades del suelo a la misma profundidad son iguales y si la profundidad  $D$  hasta el substrato resistente es pequeña y constante comparada con la longitud total del talud (figura IV.1). Para dicha geometría, cualquier movimiento de la masa o falla del talud a menudo produce un desplazamiento del suelo que involucra una longitud muy superior a su profundidad, como lo muestra la superficie potencial de falla indicada en la figura IV.1. Si los efectos en los extremos inferior y superior del desplazamiento no se consideran, es posible tomar una tajada vertical de suelo de ancho  $\Delta b$  como representativa de la totalidad de la masa en falla, en cuyo caso la consideración del equilibrio estático simple de esta tajada típica permite obtener las relaciones que expresan la estabilidad del talud.

En el caso de un talud de extensión finita (figura IV.2), este tipo representa el caso más general en el cual es necesario considerar la estática de la totalidad de masa que falla, por lo tanto el análisis de los taludes finitos casi siempre es más complejo que el de los taludes infinitos. Esta categoría de taludes incluye los de corte para carreteras, vías férreas y canales, y los terraplenes de vías y presas de tierra.

Algunos ejemplos de taludes infinitos son: en arena sin filtración, en arena con filtración estacionaria y en arcilla sujeta a una filtración estacionaria.

En relación a la estabilidad de cortes construidos en suelos arcillosos en los que la superficie potencial de falla tiende a ser profunda, se ha encontrado por observaciones de campo en taludes de arcilla homogéneos que dicha superficie se aproxima a un arco circular (figura IV.3).

Cuando el corte se construye en un depósito natural de arcilla saturada, el cambio de la presión intersticial en cualquier punto está dado por la ecuación:

$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad (4.1)$$

La cual puede reordenarse de la siguiente manera:

$$\Delta u = \frac{1}{2}(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3) + \left(A - \frac{1}{2}\right) * (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad (4.2)$$

La reducción del esfuerzo principal promedio provocará una disminución de la presión intersticial, esta disminución se atenuará o acentuará dependiendo del término que es función del esfuerzo cortante y de si el valor del parámetro A de presión es mayor o menor que 1/2. La variación real de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  se puede calcular con base en la teoría de elasticidad o teoría de plasticidad, dependiendo del estado como se encuentre el suelo; tales cálculos fueron realizados por Bishop y Bjerrum (1960), y las partes a y b de la figura IV.3 presentan la disminución típica de la presión intersticial en un punto P situado sobre la superficie potencial de deslizamiento.

En el transcurso del tiempo la presión intersticial en la arcilla aumenta de forma gradual y se estabiliza cuando llega en el largo plazo al equilibrio en todos los puntos con el flujo de filtración estacionario, por tanto el esfuerzo efectivo disminuye en todos los puntos y en consecuencia la resistencia al corte y el factor de seguridad disminuyen con el tiempo como se muestra en la figura IV.3c.

Para estos taludes en la práctica se estudia la estabilidad a corto y a largo plazo; realizando primeramente el análisis a largo plazo en términos de los esfuerzos efectivos, para posteriormente deducir directamente el factor de seguridad a corto plazo.

En la estabilidad a largo plazo se tiene una transición de la presión activa de tierras en la cresta hasta la presión pasiva de tierras cerca de la base del talud; en el análisis se designan con  $c'_m$  y  $\phi'_m$  los valores de la cohesión efectiva y el ángulo de fricción efectivo movilizados para evitar la falla por cortante a lo largo de la superficie de deslizamiento potencial (figura IV.4).

## BORDOS DE PROTECCIÓN

La frontera entre las zonas activa y pasiva corresponde a un plano vertical cualquiera tal como el plano CD; en el punto C, la continuidad del plano de deslizamiento requiere que:

$$\theta'_a + \theta'_p = 90^\circ$$

Para esta condición se obtiene que los parámetros de resistencia al corte en esfuerzos efectivos movilizados en CD,  $c'_{wm}$  y  $\delta'_m$  están definidos por:

$$\frac{c'_{wm}}{c'_m} = \frac{\delta'_m}{\phi'_m} = 1$$

Para tal estado  $\theta'_a$  y  $\theta'_p$  son máximos y están dados por:

$$\theta'_a = 45^\circ - \frac{\phi'_m}{2} \quad \text{y} \quad \theta'_p = 45^\circ + \frac{\phi'_m}{2}$$

El plano de deslizamiento en el punto C forma entonces un ángulo  $\phi'_m$  con la horizontal.

Cuando la masa está en equilibrio la componente horizontal del empuje activo movilizado en el plano CD ( $P_{ham}$ ) es igual a la componente horizontal de la resistencia pasiva movilizada ( $P_{hpm}$ ), si se acepta que la superficie de deslizamiento tiene forma de arco circular puede usarse un procedimiento alternativo que consiste en plantear el equilibrio de momentos alrededor del centro de rotación potencial en donde se igualan el momento actuante producido por el peso de la masa de suelo y el momento resistente producido por la resistencia al corte del suelo movilizada a lo largo de la superficie de deslizamiento potencial.

Para el equilibrio de las fuerzas horizontales, en la figura IV.4 se presentan las fuerzas que actúan en un elemento de suelo en el lado activo de CD. La resistencia al corte movilizada en la base del elemento está dada por:

$$S_m = c'_m \Delta b \sec \alpha + N' \tan \alpha \phi'_m \quad (4.3)$$

donde  $c'_m = \frac{c'}{F}$  y  $\tan \phi'_m = \frac{\tan \phi'}{F}$  (4.4)

Entonces al resolver horizontalmente.

$$\Delta E_{am} = N \sin \alpha - S_m \cos \alpha \quad (4.5)$$

Sustituyendo  $S_m$  y con  $N = N' + U$ , donde  $U = u \Delta b \sec \alpha$  (u es la presión intersticial promedio en la base del elemento).

$$\Delta E_{am} = (N' + u \Delta b \sec \alpha) \sin \alpha - (c'_m \Delta b \sec \alpha + N' \tan \phi'_m) \cos \alpha$$

$$\Delta E_{am} - u \Delta b \tan \alpha + c'_m \Delta b = N' \cos \alpha (\tan \alpha - \tan \phi'_m) \quad (4.6)$$

Al resolver en el sentido vertical.

$$\Delta W - \Delta X_{am} = N \cos \alpha + S_m \sin \alpha \quad (4.7)$$

Sustituyendo  $N$  y  $S_m$ .

$$\begin{aligned} \Delta W - \Delta X_{am} &= (N' + u \Delta b \sec \alpha) \cos \alpha + (c'_m \Delta b \sec \alpha + N' \tan \phi'_m) \sin \alpha \\ \Delta W - \Delta X_{am} - u \Delta b - c'_m \Delta b \tan \alpha &= N' \cos \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi'_m) \end{aligned} \quad (4.8)$$

Si dividimos la ecuación (4.6) entre la ecuación (4.8).

$$\frac{\Delta E_{am} - u\Delta b \tan \alpha + c'_m \Delta b}{\Delta W - \Delta X_{am} - u\Delta b - c'_m \Delta b \tan \alpha} = \tan(\alpha - \phi'_m)$$

Despejando  $\Delta E_{am}$ :

$$\begin{aligned} \Delta E_{am} &= \Delta W \tan(\alpha - \phi'_m) - \Delta X_{am} \tan(\alpha - \phi'_m) - u\Delta b [\tan(\alpha - \phi'_m) - \tan \alpha] \\ &\quad - c'_m \Delta b [\tan \alpha \tan(\alpha - \phi'_m) + 1] \end{aligned} \quad (4.9)$$

Por consiguiente,

$$\begin{aligned} P_{ham} &= \sum_A^C \Delta E_{am} = \sum_A^C \Delta W \tan(\alpha - \phi'_m) - \sum_A^C \Delta X_{am} \tan(\alpha - \phi'_m) \\ &\quad - \sum_A^C u\Delta b [\tan(\alpha - \phi'_m) - \tan \alpha] - \sum_A^C c'_m \Delta b [\tan \alpha \tan(\alpha - \phi'_m) + 1] \end{aligned} \quad (4.10)$$

Anteriormente se estableció que en el plano CD,  $c'_{wm} = c'_m$  y  $\delta'_m = \phi'_m$  de donde la fuerza cortante vertical en CD =  $c'_m h_{CD} + P'_{ham} \tan \phi'_m$  y en A la fuerza cortante vertical = 0.

Si se acepta que toda la variación del cortante se produce en el plano CD, se llega a un cálculo del empuje activo más conveniente; entonces  $\Delta X_{am} = c'_m h_{CD} + P'_{ham} \tan \phi'_m$  en C y desde allí hasta el punto A la fuerza cortante vertical es cero, resultando que en la ecuación (4.10) el término

$$\sum_A^C \Delta X_{am} \tan(\alpha - \phi'_m) = (c'_m h_{CD} + P'_{ham} \tan \phi'_m) \tan(\alpha_C - \phi'_m) = 0$$

Puesto que  $\alpha_C = \phi'_m$ , reduciéndose la ecuación (4.10) a

$$P_{ham} = \sum_A^C \Delta W \tan(\alpha - \phi'_m) - \sum_A^C u \Delta b [\tan(\alpha - \phi'_m) - \tan \alpha] - \sum_A^C c'_m \Delta b [\tan \alpha \tan(\alpha - \phi'_m) + 1] \quad (4.11)$$

Al considerar las siguientes relaciones trigonométricas:

$$\tan(\alpha - \phi'_m) = \tan \alpha - \frac{\tan \phi'_m \sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m} \quad (4.12)$$

$$\tan(\alpha - \phi'_m) - \tan \alpha = -\frac{\tan \phi'_m \sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m} \quad (4.13)$$

$$\tan \alpha \tan(\alpha - \phi'_m) + 1 = \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m} \quad (4.14)$$

Sustituyendo estas identidades en la ecuación (4.11) tenemos que:

$$P_{ham} = \sum_A^C \Delta W \tan \alpha - \sum_A^C [(\Delta W - u \Delta b) \tan \phi'_m + c'_m \Delta b] \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m} \quad (4.15)$$

Si se considera ahora un elemento en el lado pasivo de CD (figura IV.4) y se adopta una convención de signo común para  $\alpha$ , de tal forma que el signo de  $\alpha$  en el elemento que se muestra sea negativo, se obtiene de manera similar lo siguiente:

$$P_{hpm} = -\sum_B^C \Delta W \tan \alpha + \sum_B^C [(\Delta W - u \Delta b) \tan \phi'_m + c'_m \Delta b] \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m} \quad (4.16)$$



De nuevo se acepta que el cortante se disipa completamente en el plano CD, lo cual conduce al cálculo de la resistencia pasiva más conveniente.

Para el equilibrio horizontal  $P_{ham} = P_{hpm}$ , y al igualar las ecuaciones (4.15) y (4.16) obtenemos:

$$\sum_A^B \Delta W \tan \alpha = \sum_A^B [(\Delta W - u\Delta b) \tan \phi'_m + c'_m \Delta b] \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi'_m}$$

Finalmente con la ecuación (4.4) y al dividir la masa de suelo en n tajadas, se tiene que el factor de seguridad (F) es:

$$F = \frac{\sum_1^n [(\Delta W - u\Delta b) \tan \phi' + c' \Delta b] \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \frac{1}{F} \tan \alpha \tan \phi'}}{\sum_1^n \Delta W \tan \alpha} \quad (4.17)$$

Al considerar que la superficie de falla es un arco circular y plantear el equilibrio de momentos según el cual el momento actuante alrededor del centro de rotación producido por el peso de las tajadas es igual al momento resistente producido por la resistencia al corte del suelo movilizada a lo largo de la base de las tajadas, Bishop (1955) encontró lo siguiente:

$$F = \frac{\sum_1^n [(\Delta W - \Delta X - u\Delta b) \tan \phi' + c' \Delta b] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{1}{F} \tan \alpha \tan \phi'}}{\sum_1^n \Delta W \operatorname{sen} \alpha}$$

Para la solución de esta ecuación es necesario conocer la distribución de las fuerzas cortantes verticales a través de la masa de suelo; sin embargo, si se consideran varias distribuciones probables se encuentra que las fuerzas  $X$  pueden no tomarse y la precisión que se pierde es mínima, por lo tanto  $\Delta X$  es insignificante y:

$$F = \frac{\sum_1^n [(\Delta W - u\Delta b)\tan\phi' + c'\Delta b] \frac{\sec\alpha}{1 + \frac{1}{F}\tan\alpha\tan\phi'}}{\sum_1^n \Delta W \sin\alpha} \quad (4.18)$$

Al comparar las ecuaciones (4.17) y (4.18) se ve la semejanza de las dos expresiones de  $F$ , pero entre ambas existen dos diferencias muy importantes; la primera es que al establecer la ecuación (4.17) se consideró una distribución particular de la fuerza cortante vertical a través de la masa de suelo que maximiza el empuje activo y minimiza la resistencia pasiva, por lo tanto se llega a un cálculo del factor de seguridad más conveniente, y la segunda consiste en que en la misma ecuación no interviene la ecuación de la superficie de deslizamiento y puede aplicarse a trayectorias de deslizamiento circulares o no circulares. En contraste la ecuación de Bishop (4.18) es estrictamente válida solo para superficies circulares de deslizamiento, sin embargo los análisis rigurosos de Morgenstern y Price (1965) indicaron que dicha ecuación se puede aplicar también a superficies no circulares de deslizamiento con muy pequeña pérdida de precisión.

Como el factor de seguridad está en ambos lados de las ecuaciones (4.17) y (4.18) para obtenerlo se usa un procedimiento iterativo; para ello a  $F$  se le asigna un valor de 1 y se calcula  $F$ , se prosiguen las iteraciones hasta que los valores de  $F$  no difieran en más de 0.01, la convergencia en general es muy rápida y a menudo se logra luego de dos o tres iteraciones.

Normalmente el período de excavación es corto comparado con el tiempo que se necesita para la disipación del exceso de presión intersticial de tal forma que la arcilla estará en

estado no drenado al final de la construcción, por ello la estabilidad del talud en corte se puede analizar a corto plazo en función de los esfuerzos totales.

La ecuación para el factor de seguridad se obtiene directamente de la ecuación en esfuerzos efectivos para el largo plazo considerando  $c' = c_u$ ,  $\phi' = \phi_u = 0$  (cuando el suelo está saturado) y no tomando en cuenta el término que depende de  $u$ , ya que la presión intersticial no aparece de manera explícita en el análisis en esfuerzos totales.

Para el equilibrio de fuerzas horizontales, a partir de la ecuación (4.17) se tiene:

$$F = \frac{\sum_1^n c_u \Delta b \sec^2 \alpha}{\sum_1^n \Delta W \tan \alpha} \quad (4.19)$$

Y para el equilibrio de momentos, a partir de la ecuación (4.18) obtenemos que:

$$F = \frac{\sum_1^n c_u \Delta b \sec \alpha}{\sum_1^n \Delta W \operatorname{sen} \alpha} \quad (4.20)$$

El análisis a corto plazo se facilita grandemente con el uso de gráficos de diseño desarrollados por Taylor (figura IV.5), en éste se relaciona el ángulo  $i$  del talud con el número de estabilidad  $c_{um} / \rho_s g H$  donde  $c_{um}$  es el valor de la resistencia al corte no drenada que se necesita para mantener el equilibrio a lo largo de la superficie de deslizamiento más crítica. El factor de seguridad contra la falla por corte no drenada es:

$$F = \frac{c_u}{c_{um}} \quad (4.21)$$

Para taludes con ángulos de inclinación a  $53^\circ$  el círculo crítico pasa a través de la base del talud con el punto más bajo del arco de falla en la base del talud; mientras que para ángulos de inclinación inferiores a  $53^\circ$  el círculo crítico pasa bajo la base del talud y es tangente al substrato resistente. En estos casos el centro del círculo crítico por lo general se localiza en una línea vertical que pasa por el punto medio del talud.

Para el caso de la estabilidad de terraplenes se tiene que pueden construirse para vías o para presas.

En relación al terraplén para vías como se muestra en la figura IV.6a, la falla puede producirse al interior del terraplén o siguiendo la superficie de falla más profunda que pasa a través del suelo de cimentación, por lo cual se necesita garantizar que el factor de seguridad contra la falla del terraplén y contra la falla de la cimentación sea el más conveniente.

Al estudiar la estabilidad propia del terraplén (figura IV.6), el esfuerzo cortante y la presión intersticial en un punto P sobre la superficie de falla potencial se incrementan debido al peso del terraplén y al avance de la construcción; cuando la construcción finaliza el esfuerzo cortante en todos los puntos permanece constante (figura IV.6b), y en ese instante la presión intersticial comienza a disminuir hasta que llega a cero en todos los puntos (figura IV.6c), por ello el esfuerzo efectivo en todos los puntos aumenta y en consecuencia la resistencia al corte del material del terraplén también aumenta. De esta manera el factor de seguridad del terraplén es mínimo al final de la construcción y crece con el tiempo cuando se inicia la consolidación (figura IV.6d), por esto el factor de seguridad al final de la construcción constituye el criterio de diseño.

Si la altura del terraplén no es muy grande y la construcción es relativamente rápida, casi siempre no hay suficiente tiempo para que al final de la construcción se produzca alguna disipación de la presión intersticial y para su evaluación es apropiado el análisis en esfuerzos efectivos; como los materiales del terraplén tienden a estar parcialmente

saturados ( $\phi_u \neq 0$ ) y ya que  $c_u$  y  $\phi_u$  no son únicos es preferible realizar el cálculo de estabilidad a corto plazo al final de la construcción en términos de esfuerzos efectivos usando la ecuación (4.17) o (4.18), para este fin se necesita predecir la distribución de la presión intersticial a lo largo de la superficie de falla.

Para un cambio de esfuerzos totales en condiciones no drenadas, la variación de la presión intersticial se calcula con la ecuación:

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (4.22)$$

Y al reordenar de la siguiente manera queda como:

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1} = \bar{B} \quad (4.23)$$

Donde

$$\bar{B} = B \left[ 1 - (1 - A) \left( 1 - \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} \right) \right] \quad (4.24)$$

El parámetro de presión intersticial  $\bar{B}$  puede obtenerse con ensayos triaxiales especiales en los que la muestra se somete a cambios de esfuerzos que corresponden a los que se espera tener en el campo. La determinación precisa de  $\bar{B}$  no es fácil debido a los parámetros que intervienen en su cálculo ( $B$ ,  $A$ ,  $\Delta\sigma_3/\Delta\sigma_1$ ), por eso Bishop y Henkel citan valores de  $\bar{B}$  iguales a 0.5 y 0.75 para dos materiales de relleno típicos.

Por la variación de la fuerza cortante vertical al interior de una sección transversal de un terraplén, los esfuerzos principales mayor ( $\sigma_1$ ) y menor ( $\sigma_3$ ) no corresponden al vertical y al horizontal; pero como los taludes de un terraplén tienden a ser relativamente tendidos y en ese caso la rotación de los esfuerzos principales no es muy grande, se considera el

cambio del esfuerzo principal mayor ( $\Delta\sigma_1$ ) igual al cambio del esfuerzo vertical ( $\Delta\sigma_v$ ), con lo cual la ecuación (4.23) se transforma en:

$$\Delta u = \bar{B} \Delta\sigma_v \quad (4.25)$$

Si la presión intersticial inicial en cualquier punto se designa con  $u_0$  entonces la presión intersticial  $u$  producida por un cambio de esfuerzos totales se calcula como  $u = u_0 + \Delta u$ .

Sustituyendo la ecuación (4.25) en la expresión anterior, ésta queda como:

$$u = u_0 + \bar{B} \Delta\sigma_v \quad (4.26)$$

En un depósito natural  $u_0$  está definida por la profundidad con respecto al nivel freático; en terraplén compactado a menudo  $u_0$  es una succión y puede tener valores negativos altos en suelos arcillosos que estén a la humedad óptima o por debajo de ella, mientras que en los rellenos de suelos de baja plasticidad situados en el lado húmedo con respecto al óptimo  $u_0$  es pequeña y puede despreciarse en un diseño inicial reduciéndose la ecuación (4.26) a:

$$u = \bar{B} \Delta\sigma_v \quad (4.27)$$

Las ecuaciones (4.26) y (4.27) permiten obtener la máxima presión intersticial bajo condiciones de carga no drenada. Por otra parte, si la velocidad de construcción del terraplén es tal que al final de ésta ya se ha producido alguna consolidación, se necesita calcular dicha consolidación basándose en una teoría apropiada.

Por las dificultades inherentes a la predicción precisa de las presiones intersticiales que se esperan en el campo, en todos los proyectos de construcción de gran envergadura es necesario instalar una instrumentación para verificar las presiones durante el avance de la construcción, lo que permitirá modificar el diseño en caso de ser necesario.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Si en el diseño del terraplén se obtiene un factor de seguridad inadecuado al final de la construcción ( $F < 1.5$ ) entonces se debe reducir la pendiente de los taludes y / o disminuir la velocidad de la construcción, aumentando ambos factores el costo de la construcción.

Por otro lado, si la velocidad de construcción no es conveniente reducirla y si los taludes del terraplén no se pueden modificar entonces se necesita acelerar la velocidad de consolidación del material del terraplén mediante la incorporación de mantos drenantes de arena horizontales.

En el caso de la estabilidad de presas de tierra, la figura IV.7 presenta los cambios del esfuerzo cortante, la presión intersticial y el factor de seguridad que se producen al interior de una presa de tierra durante su construcción y posteriormente durante la operación del embalse.

Durante su construcción el esfuerzo cortante y la presión intersticial en un punto P localizado sobre la superficie de deslizamiento aumenta por la acción del peso del relleno (figura IV.7b y IV.7c), al final de la construcción la presión comienza a disminuir inicialmente pero sube de nuevo cuando se llena el embalse; mientras que la influencia del confinamiento producido por la presión del agua en el talud de aguas arriba reduce los esfuerzos cortantes en este talud, pero los esfuerzos se incrementan de nuevo durante el vaciado rápido del embalse.

De la figura IV.7d se observa que las etapas críticas del talud de aguas arriba se presentan al final de la construcción y durante un desembalse rápido, en tanto que para el talud de aguas abajo éstas se presentan al final de la construcción y durante el flujo estacionario con el embalse lleno.

Cuando la presa está cimentada sobre un depósito de arcilla es conveniente verificar la estabilidad general con respecto a una falla con una superficie de deslizamiento profunda que pase por el suelo de cimentación.

### V) DISEÑO DE LOS BORDOS.

La información básica necesaria tanto de campo como de gabinete para efectuar el proyecto de los bordos es la siguiente: visita de reconocimiento, estudios geológicos, topográficos, hidrológicos, geotécnicos y mecánica de suelos, hidráulicos; con lo cual finalmente se realiza el diseño.

#### 1) Visita de Reconocimiento.

El primer paso del estudio es la visita de inspección al sitio o zona donde se pretende proteger contra las inundaciones, con el fin de obtener información preliminar que permita determinar la factibilidad técnica y económica de la posible obra.

La información básica por recopilar consiste en aspectos socioeconómicos, topográficos, climatológicos, hidrológicos y geológicos, población, localización del bordo y bancos de materiales, caminos de acceso, etc.; presentando todo lo anterior en un informe escrito donde se incluyen fotografías y conclusiones donde se indique si se continúa o no con la obra.

#### 2) Estudio Geológico.

Como la capacidad de almacenamiento de un bordo es muy pequeña (microalmacenamiento), no se requiere efectuar un estudio geológico a detalle del lugar; solo bastará hacer una descripción de la geología superficial de la zona, complementándose con la información presentada en las cartas geológicas del INEGI.

Durante el recorrido de la visita de inspección es importante y necesario reconocer todos aquellos rasgos geológicos que pueden afectar la construcción de la obra, entre ellos que el suelo sea permeable y que existan fallas o fracturas en el lugar.

En la descripción se incluirá el tipo de suelo, origen, formación, tipo de roca y composición mineralógica predominante; procurando también realizar pruebas de campo con el fin de



definir si el suelo es apto para la construcción del bordo y de esta manera detener o continuar con los trabajos evitando una mala inversión de tiempo y dinero.

### 3) Estudios Topográficos.

Cuando se ha seleccionado el sitio de la obra se realizan estos estudios para obtener la planimetría y altimetría del mismo, para lo cual se elaborarán planos donde se presente la configuración del área de estudio.

En este punto, lo primero que se necesita determinar es la delimitación de la cuenca, obteniendo su área al trazar el parteaguas en las cartas topográficas escala 1:50 000 editadas por el INEGI.

Luego se efectuará el levantamiento topográfico de la zona de estudio en la longitud considerada donde se abarque el cauce del río y las márgenes derecha e izquierda, para ello se trazará una poligonal de apoyo que estará referida a un sistema coordinado y ligada a un banco de nivel ubicado cerca del lugar del estudio y cuyos valores X, Y, Z estén verificados por alguna Dependencia.

La poligonal será abierta y para su trazo se puede utilizar el método de iteraciones en la medición de ángulos de los puntos de inflexión con tránsito y distanciómetros para las longitudes, o usando el aparato estación total con el que se obtienen las coordenadas y distancias entre los vértices.

Las tolerancias permitidas tendrán una precisión en cierre angular de  $T\alpha = 10\sqrt{N}$ , donde  $T\alpha$  es la tolerancia en segundos y N es el número de vértices de la poligonal; y en cierre lineal de 1:25000.

Además se trazarán secciones transversales sobre la poligonal de apoyo, en general perpendiculares a ella y en ocasiones esviajadas para evitar acumulación de puntos en algunas zonas, equidistantes a cada cien metros en los tramos donde no existen bordos y a cada quinientos metros donde sí existen, y en distancias parciales donde se presenten cambios de dirección fuertes; también se realizará la nivelación de la poligonal para obtener el perfil longitudinal del terreno y asimismo con los datos de las secciones se obtendrán las

## BORDOS DE PROTECCIÓN

elevaciones del perfil del fondo del cauce, de las márgenes y de la corona de los bordos existentes en su caso.

Cuando no exista un banco de nivel de referencia en la zona se llevará a cabo una nivelación diferencial con el propósito de ligar un banco verificado cercano al sitio y el que se colocará próximo al inicio del trazo, por otra parte a lo largo de éste se ubicarán otros bancos de nivel equidistantes entre quinientos o mil metros los cuales servirán para trabajos posteriores.

También será necesario referenciar todos los puntos de inflexión con tres puntos por cada uno; y adicionalmente realizar la monumentación de la poligonal colocando en dos vértices y dejando de hacerlo en otros dos, siendo obligatorio monumentar el primero y el último punto, además se colocarán tres monumentos en cada punto seleccionado para garantizar su referenciación. Las mojoneras serán de concreto de  $f'_c = 100Kg/cm^2$  en forma de pirámide truncada con las siguientes dimensiones: parte superior de 0.20 x 0.20 m, base de 0.40 x 0.40 m y de altura 0.60 m, las cuales contendrán una varilla corrugada de 3/8" de diámetro y  $f'_y = 4000Kg/cm^2$  que sobresaldrán dos centímetros; estos monumentos serán colocados de tal manera que la distancia entre ellos y el vértice sea la necesaria para quedar protegidos de cualquier labor, y cuando el terreno natural lo requiera se les dará una fijación confiable a base de mortero de cemento. Todos los puntos referenciados se ubicarán con su ángulo y distancia al vértice respectivo.

Como parte de los trabajos topográficos se realizarán levantamientos a detalle de las confluencias, de las estructuras existentes (cruces y entradas de agua), y de sitios de proyecto (inicio y final del trazo); además para el caso de puentes se presentarán dos secciones transversales, una aguas arriba y la otra aguas abajo, mientras que para sifones y entradas de agua solo una sección.

Con todo lo anterior se dibujará la planta y configuración topográfica de la zona a escala 1:10000 para el plano general y los de detalle 1:2000, con curvas de nivel equidistantes a cada 0.50 metros, e indicando todos los puntos de importancia de la planimetría y los bancos de nivel, así como la tabla de cálculo de la poligonal de apoyo; los perfiles longitudinales se presentarán a escala horizontal y vertical para los planos generales y de detalle respectivamente a 1:10000 y 1:100, y 1:2000 y 1:100. Con respecto a las secciones

transversales se realizarán en general a escala horizontal 1:200 y vertical 1:100, dependiendo de la longitud de ellas. En relación a los levantamientos de detalle se harán a escala 1:200 y curvas de nivel a cada 0.50 m, y sus secciones transversales a escala 1:100 horizontal y vertical.

Finalmente se hará un informe de todos los aspectos topográficos donde se incluirá un reporte fotográfico.

#### 4) Estudios Hidrológicos.

Tienen por objeto determinar el dimensionamiento del bordo en base a las características hidrológicas del río, conociendo la avenida máxima y el gasto de diseño; para su realización se requiere conocer primeramente si existe alguna estación hidrométrica cercana o sobre el cauce en estudio, y después obtener la siguiente información: volumen de escurrimiento mensual; gastos máximos, medios y mínimos mensuales; y volúmenes de sólidos en suspensión, además de la ubicación de la estación.

Cuando no se cuenta con estaciones hidrométricas se recurre a la información de las estaciones climatológicas en el sitio o cercanas, obteniendo su localización y registros de: temperaturas, evaporación, precipitación mensual y precipitación máxima en 24 horas. Los datos de estas estaciones son recopilados por algunas dependencias gubernamentales, entre las que se pueden citar la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En general para este tipo de proyectos de bordos solo se necesita tener la información de una estación.

Dentro de este concepto se necesitan obtener las características físicas de la cuenca, las cuales determinan la transformación de la precipitación en escurrimiento, entre ellas se pueden mencionar: condiciones físicas del suelo y la cobertura vegetal, área de la cuenca, longitud del cauce principal, elevación de la cuenca, pendiente del cauce y tiempo de concentración.

En relación a la pendiente del cauce se pueden utilizar los siguientes criterios: simplificado el cual consiste en dividir el desnivel del río entre su longitud; pendiente de la recta equivalente que se obtiene por la pendiente de una línea recta que se apoya en la salida de

## BORDOS DE PROTECCIÓN

la cuenca y tiene igual área arriba y abajo respecto al perfil; y la fórmula de Taylor-Schwarz que es un promedio de las pendientes que se calculan de dividir el perfil del río en tramos iguales.

Con respecto al tiempo de concentración que se define como el tiempo necesario para que el escurrimiento de una tormenta fluya desde el punto más alto o alejado de la cuenca hasta la salida o sitio de interés, su valor se considera una característica constante de cada cuenca y se conoce con las letras  $t_c$ .

Para su cálculo existen varias fórmulas entre las cuales se tienen las siguientes:

Fórmula de Chow.

$$t_c = 0.01 \left( \frac{L}{S^{1/2}} \right)^{0.64} \quad (5.1)$$

L en m,  $t_c$  en h y S en %.

Fórmula de Rowe.

$$t_c = 0.385 \left( \frac{0.88L^3}{H} \right) \quad (5.2)$$

L y H en m,  $t_c$  en min.

Fórmula de Kirpich.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

$$t_c = 0.01595 \left[ \left( \frac{L^3}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{0.077} \quad (5.3)$$

L y H en m,  $t_c$  en min.

Fórmula de Forest Resauces Division.

$$t_c = \frac{L^{1.15}}{15H^{0.38}} \quad (5.4)$$

L y H en Km,  $t_c$  en h.

Fórmulas de E. Basso.

$$t_c = 0.067 \left( \frac{L}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{0.77} \quad (5.5)$$

$$t_c = 0.067 \left( \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}} \right) \quad (5.6)$$

L y H en Km,  $t_c$  en h y S en %.

Otro aspecto de este estudio es la selección del período de retorno  $T_r$ , asociado a una avenida de diseño y que se escoge en función de la importancia de la obra y los daños esperados en caso de que dicha avenida sea sobrepasada; este período de retorno se define

como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual ese evento puede ser igualado o excedido una vez en promedio. Por lo tanto si un evento igual o mayor ocurre una vez en  $Tr$  años, su probabilidad de ocurrencia  $P$  es igual a 1 en  $Tr$  casos, es decir:

$$Tr = \frac{1}{P} \quad (5.7)$$

De lo anterior se tiene que la probabilidad  $P$  de que en un año cualquiera se iguale o se exceda el gasto de diseño con un período de retorno  $Tr$  es

$$P = \frac{1}{Tr} \quad (5.8)$$

Además la probabilidad  $Pn$  de que no ocurra en cualquier año será

$$Pn = 1 - P = 1 - \frac{1}{Tr} \quad (5.9)$$

Por otra parte la probabilidad  $Pn$  de que en  $L$  años de vida útil de la obra no ocurra ni una vez el gasto de diseño o alguno mayor es igual a

$$Pn^L = \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^L \quad (5.10)$$

Finalmente la probabilidad  $R$  de que cuando menos una vez en la vida útil de la obra se presente el gasto de diseño o uno mayor está dada por la expresión:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

$$R = 1 - Pn^L = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^L \quad (5.11)$$

Con el valor de la vida útil operacional de una obra y un cierto riesgo de que la misma falle, el período de retorno se puede calcular con la última ecuación, presentándose en la tabla V.1 dichos valores. Mientras que en la tabla V.2 se indican algunos períodos de retorno en función del tipo de obra o las características de la zona por proteger, tomando siempre en cuenta para la selección definitiva del período los siguientes factores: las consecuencias de la falla de la obra, la vida real esperada de la misma y no solo la vida útil económica, el costo del incremento de la seguridad y la disponibilidad económica.

Después se realiza el análisis de la precipitación al procesar estadísticamente las lluvias máximas en 24 horas con el fin de construir las curvas de precipitación-duración-período de retorno y obtener el gasto o avenida de diseño.

De los registros de precipitación máxima en 24 horas se selecciona el máximo de los doce valores mensuales formando de esta manera la serie de máximos anuales, los cuales son ordenados de mayor a menor y asignándoles un período de retorno con la expresión:

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad (5.12)$$

Donde  $Tr$  período de retorno en años

$n$  número de años de registro

$m$  número de orden del evento (1 para el mayor y  $n$  para el menor)

Luego se aplican distintas funciones de distribución de probabilidad empleadas comúnmente en hidrología para obtener la extrapolación de la información, algunas de estas funciones son: Gumbel Simple o Distribución de valores extremos tipo I (exponencial) y Log-Pearson tipo III (asimétrica). Este análisis permite obtener la

## BORDOS DE PROTECCIÓN

precipitación de una hora de duración y período de retorno de 2 años, obteniendo posteriormente las curvas de precipitación - duración – período de retorno.

Para concluir el análisis hidrológico se estimará el gasto de diseño al aplicar alguno de los métodos que existen para ello; entre los métodos empíricos se pueden mencionar el de la U. S. Soil Conservation Service y el de la fórmula Racional, y de los Hidrológicos el Hidrograma Unitario Triangular (HUT) y el Hidrograma Adimensional.

La ventaja de los primeros métodos es su facilidad y rapidez de estimación, con la desventaja de que fueron deducidos para diferentes condiciones geográficas, climatológicas y geológicas de las cuencas; mientras que los segundos tienen la ventaja de reproducir la avenida en base a las lluvias máximas y las características de la cuenca, teniendo como desventaja la indeterminación de la parte de lluvia absorbida por el suelo.

Adicionalmente se obtendrán las curvas de gastos–períodos de retorno para el río y sus respectivos hidrogramas; presentando finalmente un informe de las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos en este estudio hidrológico.

### 5) Estudios Geotécnicos.

El propósito de estos estudios es conocer las características y propiedades de los suelos que servirán para desplantar los bordos y para su formación, ya sea del producto de excavación o de bancos de préstamo, así como en su caso de bancos de grava y arena, y de roca y rezaga.

Para lograr lo anterior se ejecutarán trabajos de campo, de laboratorio y de gabinete; siendo las propiedades y características más importantes por determinar las de granulometría, permeabilidad, clasificación del suelo (SUCS) y resistencia a la compresión triaxial.

Antes de efectuar los trabajos de campo es necesario establecer un posible trazo de los ejes de los bordos y del eje del encauzamiento, para que al momento de ir a la zona de estudio se definan los sitios donde se realizarán éstos; así como los posibles bancos de materiales.

Para estos trabajos se llevará a cabo la excavación de pozos a cielo abierto (PCA), los cuales serán mínimo de 2 x 1.5 m y una profundidad máxima de 3 m o hasta encontrar roca; la separación de éstos será inicialmente de 500 m para el encauzamiento y a cada 1000 m



## BORDOS DE PROTECCIÓN

para los bordos, mientras que para los bancos no excederán de tres pozos. En todos se obtendrán muestras que serán llevadas al laboratorio. Las ventajas al excavar los pozos son: no se requiere equipo de perforación, se pueden inspeccionar de forma directa las paredes y se obtienen muestras de gran tamaño.

Los tipos de muestreo más comunes usados para estos proyectos son: muestreo alterado integral, alterado parcial e inalterado parcial. Para las primeras muestras en una de las paredes se excava una zanja de 20 x 20 cm y el material se recoge en un saco de manta, el suelo no se conserva en su estado natural y se obtiene un promedio de sus propiedades mecánicas; en el segundo caso en una de las paredes se delimitan los estratos y se toma una muestra de cada uno para su análisis; y respecto a los terceros las muestras son de forma cúbica de 25 cm por lado, extraídas del fondo o de una pared conservando sus características naturales, sirven para prever el comportamiento de la cimentación y determinar la estabilidad del talud.

Con respecto a los bancos de materiales será necesario conocer su nombre, espesor aprovechable, nivel freático y distancia al eje del encauzamiento; posteriormente cuando se seleccionen los bancos definitivos se realizará un levantamiento topográfico del mismo y se excavarán otros pozos a cielo abierto.

En relación a los trabajos de laboratorio se puede mencionar que se aplicarán las siguientes pruebas a las muestras obtenidas: granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, permeabilidad, peso volumétrico, compactación, triaxial rápida saturada y rápida consolidada; siguiendo las normas establecidas.

Con la granulometría se determina el tamaño de los granos del suelo, obteniendo los porcentajes respectivos mediante el empleo de mallas; con la prueba de compactación próctor se determina el contenido de humedad y el peso volumétrico seco óptimo, posteriormente al construir el terraplén se realizan calas y se calcula el peso volumétrico seco que al dividir entre el óptimo determina el grado de compactación, considerando un terraplén bien compactado cuando el grado de compactación es mayor de 90 %.

La prueba de compresión triaxial rápida no drenada sirve para obtener la cohesión y ángulo de fricción interna que son importantes en la resistencia al esfuerzo cortante; mientras que

la prueba de compresión triaxial rápida consolidada determina los mismos parámetros pero en condiciones de saturación.

En la prueba de permeabilidad que es la característica del suelo que evalúa la facilidad que presenta éste al paso del agua cuando está saturado, se determina su coeficiente de permeabilidad  $K$  mediante dispositivos llamados permeámetros. Los de carga constante se utilizan en suelos relativamente permeables como gravas, arenas o mezclas de ellas, los valores de  $K$  varían de  $100 \text{ cm/seg}$  a  $0.001 \text{ cm/seg}$ ; mientras que los de carga variable se usan en suelos relativamente impermeables como mezclas de arenas, limos y arcillas; limos con arcillas, o arcillas donde  $K$  varía entre  $1 \cdot 10^{-4}$  a  $1 \cdot 10^{-9} \text{ cm/seg}$ .

Con toda la información del laboratorio se realizan los trabajos de gabinete; entre los cuales está la clasificación SUCS de todas las muestras, el análisis de estabilidad de taludes, la representación gráfica de todas las pruebas y dentro del informe la presentación en planos de la localización de todos los PCA y los bancos de materiales.

### 6) Estudios Hidráulicos.

La finalidad de estos estudios es conocer y determinar el perfil del nivel del agua a lo largo del cauce del río para diferentes condiciones de análisis, para posteriormente definir las posibles opciones de solución del problema.

El primer análisis que es necesario efectuar es el funcionamiento hidráulico del río en condiciones naturales para obtener el gasto que puede conducir sin presentarse desbordamientos, para ello se emplea un modelo matemático y se apoya con las secciones transversales levantadas anteriormente, con lo cual se pueden calcular varios perfiles para diferentes gastos.

El siguiente análisis consiste en realizar el funcionamiento hidráulico para los gastos asociados a algunos períodos de retorno (50, 100, 500 y 1000 años), considerando en cada uno diferentes opciones de rasante de rectificación y anchos de plantilla, las estaciones para el cálculo pueden ser las del levantamiento topográfico o en cadenamientos cerrados separados a distancias iguales, tomando en cuenta además todas las variables necesarias en la aplicación del método analítico.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

También se aplicarán diversos criterios para la determinación de la socavación general en el cauce del río, y en su caso la socavación local al pie de estructuras.

Todos los resultados obtenidos se presentarán en tablas y en forma gráfica los perfiles respectivos, así como las características geométricas consideradas.

Cuando se procede en forma analítica se debe tomar en cuenta que el cálculo de los niveles se puede realizar de dos diferentes maneras dependiendo del tiempo que dura el gasto máximo de la avenida; si la duración es mayor que el tiempo que necesita la cresta de la onda para transitar a todo lo largo de la zona protegida se considera que el flujo es permanente (figura V.1), mientras que cuando es menor el flujo es no permanente o transitorio y es lo que ocurre con mayor frecuencia.

Otro aspecto que se debe tener presente es la separación de los bordos; si éstos se piensan construir adyacentes a las márgenes o sobre los barrotes se acepta que el agua escurrirá por una sección única con rugosidad similar en toda ella (figura V.2a), y para el caso en que se encuentren separados de la orilla (figura V.2b) se tendrá una sección compuesta formada por una sección del cauce principal y otra del cauce de avenidas. Si en este último cauce las zonas (2) y (3) presentan tirantes y rugosidades similares (figura V.3) se considera una sección única con ancho  $B_u = B_2 + B_3$ .

Por lo anterior y apoyándose en las figuras V.1 a la V.3 se pueden presentar las siguientes condiciones para el cálculo:

Flujo permanente en el cauce principal.

Flujo permanente en la sección compuesta.

Flujo no permanente o transitorio en el cauce principal.

Flujo no permanente o transitorio en la sección compuesta.

Para el primer caso del flujo permanente en el cauce principal, las características hidráulicas se obtienen de la aplicación de las ecuaciones de energía y de continuidad.

Para un escurrimiento a superficie libre al aplicar la ecuación de la energía entre dos secciones (figura V.4) se tiene que:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

$$z_{i+1} + d_{i+1} + \frac{V_{i+1}^2}{2g} = z_i + d_i + \frac{V_i^2}{2g} + \sum h_f \quad (5.13)$$

Y con la ecuación de continuidad

$$Q = AV \quad (5.14)$$

Donde

Q - gasto de diseño en m<sup>3</sup>/s

A - área de la sección en m<sup>2</sup>

V - velocidad media en la sección en m/s

g - aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>

z - elevación media del fondo del río medida sobre un plano horizontal de comparación en m

d - profundidad media o tirante medio en la sección en m

$\sum h_f$  - pérdidas de carga debidas a la fricción en m

Con respecto a las pérdidas se puede aplicar cualquier fórmula de resistencia al flujo; aunque una de las más utilizadas es la de Manning cuya expresión es:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\sum h_f}{\Delta L} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.15)$$

Por lo tanto al despejar  $\sum h_f$  se tendrá lo siguiente:

$$\sum h_f = \left( \frac{nV}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \Delta L \quad (5.16)$$

Donde

R - radio hidráulico en m

$\Delta L$  - distancia entre las dos secciones en m

n - coeficiente de rugosidad de Manning

En el valor del coeficiente de rugosidad se pueden tener en cuenta otros efectos que contribuyen a la pérdida de carga como ampliaciones, curvas, etc. (tabla V.3).

Las pérdidas por fricción de la ecuación (5.13) deben considerar tanto las condiciones de escurrimiento en la sección i como en la i+1, de la siguiente manera:

$$\sum h_f = \left( \frac{nV_i}{R_i^{2/3}} \right)^2 \frac{\Delta L}{2} + \left( \frac{nV_{i+1}}{R_{i+1}^{2/3}} \right)^2 \frac{\Delta L}{2} \quad (5.17)$$

Sustituyendo la ecuación (5.17) en la ecuación (5.13) y considerando la velocidad en función del gasto, el tirante  $d_{i+1}$  se puede obtener del conocido  $d_i$ , llegando a la expresión:

$$d_{i+1} + \frac{Q^2}{A_{i+1}^2} \frac{1}{2g} - \left( \frac{nQ}{R_{i+1}^{2/3} A_{i+1}} \right)^2 \frac{\Delta L}{2} = z_i - z_{i+1} + d_i + \frac{Q^2}{A_i^2} \frac{1}{2g} + \left( \frac{nQ}{R_i^{2/3} A_i} \right)^2 \frac{\Delta L}{2} \quad (5.18)$$

Para el cálculo se necesita conocer la geometría de las secciones y determinar para cada tirante su área, perímetro mojado y radio hidráulico ( $d_i$ ,  $A_i$ ,  $P_i$  y  $R_i$ ), con lo cual el segundo miembro de la ecuación (5.18) es conocido y la variable por obtener es  $d_{i+1}$ ; ya que el área y el radio hidráulico están en función del tirante, es decir,  $A = f_1(d)$  y  $R = f_2(d)$ .

## BORDOS DE PROTECCIÓN

En los ríos los escurrimientos generalmente tienen régimen subcrítico, por lo tanto la ecuación (5.18) se aplica de aguas abajo hacia aguas arriba; aunque en ocasiones con ciertos cuidados se puede realizar en sentido contrario. Para la solución es necesario seleccionar adecuadamente la sección final de aguas abajo en donde se conozca la elevación del agua, entre las que pueden ser la del mar, lagos o lagunas costeras, una sección hidrométrica, o una estructura donde se tenga una sección de control. Al final del cálculo se tendrán los perfiles del agua para cada gasto y las curvas elevaciones – gastos en cada sección.

En relación con el segundo caso, flujo permanente en sección compuesta, lo descrito anteriormente se aplica para las dos áreas en que se subdivide la sección (figura V.3), siendo común en la práctica juntar las dos secciones laterales y que los tramos mojados  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  solo se utilizan para obtener el perímetro mojado y el radio hidráulico del cauce principal.

Con la ecuación (5.18) se determinan por separado para cada cauce su curva elevaciones-gastos, y después sumando los gastos para iguales elevaciones se obtiene la curva respectiva para la sección compuesta, y el perfil y las elevaciones en cada sección.

Para el flujo transitorio o no permanente (tercero y cuarto caso), se cumple para la ecuación de continuidad que:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial d}{\partial t} = 0 \quad \text{o} \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (5.19)$$

Y para la ecuación dinámica:

$$S_f - S_0 + \frac{\partial d}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (5.20)$$

$$y \quad S_f = \frac{V^2}{C^2 R} \quad (5.21)$$

donde R - radio hidráulico en m

Q - gasto en m<sup>3</sup>/s

B - ancho de la superficie libre en m

d - tirante en m

A - área hidráulica en m<sup>2</sup>

V - velocidad media en m/s

S<sub>0</sub> - pendiente del fondo adimensional

S<sub>f</sub> - pendiente hidráulica o pérdida de carga por unidad de longitud adimensional

C - coeficiente de rugosidad de Chezy

Además t es el tiempo, el eje x se considera paralelo al eje del río y el eje z es vertical.

En relación al coeficiente de rugosidad es posible utilizar otras fórmulas de resistencia al flujo como la de Manning o la de Darcy-Weisbach, teniendo entre los coeficientes C de Chezy, n de Manning y f de Darcy-Weisbach la siguiente relación:

$$\frac{V}{V_*} = \frac{V}{(gRS)^{1/2}} = \frac{C}{(g)^{1/2}} = \frac{R^{1/6}}{n(g)^{1/2}} = \left(\frac{8}{f}\right)^{1/2} \quad (5.22)$$

Donde V<sub>\*</sub> es la velocidad al cortante en m/s y S = S<sub>f</sub>.

La solución de las ecuaciones anteriores permite obtener la elevación de la superficie del agua, el gasto y la velocidad para diferentes secciones y distintos tiempos; mientras que para el último caso donde la situación es más compleja ya que existe escurrimiento en la dirección y (perpendicular a la dirección principal del río), el problema se debe resolver bidimensionalmente.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Ampliando lo descrito para el flujo transitorio en cauces se puede mencionar que las ecuaciones que lo describen con una aproximación aceptable son un modelo simplificado de la realidad donde están incluidos los efectos más importantes del flujo desde el punto de vista ingenieril; las ecuaciones se basan en las hipótesis de Saint – Venant, las cuales son:

- 1) El flujo es unidimensional por lo tanto la velocidad es uniforme en la sección transversal y el nivel del agua en dirección normal al flujo es horizontal.
- 2) La curvatura de las líneas de corriente y las aceleraciones verticales son pequeñas, y la distribución de presiones es hidrostática.
- 3) Las leyes de fricción y turbulencia utilizadas para el flujo uniforme permanente son válidas para el flujo no permanente.
- 4) La pendiente del fondo del canal o cauce es pequeña.
- 5) La densidad del agua es constante.

La sección del río puede ser de forma arbitraria y variar a lo largo del mismo, siempre y cuando las variaciones no provoquen curvatura fuerte en las líneas de corriente; además el flujo no permanente se describe con dos variables dependientes a lo largo del río y que son el tirante ( $h$ ) y el gasto ( $Q$ ), estando éstas en función de las variables independientes espacio ( $x$ ) y tiempo ( $t$ ).

Por otra parte en hidráulica se cuenta con tres ecuaciones fundamentales que son continuidad, energía y cantidad de movimiento; pero como se ha indicado para el flujo transitorio son suficientes dos variables por lo cual se necesitan solo dos ecuaciones principales, implicando lo anterior que se puede realizar un planteamiento basado en el par de ecuaciones continuidad – energía o continuidad - cantidad de movimiento, empleando la segunda opción por ser más general.

La obtención y deducción de las ecuaciones fundamentales se inicia con la forma más general, para ello se selecciona un volumen de control (figura V.5) en el plano ( $x,t$ ) definido entre las secciones  $x_1$  y  $x_2$  conociendo los valores en el tiempo  $t_1$  y deseando calcularlos en el tiempo  $t_2$ .



Al aplicar el principio de conservación de la masa al volumen de control se tiene que el flujo neto de masa hacia el volumen de control es igual al cambio de almacenamiento en el mismo entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ , quedando en forma integral expresado de la siguiente manera

$$\int_{t_1}^{t_2} [(\rho VA)_{x_1} - (\rho VA)_{x_2}] dt$$

donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $V$  la velocidad media en la sección y  $A$  el área de la sección transversal, además  $(\rho VA)_{x_1}$  es el flujo de masa por la sección  $x_1$  en la unidad de tiempo.

Por otra parte el cambio de almacenamiento de la masa de líquido entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  dentro del volumen seleccionado es

$$\int_{x_1}^{x_2} [(\rho A)_{t_2} - (\rho A)_{t_1}] dx$$

Con lo cual la conservación de masa (ecuación de continuidad) se define mediante la siguiente relación y en donde la densidad se considera constante:

$$\int_{x_1}^{x_2} [(A)_{t_2} - (A)_{t_1}] dx + \int_{t_1}^{t_2} [(Q)_{x_2} - (Q)_{x_1}] dt = 0 \quad (5.23)$$

y donde  $Q = AV$  es el gasto.

Por otro lado se aplica el principio de conservación de la cantidad de movimiento al volumen en estudio, el cual establece que el cambio de cantidad de movimiento dentro del mismo entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  es igual a la suma de la cantidad de movimiento neta que entra al volumen con el flujo más la integral de las fuerzas externas que actúan sobre él;

definiendo a la cantidad de movimiento como el producto de la masa por la velocidad se tiene que  $(\rho VA)(V) = \rho AV^2$ , quedando la cantidad de movimiento neta que entra entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  como

$$\int_{t_1}^{t_2} [(\rho AV^2)_{x_1} - (\rho AV^2)_{x_2}] dt \quad (5.24)$$

Además la cantidad de movimiento contenida en el volumen en cualquier instante  $t$  es

$\int_{x_1}^{x_2} (\rho AV)_t dx$ , con lo cual el cambio entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  será

$$\Delta M = \int_{x_1}^{x_2} [(\rho AV)_{t_2} - (\rho AV)_{t_1}] dx \quad (5.25)$$

En relación a las fuerzas externas que actúan en la dirección  $x$  (figura V.5) se tienen las de presión, gravedad y resistencia al flujo.

La fuerza de presión es la resultante de las fuerzas aplicadas en las fronteras  $x_1$  y  $x_2$  (figura V.5); usando también la figura V.6 de una sección transversal y considerando la distribución hidrostática de presiones en la vertical, la fuerza de presión que actúa en cualquier sección  $x$  será

$$P_x = g \int_0^{h(x)} \rho [h(x) - \eta] \sigma(x, \eta) d\eta$$

Donde  $\eta$  es una altura cualquiera desde el fondo del cauce y  $\sigma$  es el ancho del cauce a la altura  $\eta$ .

El impulso producido por la fuerza de presión es la integral en el tiempo de la resultante de las fuerzas en las secciones  $x_1$  y  $x_2$ , siendo

$$\int_{t_1}^{t_2} (P_{x_1} - P_{x_2}) dt = \rho g \int_{t_1}^{t_2} [(I_1)_{x_1} - (I_1)_{x_2}] dt \quad (5.26)$$

donde  $I_1$  se define con la integral siguiente

$$I_1 = \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \sigma(x, \eta) d\eta \quad (5.27)$$

Cuando el cauce o canal no es prismático se tiene una fuerza adicional de presión debida al cambio de geometría (figura V.7), la cual se calcula como

$$V_x = \rho g \int_{x_1}^{x_2} \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \left[ \frac{\partial \sigma(x, \eta)}{\partial x} \right]_{h_0} d\eta dx$$

El término  $h(x) - \eta$  es la distancia vertical de la superficie libre al centroide del elemento de área  $\sigma d\eta$ ;  $(\partial \sigma / \partial x) d\eta dx$  es el incremento del área hidráulica  $A$  a una altura  $h_0$  medida desde el fondo del cauce en una longitud infinitesimal  $dx$  en la dirección  $x$ , con lo cual  $dA = d\sigma d\eta = (\partial \sigma / \partial x) d\eta dx$ . Por lo tanto la fuerza producida por el cambio de geometría entre los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  es

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} V_x dx dt = \rho g \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \left[ \frac{\partial \sigma(x, \eta)}{\partial x} \right]_{h_0} d\eta dx dt = \rho g \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} I_2 dx dt \quad (5.28)$$

donde la integral  $I_2$  se expresa como

$$I_2 = \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right]_{h_0} d\eta \quad (5.29)$$

Para un canal prismático cual sea la forma de su sección se cumple que  $\sigma(x, h_0) = cte.$  y por lo tanto  $I_2 = 0$ , además debe tomarse en cuenta que  $\partial \sigma / \partial x$  tiene que ser pequeño (cambio

## BORDOS DE PROTECCIÓN

de ancho suficientemente gradual) para que la curvatura de las líneas de corriente sea despreciable y se cumplan las hipótesis mencionadas. Por otra parte en general la fuerza de la presión hidrostática calculada con la ecuación (5.26) es grande comparada con la obtenida con la ecuación (5.28) que es pequeña.

Con respecto a la fuerza generada por la gravedad se tiene que es el componente del peso del agua contenida en el volumen de análisis (figura V.5), en la dirección del eje del cauce y que en cualquier instante se obtiene como

$$F_g = \rho g \int_{x_1}^{x_2} S_0 A dx \quad (5.30)$$

donde  $S_0$  es la pendiente del fondo y se calcula de la siguiente manera

$$S_0 = -\frac{\partial z}{\partial x} = \text{sen} \alpha \cong \tan \alpha$$

La fuerza de resistencia al flujo llamada comúnmente fuerza de fricción se aplica al volumen de control (figura V.5) considerando los esfuerzos cortantes en el fondo y las márgenes del canal, se expresa de manera similar a la ecuación (5.30) mediante una pendiente de fricción  $S_f$  equivalente a la pendiente de la línea de energía necesaria para vencer la resistencia al flujo que se produce por la rugosidad de las márgenes y el fondo, de esta manera la fuerza de fricción es

$$F_r = \rho g \int_{x_1}^{x_2} (S_f A) dx \quad (5.31)$$

Como  $F_g$  y  $F_r$  se presentan en direcciones opuestas, la combinación de ambas en la dirección x y en el intervalo  $t_1$  a  $t_2$  será

$$\int_{t_1}^{t_2} (F_g - F_r) dt = \rho g \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} A (S_0 - S_f) dx dt \quad (5.32)$$

Finalmente teniendo en cuenta las ecuaciones (5.24) a (5.26), (5.28) y (5.32) resulta para densidad constante la siguiente expresión de conservación de cantidad de movimiento en forma integral para canales de cualquier sección transversal

$$\int_{x_1}^{x_2} (Q_{t_2} - Q_{t_1}) dx = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \left( \frac{Q^2}{A} \right)_{x_1} - \left( \frac{Q^2}{A} \right)_{x_2} \right] dt + g \int_{t_1}^{t_2} [(I_1)_{x_1} - (I_1)_{x_2}] dt$$

$$+ g \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} I_2 dx dt + g \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} A(S_0 - S_f) dx dt \quad (5.33)$$

Las ecuaciones (5.13) y (5.33) representan las ecuaciones fundamentales de forma integral conservativa del flujo no permanente a superficie libre, siendo rigurosamente válidas para cualquier volumen de control en el plano  $(x, t)$  y para fenómenos continuos o discontinuos en las variables.

Si aparte se considera que las variables dependientes de las ecuaciones (5.23) y (5.33) son continuas y derivables se puede escribir por expansión en series de Taylor lo siguiente:

$$(A)_{t_2} = (A)_{t_1} + \left( \frac{\partial A}{\partial t} \right) \Delta t + \left( \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} \right) \frac{\Delta t^2}{2!} + \dots$$

$$y \quad (Q)_{x_2} = (Q)_{x_1} + \left( \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \Delta x + \left( \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \right) \frac{\Delta x^2}{2!} + \dots$$

Con la primera expresión se tiene

$$\int_{x_1}^{x_2} [(A)_{t_2} - (A)_{t_1}] dx = \int_{x_1}^{x_2} \left[ \frac{\partial A}{\partial t} \Delta t + \left( \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} \right) \frac{\Delta t^2}{2!} + \dots \right] dx$$

haciendo que  $\Delta t$  tienda a cero e integrando en el tiempo se obtiene

$$\int_{x_1}^{x_2} [(A)_{t_2} - (A)_{t_1}] dx = \int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial A}{\partial t} dt dx$$

ya que los términos de orden dos en adelante son pequeños comparados con los de orden uno ( $\partial A/\partial t$ ); haciendo algo similar con la segunda expresión se tendrá

$$\int_{t_1}^{t_2} [(Q)_{x_2} - (Q)_{x_1}] dt = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \frac{\Delta x^2}{2!} + \dots \right] dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial Q}{\partial x} dx dt$$

Con lo cual la ecuación (5.23) se transforma en la ecuación de continuidad siguiente

$$\int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial A}{\partial t} dt dx + \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial Q}{\partial x} dx dt = \int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) dt dx \quad (5.34)$$

Realizando sustituciones semejantes en los términos de la ecuación (5.33) que es la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento se obtendrá

$$\int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \left[ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (V^2 A)}{\partial x} \right] dt dx = -g \int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \left[ \frac{\partial I_1}{\partial x} - I_2 - A(S_0 - S_f) \right] dt dx \quad (5.35)$$

Para que las integrales de las ecuaciones (5.34) y (5.35) sean válidas en todo el plano  $(x, t)$ , los integrandos deben ser nulos; con lo cual la ecuación (5.34) se modifica a la forma diferencial conservativa de la ecuación de continuidad

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.36)$$

que es semejante a la ecuación (5.19) escrita anteriormente.

Mientras que la ecuación (5.35) se transforma de la siguiente manera; en donde se considera  $V = Q/A$  y se ordena

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} + gI_1 \right) = gA(S_0 - S_f) + gI_2 \quad (5.37)$$

La ecuación (5.37) corresponde a la forma diferencial conservativa de la cantidad de movimiento, y la única condición impuesta es que las variables sean continuas y tengan derivadas continuas al menos una vez.

A las ecuaciones (5.36) y (5.37) también se les conoce como la forma divergente de las ecuaciones diferenciales parciales; como ambas ecuaciones están igualadas a cero se cumple que la derivada total de las funciones vectoriales (masa y cantidad de movimiento) es nula en un contorno cerrado en el plano  $(x,t)$ , ya que por definición si la divergencia de una función es cero dicha función se conserva en un volumen de control.

Por otra parte si se evalúa en la ecuación (5.37) la derivada de  $I_1$  se tiene

$$\frac{\partial}{\partial x} (gI_1) = g \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \sigma(x, \eta) d\eta$$

La regla de Leibniz permite obtener la diferenciación de una integral definida; en este caso si se acepta que  $\sigma(x, h) = B(x)$  y que la integral de  $\sigma d\eta$  es igual al área de la sección, al aplicar la regla resulta

$$\frac{\partial}{\partial x} (gI_1) = g \frac{\partial h}{\partial x} \int_0^{h(x)} \sigma(x, \eta) d\eta + g \int_0^{h(x)} [h(x) - \eta] \left( \frac{\partial B}{\partial x} \right)_{h=cte} d\eta$$

y como el último término es igual al de la ecuación (5.29)

$$\frac{\partial}{\partial x}(gI_1) = gA(x)\frac{\partial h}{\partial x} + gI_2$$

Finalmente al sustituir en la ecuación (5.36) se obtiene

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial h}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (5.38)$$

que es semejante a la ecuación (5.20) escrita antes.

Con la eliminación del término  $gI_1$  ya no se tiene divergencia nula y por consiguiente no se conserva la cantidad de movimiento, por lo tanto la ecuación (5.38) es la forma diferencial no conservativa (no divergente) o forma diferencial de la ecuación dinámica.

Las ecuaciones (5.23) y (5.33), así como la (5.36) y (5.37) o (5.38) son sistemas equivalentes, por lo cual según el problema que se esté resolviendo se utilizará uno u otro; en el caso en que las variables no sean derivables los sistemas diferenciales no son válidos y se empleará para la solución el sistema integral.

La descripción de las ecuaciones fundamentales mencionadas es suficiente para el estudio del flujo transitorio en ríos, sin embargo en ocasiones de antemano se puede considerar que algunos efectos físicos no son importantes ya que su influencia es pequeña, es por eso que existen ecuaciones simplificadas que se usan principalmente en los métodos hidrológicos que son útiles siempre y cuando se tomen en cuenta sus limitaciones.

Para un canal prismático y de la figura V.6 donde  $H = z + h$ , las ecuaciones (5.36) y (5.38) se pueden escribir como

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial(VA)}{\partial x} = 0 \quad (5.39)$$



$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + S_f - S_0 = 0 \quad (5.40)$$

En la ecuación (5.40) o dinámica cada término representa una pendiente; los dos primeros son los de inercia, en el cual el primero es la pendiente de la línea de energía debida a la variación de la aceleración del flujo y el segundo llamado convectivo es la pendiente producida por el cambio de la carga de velocidad ( $V^2/2g$ ) con la distancia. El tercer término es la pendiente de la superficie libre y el cuarto es la pendiente debida a la resistencia al flujo, siendo el último término la pendiente del fondo.

Según el caso de estudio en la ecuación (5.40) los términos adoptan diferentes valores y cambian su importancia en base a las condiciones hidrológicas o hidráulicas, en ríos con pendientes fuertes los términos de inercia se pueden despreciar ya que sus valores son 100 veces más pequeños que los otros, y si además  $\partial H/\partial x$  es pequeña en comparación con la pendiente del fondo la ecuación se reduce a  $S_f - S_0 = 0$ , la cual se aplica en los métodos cinemáticos.

Cuando los dos primeros términos son pequeños, la ecuación (5.40) se escribe como

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K_r^2} = 0 \quad (5.41)$$

ya que  $K_r$  es el factor de conducción en función de la ecuación de resistencia al flujo que se utilice, estas últimas ecuaciones se expresan como

$$Q = K_r (S_f)^r \quad (5.42)$$

Donde  $\alpha$  es un exponente con varios valores, siendo para la fórmula de Manning de  $\frac{1}{2}$  que al sustituir en la ecuación (5.42) se obtiene  $Q = K_r S_r^{1/2}$  y al despejar  $S_r$  se tiene finalmente que

$$S_r = \left( \frac{Q}{K_r} \right)^2 = \frac{Q^2}{K_r^2}$$

Y el cual se ha escrito en la ecuación (5.41).

Si además se considera que el ancho de la superficie libre es constante, la ecuación (5.39) se deriva con respecto a  $x$  y la (5.41) respecto a  $t$  obteniéndose las siguientes expresiones

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x \partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0$$

y

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x \partial t} + \frac{2|Q|}{K_r^2} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q|Q|}{K_r^3} \frac{\partial K_r}{\partial t} = 0$$

Al utilizar la ecuación (5.39) se puede calcular la derivada parcial de  $K_r$  como

$$\frac{\partial K_r}{\partial t} = \frac{dK_r}{dh} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{dK_r}{dh} \left( -\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} \right)$$

Después se elimina  $\partial^2 h / \partial x \partial t$  de las dos expresiones y ordenando los términos se obtiene

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left( \frac{Q}{BK_r} \frac{dK_r}{dh} \right) \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{K_r^2}{2B|Q|} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (5.43)$$

La ecuación (5.43) es una ecuación diferencial parabólica del tipo de convección-difusión y que permite una buena aproximación para el tránsito de avenidas; el gasto es transportado

## BORDOS DE PROTECCIÓN

por convección con celeridad  $(Q/BK_r)(dK_r/dh)$  y el coeficiente de difusión durante el tránsito es  $K_r^2/(2B|Q|)$ . Para la solución se requiere una condición de frontera aguas arriba y otra aguas abajo, siendo también posible considerar el efecto de remansos.

Si por otra parte además de desprejiciar la inercia se acepta que la pendiente es fuerte, no hay efectos de remansos y  $\partial h/\partial x$  se anula porque es pequeño comparado con  $\partial z/\partial x$ , la ecuación (5.40) se reduce a

$$Q = K_r (S_0)^{1/2} \quad (5.44)$$

Donde existe un solo valor del gasto para cada tirante, lo cual al considerar en la ecuación de continuidad se tiene

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left( \frac{dQ}{dA} \right)_{x_0} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.45)$$

La expresión (5.45) se conoce como la ecuación de la onda cinemática, donde la onda es transportada con celeridad  $(dQ/dA)_{x_0}$  a lo largo del río sin sufrir alteración ni modificación.

Por último existen los métodos de almacenamiento los cuales son los más simples, ya que suponen que en éste no influyen ni la inercia ni la resistencia al flujo y el tránsito solo se basa en la ecuación de continuidad; la variación en el almacenamiento es igual al flujo neto en el tramo por lo tanto

$$\frac{dS}{dt} = Q_e - Q_s \quad (5.46)$$

donde

S - volumen de almacenamiento

$Q_e, Q_s$  - gastos de entrada y salida al tramo respectivamente

Además se necesita una segunda relación algebraica entre el almacenamiento y los flujos; siendo la más común la debida a McCarthy y que da lugar al método de Muskingum.

$$S = K[\varepsilon Q_e + (1 - \varepsilon)Q_s] \quad (5.47)$$

Donde K es el parámetro de almacenamiento y  $\varepsilon$  es el factor de peso que afecta los gastos de entrada y salida. En este método existe una relación única entre el gasto y el tirante a lo largo del río y no incluye efecto de remansos, utilizándose cuando no hay datos suficientes para la aplicación de los otros métodos.

Para utilizar los métodos de convección-difusión, onda cinemática y de almacenamiento se necesitan datos de pendientes, topografía simplificada y avenidas previas aforadas; mientras que para la versión integral conservativa, diferencial divergente y diferencial no divergente (dinámica) se requieren datos de geometría de secciones transversales, rugosidad y condiciones de frontera aguas arriba y aguas abajo.

Para la solución de las ecuaciones de almacenamiento, onda cinemática y convección- difusión se utilizan los métodos hidrológicos que consideran el almacenamiento en el tramo y son útiles para tránsito de avenidas, además no toman en cuenta los cambios en la geometría de la sección ni los efectos de remanso, requiriendo pocos datos y obteniendo resultados cualitativos; el más conocido es el de Muskingum y su versión modificada por Cunge, el Instituto de Ingeniería cuenta con el programa PARAM para la obtención de los parámetros del método de Muskingum, y con el programa MUSKCUNG para la aplicación del método Muskingum- Cunge.

Mientras que para resolver las ecuaciones integrales y diferenciales divergentes y no divergentes se emplean los métodos hidráulicos y ya que dichas ecuaciones no tienen solución general analítica se hace necesario usar métodos numéricos, siendo el de diferencias finitas el método con más ventajas por su relativa sencillez y la obtención de resultados suficientemente precisos.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

En el método de diferencias finitas básicamente existen dos tipos de esquemas, los explícitos y los implícitos. En los primeros al aproximarse las derivadas por diferencias se obtiene una sola incógnita en cada ecuación diferencial y para el flujo a superficie libre se pueden calcular los tirantes y velocidades en cada tramo independientemente a partir de valores conocidos en un tiempo dado, teniéndose una restricción en el tamaño del paso de tiempo con respecto al tamaño de los tramos conocida como restricción de Courant y que permite tener resultados físicos realistas y estables, dada por la expresión

$$C_r = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (5.48)$$

Y donde

$$c = v \pm \left( \frac{gA}{B} \right)^{1/2}$$

Para los segundos esquemas se plantean ecuaciones en cada tramo que contienen como incógnitas a las variables en los nudos adyacentes, al escribir ecuaciones para todos los tramos se forma un sistema de ecuaciones con las variables como incógnitas en todos los nudos de tal manera que se tiene una relación de dependencia de una variable con todas las demás. Estos esquemas no están sujetos a la restricción de Courant y son estables para cualquier tamaño del  $\Delta t$ .

Por otra parte se tiene que los métodos hidráulicos incluyen como caso particular a los métodos hidrológicos.

Algunos ejemplos de los esquemas implícitos son los del tipo de Preissmann utilizados extensamente en Europa, y los del tipo de Cruickshank.

El Instituto de Ingeniería tiene el programa TRA-RIOS para transitar avenidas con el método de Cruickshank – Berezowsky, necesitando para ello conocer el hidrograma de

## BORDOS DE PROTECCIÓN

entrada, las secciones transversales y su cadenamamiento, y por consiguiente el número de tramos y sus longitudes.

### 7) Diseño del Bordo.

Con todos los análisis realizados anteriormente y sus resultados se podrá diseñar el bordo, siendo los elementos que lo comprenden la altura, ancho de la corona, taludes, tipo de material y estabilidad de taludes.

La altura del bordo es igual a la altura del tirante de agua correspondiente a la avenida de diseño más el bordo libre, considerando en ocasiones altura del oleaje si existiera y su alcance; en las figuras V.8 y V.9 se presentan dos secciones típicas de bordos. La altura recomendable es de 3 m como mínimo y 15 m como máximo, y para el bordo libre la altura puede variar entre 0.50 y 2.00 m de acuerdo a la importancia de la obra y la seguridad que se tiene al calcular el gasto de diseño y las elevaciones del perfil del agua.

La parte superior del terraplén debe tener una zona plana con el fin de ayudar a la estabilidad y a su vez servir como acceso de personas y tránsito local; por lo tanto se recomienda como ancho mínimo para el tránsito de un vehículo la distancia de 3 m, y por razones de facilidad de construcción, economía y estabilidad un ancho de 4 m para alturas de hasta 5 m, y si la altura está entre 5 y 15 m se sugiere un ancho de 6 m.

Si el material para la construcción del bordo es arcilla se podrán tener taludes 2:1 (horizontal: vertical) o mayores, en caso de ser arena el talud mínimo que se recomienda es de 3:1.

Por otra parte conviene que el bordo sea homogéneo, sin embargo los materiales de los bancos de préstamo pueden tener permeabilidad variable, por ello el material más impermeable debe colocarse del lado que esté en contacto con el río y el más permeable en el lado seco; si es escaso el material impermeable es conveniente colocar una capa gruesa

## BORDOS DE PROTECCIÓN

de este material en la parte expuesta al río, procurando siempre descartar los materiales limosos.

Por último para el análisis de estabilidad de taludes se necesita conocer la altura máxima del terraplén, y de las pruebas de laboratorio del material la cohesión, ángulo de fricción interna, peso volumétrico, contenido de humedad, etc. El análisis debe cumplir con un factor de seguridad y se realiza para comprobar que los taludes propuestos son estables y se eviten fallas posteriores en el mismo; se pueden aplicar diferentes métodos entre los que se tienen el sueco o de las dovelas y el de Taylor para diferentes condiciones de saturación y no saturación, debiendo cumplirse para ambos casos que el factor de seguridad (F. S.) sea mayor o igual a 1.5.

### VI) EJEMPLO DE APLICACIÓN.

#### ANTECEDENTES.

Debido a los fenómenos meteorológicos que se presentan en la costa grande del Estado de Guerrero, con frecuencia en el río Tecpan se han generado escurrimientos que han provocado que se desborde, ocasionando inundaciones en tierras productivas aledañas al río y en forma muy específica al poblado de Tecpan de Galeana, el cual se localiza en las coordenadas 17° 13' de latitud norte, 100° 38' de longitud oeste y una altitud de 40 m.s.n.m., en el municipio de Tecpan de Galeana, en dicho estado.

Asimismo, el arrastre del suelo hacia las partes bajas, ha ocasionado que se azolve el cauce reduciendo considerablemente su capacidad de conducción, provocando su desbordamiento en la época de avenidas, inundando terrenos agrícolas y afectando considerablemente al poblado mencionado.

Dentro de los eventos importantes en la región, cabe mencionar que durante el año de 1963 se presentó un fenómeno meteorológico en la zona, provocando escurrimientos considerables en el río, que aparte de la gran magnitud, la velocidad de arrastre de dichos escurrimientos provocaron la rotura del puente que cruzaba la población.

Las características geográficas del Estado de Guerrero y del sitio en estudio son las siguientes:

#### Localización.

El Estado de Guerrero se localiza al sur de la República Mexicana, al norte colinda con el estado de Michoacán de Ocampo, de México, Morelos y Puebla; al este con Puebla y Oaxaca; al sur con Oaxaca y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico y Michoacán de Ocampo.



## BORDOS DE PROTECCIÓN

### Topografía.

El tramo en estudio del río Tecpan presenta pendientes suaves, ya que se trata de la zona de planicie, y en el río se pueden observar fuertes depósitos de material debido a las velocidades bajas del escurrimiento, así como divagación del mismo, lo cual ocasiona erosión en las márgenes, provocando con esto la pérdida de superficie de tierra de cultivo.

### Geología.

El material geológico en el Estado de Guerrero es de origen predominantemente sedimentario (35.8 %), le sigue el metamórfico (28.62 %), la ígnea extrusiva (8.02 %) y el suelo con 4.02 % de la superficie estatal. La zona de estudio corresponde a la era del mesozoico (Kii) cretácica ígnea intrusiva (S) jurásica sedimentaria.

El material que forma el río se trata de material arenoso con boleos, que en época de lluvias es arrastrado y depositado posteriormente, formando playones en el cauce que ocasionan que el escurrimiento del río divague.

### Clima.

De acuerdo con la clasificación de Koeppen el clima de la zona en estudio es semicálido subhúmedo, con régimen de lluvias en verano, principalmente la temporada de ciclones y con una temperatura promedio de 26°.

### Agricultura y vegetación.

La vegetación en el Estado de Guerrero corresponde en su mayor parte a selva y bosque, además de los tipos de vegetación propia de la zona con presencia de agua, en el resto del territorio la vegetación natural ha sido sustituida para dar lugar a las actividades agrícolas y ganaderas.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

La selva representa en la entidad el tipo de vegetación más abundante, abarca aproximadamente 39 % de la superficie; el bosque cubre el 35 % y ocupa las partes altas templadas de las montañas del estado; mientras que el pastizal presenta una amplia distribución a lo largo del litoral y comprende casi el 9 %.

La agricultura en la entidad tiene un fuerte desarrollo con amplia distribución, la mayor parte de ella tiene carácter temporal cultivándose principalmente: maíz, frijol, coco, mango y jamaica; además en la zona en estudio también se cultiva el café.

Agricultura y vegetación	
Concepto	Porcentaje de la superficie estatal
Agricultura	16.02
Pastizal	8.73
Bosque	35.15
Selva	38.76
Otro	1.43

### Hidrografía.

El río Tecpan tiene su origen en la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur desembocando al Océano Pacífico, teniendo un área drenada de aproximadamente 1,176 km<sup>2</sup>, corre de noreste a suroeste recibiendo por ambos márgenes algunas aportaciones de pequeñas corrientes, que forman su cauce, pasa por la población Tecpan de Galeana, llegando al cruce con la carretera No. 200 que bordea toda la costa de Guerrero, donde se ubica la estación hidrométrica que lleva el mismo nombre del río.

### Vías de comunicación.

La entidad tiene una muy buena infraestructura de transporte, tanto terrestre como aérea y

## BORDOS DE PROTECCIÓN

marítima, ya que es un importante punto turístico, nacional e internacional.

Entre las principales carreteras se encuentra la autopista denominada “Del Sol”, cruza la entidad de norte a sur, viene de la Ciudad de México, pasa por Chilpancingo de los Bravo y termina en la ciudad de Acapulco; con trayectoria similar a la autopista, la carretera federal No. 95 penetra a la entidad por el norte, pasa por Taxco, Iguala, Chilpancingo de los Bravo y llega a la ciudad de Acapulco; la carretera No. 200 bordea toda la costa guerrerense, entra a la entidad por el oeste, sale por el sureste y pasa por las localidades de Ixtapa, Zihuatanejo, Petatlán, Papanao, Tecpan de Galeana, Acapulco, San Marcos, Copala y Cuajinicuilapa.

Ferrocarriles.

Este medio de transporte solo se presenta al norte de la entidad con una longitud aproximada de 93.6 km. El territorio guerrerense cuenta con 16 estaciones e inicia en la estación Santa Fe Tepetlapa, pasa por Iguala y termina en la estación Balsas Sur.

Aeropuertos.

Acapulco y Zihuatanejo, cuentan con aeropuertos internacionales, además para complementar este transporte, la entidad posee 5 aeródromos.

Puertos.

En los puertos de Acapulco y Zihuatanejo, que son los más importantes, se realizan actividades turísticas, comerciales y pesqueras.

Fisiografía.

Guerrero está enclavado en dos provincias fisiográficas, la Sierra Madre del Sur, que abarca casi la totalidad del estado, y el Eje Neovolcánico que cubre una mínima parte de la

## BORDOS DE PROTECCIÓN

primera.

Son cuatro subprovincias que recorren este territorio:

- a) Cordillera costera del sur, en la franja central de este a oeste a lo largo del estado.
  - b) Costas del sur, que se extiende a lo largo de la línea de costa. En conjunto estas dos subprovincias fisiográficas ocupan más de las tres cuartas partes del territorio estatal; y en menor proporción:
  - c) Sierras y valles guerrerenses, al noreste.
  - d) La depresión del Balsas, al norte y noroeste.
- El río Tecpan se ubica en la correspondiente a las costas del sur.

Primeramente se realizó un recorrido de inspección y reconocimiento sobre el río Tecpan, a partir del cruce con la carretera Acapulco - Zihuatanejo y hasta una longitud de aproximadamente unos 8 kilómetros hacia la desembocadura.

La información con que cuenta el área de estudio fue obtenida de diferentes fuentes: Gerencia Estatal de Guerrero (CNA); Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (CNA); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y Unidad de Bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), etc.

La información de datos hidrométricos y datos climatológicos se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional y para el plano topográfico de la zona en estudio se utilizaron las cartas editadas por el INEGI.

Corrientes como el río Tecpan, presentan escurrimientos de tipo perennes y con características de cauces con sus tres zonas, es decir, de montaña, de transición y de planicie. El tramo en estudio de este río se ubica en la zona de planicie, presentando las características típicas, como son: efectos de meandro, pendientes muy suaves y depósitos de material de acarreo.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Los efectos anteriores ocasionan que el cauce tenga una capacidad hidráulica reducida, lo que provoca desbordamientos que afectan a zonas agrícolas y a núcleos de población rurales, los daños se presentan anualmente.

Adicionalmente, la problemática se acrecienta debido a la poca altura de bordos para contener los escurrimientos que se presentan en época de lluvias, ocasionando desbordamientos del río.

Como consecuencia de lo antes indicado se considera necesario efectuar estudios básicos, que permitan definir, tanto el tipo de obras de protección requeridas como la magnitud de las mismas.

### TOPOGRAFÍA.

Se configuró la planta topográfica de la zona del río Tecpan en el tramo en estudio que comprendió el cauce y la franja adicional obtenida en una longitud de 8.19 km, utilizando para ello las secciones transversales levantadas, dicha planta se referenció a un sistema coordinado y se apoyó en una poligonal, la cual se trazó usando el método de iteraciones en la medición de ángulos y empleando aparatos electrónicos (distanciómetros, estación total, etc.) para las distancias.

En la planta topográfica se dibujó e indicó el eje y kilometraje de las secciones transversales, el sistema coordinado y la poligonal de apoyo utilizada para obtener las secciones; dicha planta contiene curvas de nivel equidistantes a cada 0.50 m, dibujándose en un plano general a escala 1:10,000 y planos de detalle a escala 1:2,000, éstos últimos en tramos de dos kilómetros, indicándose además confluencias de corrientes tributarias, descargas de agua, así como estructuras existentes y / o en proyecto. Se trazó la poligonal siguiendo sensiblemente el cauce del río Tecpan.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Los cálculos de la poligonal de apoyo se presentan en la tabla VI.1, siendo la longitud total levantada de 8+191.027 m.

Se realizó un levantamiento adicional hacia aguas arriba del 0+000 al -0+869.24, en la tabla VI.2 se muestra el cuadro de construcción de dicha poligonal.

Las secciones transversales levantadas fueron 83, éstas se hicieron a cada 100 m del Km. 0+000.00 al Km. 8+191.027 de la poligonal de apoyo y normales a ésta, en la tabla VI.3 se muestran los anchos de cada una de ellas siendo la longitud de 26.75 Km. Por otra parte la longitud de las secciones en el tramo adicional fue de 1.54 Km. como se indica en la tabla VI.4, por lo que la longitud total de las secciones levantadas llegó a 28.29 Km.

Los levantamientos de detalles fueron en la Captación (Km. 0+000.00), Incorporación (Km. 3+786.43) e Incorporación (Km. 4+099.43).

Las áreas levantadas en cada uno de los sitios y la longitud de las secciones transversales fueron de:

SITIO	ÁREA (Ha)	LONGITUD (Km.)
Captación (Km. 0+000.00)	3.20	2.10
Incorporación (Km. 3+786.43)	1.91	0.74
Incorporación (Km. 4+099.43)	2.42	0.91
TOTAL	7.53	3.75

Se realizó la liga del banco proporcionado por la CNA, el cual se localiza en la margen derecha del río Tecpan, sobre el puente de la carretera Acapulco – Zihuatanejo, aproximadamente en el cadenamamiento Km. 0+200, con una cota de 33.825 msnm.

Para la referenciación de los vértices de la poligonal de apoyo se colocaron 40 monumentos y para los trabajos se establecieron los siguientes bancos de nivel.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

BANCO	CADEN.	X	Y	COTA
BN-0	0+200	327,110.972	1'906,322.205	33.825
BN-1	1+000	326,664.894	1'905,786.118	22.087
BN-2	2+000	326,203.147	1'905,052.340	18.625
BN-3	3+000	326,252.782	1'904,072.928	16.254
BN-4	4+000	326,073.597	1'903,136.110	13.103
BN-5	5+000	325,746.157	1'902,191.448	12.614
BN-6	7+000	325,229.660	1'900,174.372	9.625
BN-7	8+000	325,402.099	1'899,241.121	6.815

## HIDROLOGÍA.

La cuenca del río Tecpan, forma parte de la Región Hidrológica No. 19, que constituye una unidad muy homogénea, llamada Costa Grande, que abarca todos los ríos de la vertiente del Pacífico comprendidos entre la desembocadura del río Balsas y la del río Papagayo.

Se desarrolla entre los 16° 42' y los 18° 11' de latitud Norte y entre las longitudes 99° 37' a 102° 09' al Oeste de Greenwich. Toda está comprendida dentro del Estado de Guerrero y tiene la forma aproximada de un cuadrilátero cuya base inferior es la costa del Pacífico, su base superior es el parteaguas principal de la Sierra Madre del Sur, hacia el Oeste tiene como lado el parteaguas entre el río Balsas y el primer río, poco importante, de la Región No. 19 propiamente dicha y finalmente, hacia el Este, su otro lado es el parteaguas entre el río La Sabana y el río Papagayo.

Su mayor longitud es de 314 Km. y su máxima anchura, en dirección normal a la línea anterior, es de 60 Km. Así que la relación entre su ancho y su largo es de 1/5 aproximadamente, lo que implica la forma de una faja alargada orientada hacia el Este. Es ilustrativo el dato de que le corresponde un desarrollo longitudinal de litoral de unos 330 Km.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

No obstante que la zona ha estado sujeta a intensos cambios, localmente no han ocurrido dentro de ella modificaciones orográficas de importancia y en todos los ríos se conserva el esquema de: origen en la Sierra Madre del Sur a una altitud media de 2400 m.s.n.m. y recorrido, casi en línea directa y con escasos afluentes, hacia el litoral del Océano Pacífico.

En su mayor longitud, el recorrido aproximado de estas corrientes oscila alrededor de unos 60 Km. y la pendiente media, resultante de las condiciones anteriores, es de un 0.028 como mínimo hasta un máximo de 0.050.

De lo anterior se deduce que se trata de corrientes con fuerte pendiente. Ésta es muy acentuada en la parte inicial de su recorrido, ya que la zona de planicie costera es muy angosta; en efecto, la curva de 100 m.s.n.m., se encuentra por lo general a menos de 10 Km. del litoral, y sólo excepcionalmente llega a alejarse a una distancia mayor.

Por otra parte no hay ninguna cuenca cerrada dentro de la región, a excepción de una pequeña entre los ríos San Jeronimito y Petatlán, cerca de su desembocadura.

Esta corriente presenta una mayor complejidad que las demás de la región en cuanto a su configuración, se desarrolla entre las latitudes norte  $17^{\circ} 07'$  a  $17^{\circ} 40'$  y entre las longitudes oeste  $100^{\circ} 23'$  a  $100^{\circ} 46'$ .

La cuenca (figura VI.1), en términos toscos, adopta la forma de un triángulo cuya base, hacia el Norte está definida por la Sierra Madre del Sur y el vértice inferior está constituido por su desembocadura en el Océano Pacífico. Hacia el Este limita con la cuenca del río Atoyac y hacia el Oeste con la de los ríos San Luis y Nuxco.

Se puede considerar que el origen del río Tecpan está en las cumbres de los cerros Grande, Tres Cruces y Conejo, de la Sierra Madre del Sur, a 2500 m de altitud, en una corriente que baja de Norte a Sur llamada arroyo Magueyes o Tepalcatepec, la que después de unos 25 Km. de recorrido cambia de dirección hacia el Sureste. A los 5 Km. de este cambio recibe,



## BORDOS DE PROTECCIÓN

por la margen izquierda, la aportación del río Carrizal y ya juntos y tras breves tramos de su recorrido, entran al cauce por la margen izquierda, los arroyos Frío y Moreno. Un poco después se le incorpora el río Chiquito que es muy importante, puesto que viene desde el cerro Naranjo, en el parteaguas de la Sierra Madre con rumbo S 45° W, después de recorrer aproximadamente unos 35 Km. En esta confluencia el río Tecpan ya ha descendido hasta una altitud menor de 100 m.s.n.m. y prácticamente baja hacia su desembocadura siguiendo una dirección Sur.

Aproximadamente a unos 15 Km. aguas arriba de la desembocadura y 5 Km. aguas arriba de la población de Tecpan se encuentra la estación hidrométrica Tecpan, donde se cuenta con observaciones, un tanto irregulares, a partir de mediados de 1952, normalizándose en noviembre de 1953. También se miden los sedimentos en suspensión desde enero de 1956.

A 3 Km. aguas abajo de la población de Tecpan todavía recibe este río la aportación del arroyo Juquiaque por la margen izquierda y finalmente desemboca en el Océano Pacífico tras otros 7 Km. más de recorrido. Antes de su desembocadura se divide en dos brazos, que vuelven a reunirse aguas abajo; la zona comprendida entre ellos se conoce como Isla Huizache.

El área de cuenca hasta la estación hidrométrica Tecpan es de 1176 Km<sup>2</sup> y un área total de 1363 Km<sup>2</sup> que tiene hasta su desembocadura al Océano Pacífico.

La mayor parte de la cuenca queda dentro del municipio de Tecpan de Galeana y una fracción menor en el de Coyuca de Benítez.

Después de este río y antes del Atoyac, hay otra zona de unos 155 Km<sup>2</sup>, sin corrientes de importancia, que corresponde, en su mayor parte, a la cuenca propia de la Laguna del Tular.

Con apoyo de los planos topográficos escala 1:50,000, editados por INEGI, se ubicó el sitio de estudio y se delimitó la cuenca de aportación. Una vez trazada ésta, se determinaron

sus principales características fisiográficas, de las cuales, se obtuvo un área total de cuenca igual a 1328 Km<sup>2</sup>.

Se tiene registro de aforos en la estación hidrométrica Tecpan, sobre la corriente principal del río que tiene el mismo nombre, dado que comprende un período amplio de información (1953 a 1999), una vez que se obtuvo esta información de gastos máximos registrados, se procedió a efectuarle un análisis probabilístico a la muestra, con lo que se le aplicaron distintas funciones de ajuste, las cuales fueron la Normal, Lognormal, Gumbel, Gumbel para dos poblaciones, Exponencial y Gamma; las cuales están dadas por las ecuaciones principales siguientes:

Normal.

$$F(x) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (6.1)$$

Lognormal.

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx \quad (6.2)$$

Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (6.3)$$

Gumbel para dos poblaciones.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \left[ p + (1-p)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right] \quad (6.4)$$

Exponencial.

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\delta_1}\right)} \left(\frac{x-\delta_1}{\delta_1}\right)^{\beta_1-1} dx \quad (6.5)$$

Al aplicar las funciones de probabilidad anteriores, a la muestra de gastos máximos anuales de la estación hidrométrica Tecpan, para diferentes períodos de retorno, se

## BORDOS DE PROTECCIÓN

obtuvieron los resultados mostrados en las tablas VI.5 a VI.10, obteniéndose que el error estándar de cada uno de ellos es el siguiente:

MÉTODO	ERROR ESTÁNDAR
NORMAL	500.382
LOGNORMAL	286.332
GUMBEL	326.496
GUMBEL DOS POB.	180.939
EXPONENCIAL	222.870
GAMMA	1,169.445

Aplicando los métodos descritos, para diferentes períodos de retorno, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tr	NORMAL	LOGNOR.	GUMBEL	GUMBEL	EXPONENC.	GAMMA
(Años)	(m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /seg)	II (m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /seg)	(m <sup>3</sup> /seg)
2	981	673	810	651	662	502
5	1,853	1,397	1,729	1,605	1,614	1,585
10	2,311	2,046	2,337	2,616	2,335	2,489
20	2,690	2,805	2,920	3,374	3,055	3,397
50	3,116	4,000	3,675	4,253	4,007	4,523
100	3,400	5,068	4,241	4,884	4,728	5,248
200	3,660	6,293	4,805	5,504	5,448	5,808
500	3,974	8,183	5,549	6,312	6,401	6,292
1000	4,195	9,860	6,111	6,924	7,121	6,491
2000	4,403	11,761	6,673	7,540	7,841	6,603
5000	4,663	14,413	7,415	8,348	8,794	6,674
10000	4,848	16,959	7,977	8,950	9,514	6,700

## BORDOS DE PROTECCIÓN

De los resultados obtenidos, los que se seleccionaron, por presentar un mejor ajuste a la muestra de datos (menor valor del error estándar), fueron los correspondientes a la función Gumbel para dos poblaciones.

Dado que la estación hidrométrica queda aguas arriba del sitio de estudio, y por consiguiente, las áreas de cuenca de ambos sitios no son iguales, hubo la necesidad de hacer un ajuste, en función de la relación de áreas drenadas, empleando para ello, la siguiente expresión:

$$Q_X = Q_H (A_X / A_H)^{5/6} \quad (6.6)$$

En donde:

- $Q_X$  Gasto que vamos a trasladar al sitio de proyecto, en  $m^3/s$
- $Q_H$  Gasto inferido del ajuste hasta la estación hidrométrica Tecpan, en  $m^3/s$
- $A_X$  Área de cuenca drenada hasta el sitio de proyecto ( $1,242.06 \text{ km}^2$ )
- $A_H$  Área de cuenca drenada hasta la estación hidrométrica ( $1,176.0 \text{ km}^2$ )

Aplicando la expresión anterior, se obtuvieron los siguientes gastos.

Tr (Años)	GASTO ( $m^3/s$ )
2	682
5	1680
10	2738
20	3532
50	4451
100	5112
500	6607

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Debido a que se carece de información hidrométrica en la corriente del arroyo Juquiaque, se infirieron los gastos máximos por medio de un modelo lluvia-escorrentamiento; las características fisiográficas de la cuenca del arroyo, hasta su confluencia con el río Tecpan, se muestran a continuación:

Área de la cuenca	$A = 85.94 \text{ Km}^2$
Longitud del cauce principal	$L = 16.60 \text{ Km}$
Desnivel	$D = 490 \text{ m}$
Pendiente del cauce principal	$S = 0.015575$

Se cuenta con información de lluvias máximas en 24 horas en la estación climatológica Arroyo Frío, Gro., que se encuentra localizada cerca de la cuenca; su registro histórico es:

Año	Hp máx. en 24 hrs. (mm)	Año	Hp máx. en 24 hrs. (mm)
1965	43.00	1976	54.00
1966	86.00	1977	58.00
1967	276.00	1978	80.00
1968	65.00	1979	100.70
1969	76.00	1980	80.00
1970	75.00	1981	83.00
1971	88.00	1982	101.00
1972	95.00	1983	95.00
1973	195.50	1984	237.00
1974	100.00	1985	42.00
1975	76.00	1986	48.90

Como consecuencia de la falta de información se analizaron los datos de las lluvias en el área de influencia de la cuenca, con lo cual se consideró conveniente emplear la muestra de lluvias antes citada, que comprende un período amplio (1965 a 1986). Así se procedió a

## BORDOS DE PROTECCIÓN

efectuarle un análisis probabilístico a la misma, con lo que se le aplicaron las distintas funciones de ajuste ya mencionadas.

Después de aplicar las funciones de probabilidad, a la muestra de lluvias máximas en 24 horas, la función que mejor se ajustó fue la Gumbel para dos poblaciones, lo anterior debido a la cercanía del sitio con la costa y que ésta se encuentra expuesta a huracanes, y generalmente se presentan eventos ciclónicos y no ciclónicos, de igual manera, al efectuar otras pruebas de bondad de ajuste, como la suma de los errores cuadráticos, se volvió a encontrar un resultado similar, es decir, la función Gumbel Doble fue la que obtuvo un menor margen de error. Por consiguiente, se eligieron los resultados obtenidos para dicha función, valores que se presentan en la siguiente tabla.

Tr (años)	Hp máx. 24 hrs. (mm)
2	77.28
5	120.25
10	190.19
20	241.57
50	300.42
100	342.62
500	438.06
1000	479.00

Con base en las lluvias antes determinadas en el ajuste probabilístico, para diferentes períodos de retorno y de las características fisiográficas de la cuenca hasta el sitio de proyecto, se aplicaron los métodos de la fórmula Racional, Hidrograma Unitario Triangular (HUT) y de Ven T Chow.

Para poder aplicar los métodos señalados, primeramente se calculó el tiempo de concentración y el número de escurrimientos N del USSCS (ver tabla VI.11), de la siguiente manera:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

A) Método de Rowe.

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{D} \right)^{0.385} \quad (6.7)$$

B) Método de Kirpich.

$$T_c = 0.0003245 \left( \frac{L * 1000}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (6.8)$$

C) Método de la USSCS.

$$T_c = \left( \frac{(L * 1000)^{1.15}}{3085 * D^{0.38}} \right) \quad (6.9)$$

En donde:

- L Longitud del cauce principal, en kilómetros
- D Desnivel del cauce principal, en metros
- S Pendiente del cauce principal, relación directa

Para el cálculo del número de escurrimientos N del USSCS, se utilizaron los planos de uso y tipo de suelo de INEGI, escala 1:50,000 de donde se obtuvo para la cuenca una N ponderada de 75, los cálculos se muestran a continuación.

De acuerdo con la cartas de INEGI, de uso de suelo, se tiene la siguiente clasificación.

TIPO DE SUELO	CLAVE
CAMBIOSOL	C
LITOSOL	D
REGOSOL	B

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Ponderación del número de escurrimiento N, según el criterio del USSCS, con base en el uso y tipo de suelo.

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	%	N (parcial)	N
Agrícola intensiva	D	0.239	79	18.881
	C	0.083	73	6.059
	B	0.137	60	8.220
Agrícola limitado	D	0.120	83	9.960
	C	0.047	77	3.619
Pastizal	D	0.190	84	15.960
	C	0.009	79	0.711
	B	0.175	69	12.075
			SUMA	75.485

La lluvia media de la cuenca, obtenida con anterioridad, se ajustó a la duración de la tormenta que se recomienda igual al tiempo de concentración de la cuenca ( $T_c$ ), con lo que se obtuvo la lluvia de diseño en la cuenca, para diferentes períodos de retorno.

Una vez determinada la lluvia de diseño, se aplicaron las fórmulas empíricas Racional, del Hidrograma Unitario Triangular (HUT) y Ven T Chow.

A) Fórmula Racional.

$$Q_d = 0.278 * C * I * A \quad (6.10)$$

B) Hidrograma Unitario Triangular (HUT).

$$Q_d = \frac{0.556 * H_e * A}{n * T_p} \quad (6.11)$$



## BORDOS DE PROTECCIÓN

$$T_b = n \cdot T_p \quad (6.12)$$

$$T_p = 0.60T_c + \frac{\Delta t}{2} \quad (6.13)$$

Donde:

He	Lluvia en exceso, en mm
A	Área de la cuenca, en Km <sup>2</sup>
N	Parámetro en función del área de la cuenca
T <sub>p</sub>	Tiempo pico, en horas
T <sub>c</sub>	Tiempo de concentración, en horas
d	Duración de la tormenta, en horas

A su vez la lluvia en exceso (He), se calcula con la expresión:

$$He = \frac{\left( H_p - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left( H_p + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad (6.14)$$

En donde: H<sub>p</sub> es la lluvia media de diseño para los diferentes períodos de retorno y N el número de escurrimientos del USSCS.

C) Ven Te Chow.

$$Q_d = A * X * Y * Z \quad (6.15)$$

donde:

$$X = He / d \quad (\text{Factor de escurrimiento})$$

$$Y = 0.278 \quad (\text{Factor climático})$$

$$Z = Q_p / Q_e \quad (\text{Factor de reducción}); \text{ y está en función de la relación } T_c / T_r \text{ y } T_r \text{ es igual al tiempo de retraso.}$$

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Para determinar los gastos, primeramente se calculó la pendiente media, aplicando el método de Taylor – Schwarz.

$$S_{\text{media}} = \left[ \frac{L}{\frac{I_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{I_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{I_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad (6.16)$$

N°	Caden.	Km	Elev.	Desnivel	S <sub>m</sub>	L <sub>m</sub> /S <sub>m</sub> <sup>0.5</sup>
1	0.00	0.00	10			
2	1.00	1.00	15	5	0.005000	14,142.136
3	2.00	1.00	20	5	0.005000	14,142.136
4	3.00	1.00	30	10	0.010000	10,000.000
5	4.00	1.00	40	10	0.010000	10,000.000
6	5.00	1.00	50	10	0.010000	10,000.000
7	6.00	1.00	60	10	0.010000	10,000.000
8	7.00	1.00	80	20	0.020000	7,071.068
9	8.00	1.00	90	10	0.010000	10,000.000
10	9.00	1.00	110	20	0.020000	7,071.068
11	10.00	1.00	140	30	0.030000	5,773.503
12	11.00	1.00	150	10	0.010000	10,000.000
13	12.00	1.00	180	30	0.030000	5,773.503
14	13.00	1.00	240	60	0.060000	4,082.483
15	14.00	1.00	280	40	0.040000	5,000.000
16	15.00	1.00	340	60	0.060000	4,082.483
17	16.00	1.00	390	50	0.050000	4,472.136
18	16.60	0.60	500	110	0.183333	1,401.298
SUMA						133,011.812

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Longitud total	= 16.60 Km.
Desnivel total	= 490 m
$S_{media}$	= 0.015575276

Cálculo del tiempo de concentración.

A) Método de Rowe.

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{D} \right)^{0.385} = \left( \frac{0.87 * 16.6^3}{490} \right)^{0.385} = 2.24 \text{ hrs}$$

B) Método de Kirpich.

$$T_c = 0.0003245 \left( \frac{L * 1000}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} = 0.0003245 \left( \frac{16,600}{\sqrt{0.0158}} \right)^{0.77} = 2.86 \text{ hrs}$$

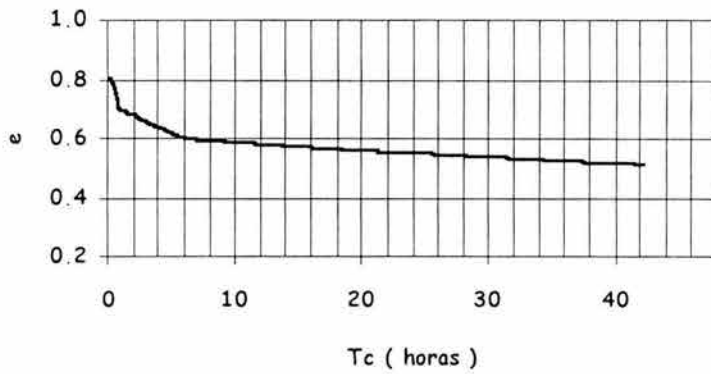
C) Método de la USSCS.

$$T_c = \left( \frac{(L * 1000)^{1.15}}{3085D^{0.38}} \right) = \left( \frac{(16.6 * 1000)^{1.15}}{3085 * 490^{0.38}} \right) = 2.20 \text{ hrs}$$

La duración de la precipitación adoptada será de 2.20 hrs.

Con objeto de calcular la precipitación (lluvia) efectiva, se determinó el coeficiente de Kuishling, que depende del tiempo de concentración. De la gráfica siguiente se obtiene que para un tiempo de concentración ( $T_c$ ) de 2.20 hrs, el coeficiente tiene un valor de 0.68.

## BORDOS DE PROTECCIÓN



Con las siguientes expresiones se calcula la precipitación media de diseño ( $H_{p_d}$ ).

$$H_{p_d} = \frac{KTc^{1-e}}{1-e} \quad (6.17)$$

$$K = \frac{\bar{h}p(1-e)}{24^{1-e}} \quad (6.18)$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tr (Años)	K	$H_{p_d}$ media de diseño (mm)
2	8.94	35.97
5	13.92	55.97
10	22.01	88.53
20	27.96	112.45
50	34.77	139.84
100	39.65	159.49
500	50.70	203.91
1,000	55.44	222.97
5,000	66.37	266.94
10,000	71.33	286.87

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Para obtener la precipitación en exceso, el coeficiente de escurrimiento e intensidad; se emplearon las siguientes expresiones:

$$He = \frac{\left( Hp - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{\left( Hp + \frac{2032}{N} - 20.32 \right)} \quad (6.14)$$

$$C = \frac{He}{Hp_d} \quad (6.19)$$

$$I = \frac{K}{(1 - e) * T_c^e} \quad (6.20)$$

Tr (años)	He (mm)	C	I (mm/hr)
2	3.50	0.10	16.35
5	12.32	0.22	25.44
10	32.80	0.37	40.24
20	50.63	0.45	51.11
50	72.78	0.52	63.56
100	89.43	0.56	72.49
500	128.70	0.63	92.69
1,000	146.03	0.65	101.35
5,000	186.76	0.70	121.34
10,000	205.49	0.72	130.40

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Los resultados obtenidos al aplicar las metodologías anteriores, para diferentes periodos de retorno, se muestran en la siguiente tabla.

Tr años	GASTOS MÁXIMOS ( m <sup>3</sup> / s )		
	RACIONAL	H U T	V.T. CHOW
5	131	119	88
10	350	318	234
20	541	492	362
50	779	708	522
100	958	871	641
500	1,380	1,255	924

En la Fig. VI.2, se muestra la curva de Gastos - Período de Retorno para la zona en estudio.

El cálculo de los hidrogramas, para la cuenca del arroyo Juquiaquie, se realizó en base a la teoría del hidrograma adimensional. Para los gastos de pico ( $Q_p$ ) se tomaron los determinados por el método del hidrograma unitario triangular (HUT), calculados anteriormente, así como el tiempo de pico ( $T_p$ ) respectivo.

Tiempo de pico                      2.42 Tr

Los gastos de picos determinados por el método HUT, son:

Tr	$Q_p$	Tr	$Q_p$
Años	m <sup>3</sup> /s	Años	m <sup>3</sup> /s
2	33	100	871
5	119	500	1255
10	318	1000	1424
20	492	5000	1823
50	708	10000	2006

## BORDOS DE PROTECCIÓN

El hidrograma adimensional.

$T / T_p$	$Q / Q_p$
0.00	0.00
0.10	0.03
0.30	0.19
0.40	0.31
0.60	0.66
0.70	0.82
0.80	0.93
0.90	0.99
1.00	1.00
1.10	0.99
1.20	0.93
1.30	0.86
1.50	0.68
1.70	0.46
1.90	0.33
2.20	0.21
2.60	0.11
3.20	0.04
5.00	0.00

El cálculo de los hidrogramas para el arroyo Juquiaque y cada uno de los períodos de retorno analizados se presentan en la Tabla VI.12 y gráficamente en la Fig. VI.3.

Para la obtención de los hidrogramas de la cuenca del río Tecpan, se utilizó la avenida máxima registrada en la estación hidrométrica Tecpan, la cual se presentó en el año de 1976, con un gasto de pico de  $4760 \text{ m}^3/\text{s}$ , haciendo una correlación lineal, se encontraron los hidrogramas para cada uno de los períodos analizados, los cálculos se presentan en la

## BORDOS DE PROTECCIÓN

tabla VI.13 y en la Fig. VI.4, mientras que en la tabla VI.14 y en la Fig. VI.5 se tienen los hidrogramas considerando simultaneidad de eventos.

Debido a que la cuenca principal tiene un área menor a los 3000 Km<sup>2</sup>, desde el punto de vista hidrológico se considera pequeña, por lo que la probabilidad de que se presente una precipitación en toda la cuenca es muy alta, o sea prácticamente del 100%, por lo que los gastos calculados son los que pueden presentarse.

Tr (años)	Gastos máximos simultáneos (m <sup>3</sup> /s)
2	720.741
5	1,776.101
10	2,895.172
20	3,734.473
50	4,707.041
100	5,405.283
200	6,090.843
500	6,985.843
1000	7,662.295

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis probabilístico de gastos y lluvias, se nota que las muestras de datos históricos se apegan mejor a la función Gumbel para dos poblaciones, que a las otras, esto es debido a la ocurrencia de huracanes en la costa del Océano Pacífico.

Por otra parte, en el modelo lluvia escurrimiento, los valores calculados por el método Racional, son los más altos y del orden intermedio están los del Hidrograma Unitario Triangular, mientras que los del método de Ven T Chow son bajos, por lo cual se adoptaron los valores obtenidos con el método del HUT, además de que la experiencia ha demostrado que se adaptan bien a cuencas pequeñas hasta de 3000 Km<sup>2</sup> de área.



### GEOTECNIA.

Para el proyecto ejecutivo del bordo de protección se requieren materiales con características adecuadas para formación de bordos, así como agregados para concreto, revestimiento de caminos y adicionalmente bancos de roca.

#### Trabajos de campo.

La localización preliminar de bancos de materiales, se realizó efectuando recorridos a lo largo del proyecto en estudio, así como en las inmediaciones de la zona de estudio, con la finalidad de conocer las características fisiográficas y litológicas de la región. Una vez terminado el reconocimiento general del sitio se procedió a ubicar posibles bancos de materiales, para formación de bordos, caminos de revestimientos, agregados para concreto y bancos de roca y rezaga. Dichos sitios se dejaron definidos e indicados para excavación de pozos a cielo abierto y su muestreo correspondiente.

#### Bancos para formación de bordos:

- 1) Banco TR-1 a 50 metros del puente sobre el río aguas arriba, margen derecha.
- 2) Banco TR-2 a 100 metros del puente sobre el río aguas arriba, margen izquierda.

#### Bancos para la capa de revestimiento:

- 1) Banco TR-3 en el Km. 110 de la carretera Acapulco – Zihuatanejo.
- 2) Banco TR-4 en la segunda isla (Km. 2+500 al Km. 4+000).

#### Bancos de agregados para concreto y revestimiento:

- 1) Banco G/A-1 en los depósitos aluviales sobre el río, en el Km. -0+400 margen izquierda.
- 2) Banco G/A-2 en los depósitos aluviales sobre el río, en el Km. 1+200 margen izquierda.
- 3) Banco G/A-3 en los depósitos aluviales sobre el río, en el Km. 2+200 en la isla.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

- 4) Banco G/A-4 en los depósitos aluviales sobre el río, en el Km. 3+500 en el brazo derecho margen izquierda.
- 5) Banco G/A-5 en los depósitos aluviales sobre el río, en el Km. 0+500 en la primera isla ambas márgenes.

Bancos para la extracción de roca:

- 1) Banco de roca y rezaga, en el Km. 1+200 margen izquierda del río.
- 2) Banco de roca en el cauce del río, del Km. 1+800 al Km. 2+400.
- 3) Banco de roca a 2.5 Km. aguas arriba del puente sobre el río.

La localización de los bancos se muestra en la figura VI.6.

Para la formación del terraplén se levantó un banco, el TR-3 que se ubica en el Km. 110 de la carretera Acapulco – Zihuatanejo lado derecho, cabe aclarar que este banco ya fue explotado por la SCT, para la construcción de la carretera mencionada, actualmente se encuentra abandonado y su área es de 31.69 Ha.

El banco G/A-4 es el único que quedó fuera del levantamiento general y se propone utilizar para la explotación de arena, tiene un área de 18.75 Ha.

Para conocer la geotecnia a lo largo del eje de proyecto se excavaron 17 pozos a cielo abierto (PCA), cuya ubicación y profundidad se indican en la tabla 1 del Anexo de Geotecnia.

Las calas de campo realizadas fueron 16 presentando en la tabla 2 del Anexo su ubicación y las características obtenidas.

Se realizaron 4 sondeos de exploraciones geológicas en diámetro NQ en el banco que se encuentra sobre el cauce del río Tecpan, a 2.5 Km. aguas arriba del puente de la carretera Acapulco – Zihuatanejo, en la figura VI.7 se presenta la localización de los sondeos y fue necesaria la colocación de 5 m de ademe. La profundidad de cada uno de ellos fue:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

SONDEO No.	PROF. (m)	COORDENADAS	
		X	Y
1	15.25	326,705	1'908,857
2	15.55	326,826	1'909,159
3	15.35	327,010	1'909,831
4	15.35	327,122	1'909,983
TOTAL	61.50		

Para los bancos de roca y rezaga se tomó la decisión de realizar un levantamiento parcial de la segunda isla (Km. 2+800), el área levantada fue de 4.62 Ha.

### Trabajos de Laboratorio.

En los bancos para formación de terraplenes se realizaron 16 análisis granulométricos mostrando los resultados en el Anexo (tabla 3), se efectuaron 16 pruebas de contenido de agua (tabla 4), para determinar los límites de consistencia (líquido y plástico) se hicieron 16 pruebas (tabla 5), además se realizaron 5 pruebas próctor SRH. (tabla 6), 5 pruebas de compacidad relativa S. R. H. con martinete (tabla 7), 5 pruebas de densidad de sólidos (tabla 8) y pruebas triaxiales no consolidada – no drenada (UU) fueron 5 (tabla 9).

En los bancos para revestimiento de caminos se realizaron 8 análisis granulométricos (tabla 10), 7 límites de consistencia (tabla 11), 4 pruebas próctor (tabla 12) y 4 compacidades relativas (tabla 13).

Para los bancos de grava – arena se efectuaron 10 análisis granulométricos integrales considerando las mallas de 3", 2", 1 1/2", 3/4", 3/8", No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 presentando los resultados en el Anexo (tabla 14).

## BORDOS DE PROTECCIÓN

En los bancos de roca y rezaga se hicieron 3 pruebas de intemperismo acelerado (tabla 15), 3 pruebas de absorción (tabla 16) y 10 pruebas para determinar el peso volumétrico seco y saturado (tabla 17).

Para el estudio de los materiales a lo largo de las obras de los pozos a cielo abierto en muestras alteradas se realizaron 17 pruebas para determinar el contenido de agua (tabla 18), 17 pruebas para obtener el porcentaje de finos (tabla 19), 17 granulometrías (tabla 20), pruebas de límites de consistencia (líquido y plástico) fueron 16 (tabla 21), 7 pruebas próctor (tabla 22) y 7 pruebas de compacidad relativa (tabla 23).

Para muestras inalteradas en los PCA. se efectuaron 3 pruebas para determinar el contenido de agua (tabla 24), 3 pruebas de límites de consistencia (tabla 25), 3 porcentajes de finos (tabla 26), 3 pruebas para obtener el peso volumétrico natural (tabla 27), 3 densidades de sólidos (tabla 28) y pruebas triaxiales no consolidada – no drenada (UU) fueron 3 (tabla 29).

Trabajos de gabinete.

Para el análisis de estabilidad de taludes, se utilizó el método sueco y para su aplicación se hicieron las siguientes hipótesis:

Se supone una falla circular.

El análisis es bidimensional correspondiente a un estado de deformación plana.

Se acepta la Ley de resistencia de Morh-Coulomb.

La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en toda la superficie de falla.

No hay interacción entre las dovelas.

La metodología es:

De la figura 1 del Anexo de geotecnia se observa que las fuerzas que producen el

## BORDOS DE PROTECCIÓN

deslizamiento son el peso del área "ABCA" por unidad de ancho, esta área está definida por el arco circunferencial de centro O y radio R (trazado arbitrariamente), también se deberán considerar las sobrecargas que pudieran existir, como por ejemplo un camión circulando por la corona.

Si se toman momentos con respecto a un eje normal que pase por O, como se ve en la figura mencionada, tendremos que:

$$M_m = W * d \quad (6.21)$$

Donde  $M_m$  es el par motor.

Las fuerzas que se oponen al deslizamiento son las producidas por la cohesión a través de toda la superficie de falla, por lo que tomando momentos con respecto al mismo eje, se tiene lo siguiente:

$$M_r = c * L * R \quad (6.22)$$

Donde  $M_r$  es el momento resistente.

En el momento de falla incipiente se tendrá que:

$$M_m = M_r \quad (6.23)$$

$$W * d = c * L * R \quad (6.24)$$

Si se define como el factor de seguridad a:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{c * L * R}{W * d} \quad (6.25)$$

## BORDOS DE PROTECCIÓN

La mecánica del procedimiento es calcular  $F. S.$  para varias superficies de falla y comparar con el valor de 1.25, que es el que se considera suficiente para asegurar la estabilidad del talud.

Se analizaron las condiciones más críticas (círculos de falla), considerando la recomendación de la hidráulica fluvial, de que los taludes deberían ser 2 : 1, esto por las velocidades máximas permisibles.

En la figuras VI.8 y VI.9 se muestran los círculos de falla con sus respectivos factores de seguridad para dos diferentes alternativas.

## HIDRÁULICA-FLUVIAL.

A fin de determinar los tirantes y las velocidades que se presentan en el Río Tecpan, Gro. se procedió a realizar el estudio de análisis hidráulico en condiciones naturales o actuales del mismo, por lo cual fue necesaria la información topográfica obtenida para el tramo en estudio, consistente en secciones transversales a cada 200 m., perfil longitudinal del río y finalmente la planta topográfica.

Para lograr los fines anteriormente descritos se utilizó el modelo matemático denominado HEC-RAS 3 “RIVER ANALYSIS SYSTEM”, elaborado para flujo permanente y para secciones no prismáticas, con el cual se efectúa la simulación del comportamiento de un cauce para un determinado gasto y se puede determinar la elevación del agua para cualquier magnitud de los escurrimientos.

El modelo HEC – RAS 3 es un sistema integrado de software, diseñado para uso interactivo en condiciones múltiples ambientales. El sistema tiene anexado el uso de una interfase gráfica, el análisis de componentes hidráulicos separados, datos de almacenamiento y capacidad de conducción del cauce en estudio, gráficas y reportes sumamente fáciles de visualizar.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

El modelo está diseñado para cálculos hidráulicos en secciones naturales y canales contruidos con cualquier geometría.

Para la implementación del modelo se necesita contar con una base de datos obtenida de las secciones transversales del río, además de diferentes parámetros hidráulicos con los cuales se lleva a cabo la simulación.

Cabe mencionar que para el funcionamiento del modelo matemático, el ordenamiento de la base de datos de las secciones transversales es de aguas arriba hacia aguas abajo.

Con la información de las secciones transversales de campo, se alimenta al programa a través de distancias y elevaciones de cada uno de los diferentes puntos que componen las secciones del cauce en un determinado cadenamiento, de acuerdo al ordenamiento ya referido.

La segunda serie de datos corresponde al gasto o gastos que se pretende simular, coeficiente de rugosidad y tirante inicial en la sección de control o en el cadenamiento de inicio del estudio de funcionamiento hidráulico.

Una vez introducida la base de datos con las características geométricas de las secciones transversales (distancias - elevaciones), se simularon magnitudes de gastos de 100 hasta 1000 m<sup>3</sup>/s con intervalos de 100 m<sup>3</sup>/s, obteniéndose para cada uno de ellos, valores de las principales características hidráulicas de las diferentes estaciones donde se consideró una sección transversal y además un resumen gráfico en el perfil longitudinal del cauce del río, en el cual se consignan tanto las elevaciones de las márgenes como los niveles del agua para los gastos considerados, dicho perfil del agua es resultado del programa utilizado.

Se presentan como ejemplos los resultados obtenidos del análisis hidráulico en condiciones naturales para los gastos de 200 y 1000 m<sup>3</sup>/s; tablas VI.15 y VI.16, y figuras VI.10 y VI.11 respectivamente.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Durante el proceso de cálculo del modelo matemático se establecieron las siguientes consideraciones: en la determinación del tirante se tiene que el flujo es permanente, y aplica las ecuaciones de la energía y continuidad entre dos secciones.

De acuerdo al tipo de régimen, el proceso de cálculo para un determinado gasto se efectúa hacia aguas abajo o hacia aguas arriba, el cual se define conociendo las características hidráulicas en alguna de las dos secciones en análisis.

La ecuación de la energía se resuelve mediante tanteos y cuando los valores de ambos miembros se igualan, entonces el tirante supuesto es el correcto, por lo cual el procedimiento de cálculo del modelo se genera de acuerdo a la siguiente secuela:

- A) Si el tipo de régimen en el tramo analizado es subcrítico, se obtienen las características hidráulicas en la sección inicial de aguas abajo.
- B) Se propone la elevación del agua en la sección inmediata.
- C) Se calculan las cargas de posición y de velocidad, así como las pérdidas de energía.
- D) Se obtiene la energía en la sección inmediata y se compara con la de la sección inicial, si son iguales o tienen diferencias de un determinado rango (muy pequeño, +/- 0.003 m) el valor de la elevación del agua calculada es la correcta; de lo contrario se repite el proceso con un nuevo valor.

Para nuestro caso del río Tecpan, el tránsito se realizó de aguas abajo hacia aguas arriba (Km. 8 + 200 al Km. 0 + 000), con un tirante de inicio que fue el tirante crítico, por lo explicado anteriormente.

En la determinación de los niveles del agua, el modelo matemático considera que el flujo es uniforme y permanente y aplica las ecuaciones de la energía y continuidad entre dos secciones, mediante las siguientes expresiones generales:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_e \quad (6.26)$$



$$Q = VA \quad (6.27)$$

En donde:

$Y_1, Y_2$  = Tirante del agua en dos secciones transversales.

$Z_1, Z_2$  = Elevación del fondo del río en las secciones 1 y 2 respectivamente.

$V_1, V_2$  = Velocidad promedio en las secciones 1 y 2 respectivamente.

$H_e$  = Pérdida de energía.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$Q$  = Gasto seleccionado para el tramo.

$A$  = Área hidráulica.

Para los gastos estudiados se puede observar que para  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , el río no desborda, por lo que este gasto puede considerarse como el gasto formativo, mismo que se adoptará para los cálculos de hidráulica fluvial.

Posteriormente para poder efectuar el análisis hidráulico del río Tecpan, Gro. para gastos asociados a períodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años, se hizo la consideración de dar al cauce una rasante de rectificación, con el fin de no tener flujos combinados donde se tengan cambios de régimen rápido a lento, y anchos de plantilla para un cauce piloto propuesto, esto con el fin de que los gastos ordinarios o mínimos escurran por este cauce piloto; y para cada una de estas opciones se consideraron los gastos de diseño para los diferentes períodos de retorno de acuerdo con los resultados del estudio hidrológico realizado.

Al igual que para lo anterior, con la información topográfica de las secciones transversales y el perfil longitudinal del cauce del río, se procedió a aplicar la metodología descrita así como el modelo matemático utilizado, salvo que en este caso se trata de un río con sección compuesta, ya que se adoptó un cauce piloto de sección prismática.

Por lo tanto en el perfil longitudinal del cauce del río se procedió a trazar la rasante del

## BORDOS DE PROTECCIÓN

fondo del cauce.

Se definieron las rasantes de rectificación y sus respectivos cambios de pendiente, partiendo desde el Km. 0+000 al Km. 8+200, calculando las diferentes pendientes cuyos valores se indican en la siguiente tabla.

RASANTE DE RECTIFICACIÓN		
ESTACIÓN	ELEVACIÓN	PENDIENTE
8+200	6.20	
3+000	12.50	0.001211
0+600	17.80	0.002208

Para el análisis hidráulico del río Tecpan, en el tramo en estudio, se efectuó el funcionamiento de aguas abajo hacia aguas arriba, de acuerdo a las pendientes de rectificación propuestas y las combinaciones de anchos de plantilla del cauce piloto.

Para este concepto se consideró la rasante descrita, con un ancho de plantilla de 50.00 m (ALTERNATIVA No. 1), en toda la longitud del tramo en estudio y otra con un ancho de 60.00 m (ALTERNATIVA No. 2). Los gastos que se hicieron transitar por el río fueron los correspondientes a períodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años, que son 3734, 4707, 5405, 6985 y 7662 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

La sección geométrica del cauce piloto se seleccionó con taludes 2:1 y una rugosidad de 0.030 y la zona hacia los bordos se corrió con una rugosidad de 0.033.

Como ejemplos de los cálculos y los resultados de estos funcionamientos se muestran en las tablas VI.17 y VI.18 los correspondientes a un período de retorno de 50 años y para cada alternativa respectivamente, mientras que de manera gráfica se presentan en las figuras VI.12 y VI.13.

Hasta aquí todos los análisis realizados son para flujo permanente y como se mencionó

## BORDOS DE PROTECCIÓN

anteriormente para el cálculo del tránsito de la avenida para flujo no permanente se utiliza el programa TRA-RÍOS del Instituto de Ingeniería de la UNAM realizado por el Dr. Moisés Berezowsky V. y el Dr. Amado Abel Jiménez C.; para lo cual es necesario primero obtener las condiciones iniciales y con ellas realizar el tránsito.

En nuestro caso se tomaron tramos en general de 500 m, desde el cadenamamiento 0+600.00 al 8+000.00, lo que representó 16 tramos y 16 secciones, aunque adicionalmente para el cálculo se supusieron 4 secciones y 4 tramos hacia aguas abajo por no contar con mediciones de niveles (mareograma), además se consideró un gasto base de 200 m<sup>3</sup>/s.

En las figuras VI.14 se presentan las secciones transversales del tramo en estudio y en las figuras VI.15 las secciones supuestas (similares a las dos últimas existentes). Por otra parte, en la tabla VI.19 se presenta el perfil del río Tecpan tanto del fondo como de la margen izquierda (MI) y margen derecha (MD), después del kilómetro 8+000.00 se supuso un perfil con la tendencia del último kilómetro medido y se incluyó en la tabla, mostrando en la figura VI.16 gráficamente el perfil.

Para determinar las condiciones iniciales se efectuaron diferentes tránsitos considerando distintas elevaciones del agua en el último tramo, siendo para 2.2, 2.5, 3.0, 4.0 y 4.5 m respectivamente; mostrando como ejemplo de los cálculos el correspondiente al de 3.0 m, teniendo en la tabla VI.20 los datos para el programa, en la tabla VI.21 los resultados de las condiciones iniciales obtenidas y en la tabla VI.22 los resultados de la simulación, además en la tabla VI.23 se presentan los valores del perfil del agua para las 5 consideraciones calculadas.

Posteriormente se realizó el tránsito de la avenida para un hidrograma con un gasto de pico de 721 m<sup>3</sup>/s, y una H de 3.0, 4.0 y 4.5 m en el último tramo; presentando como ejemplo el correspondiente a 3.0 m, en la tabla VI.24 el archivo de datos modificado, en la tabla VI.25 los resultados del tránsito y en la tabla VI.26 los resultados de los hidrogramas en 3 diferentes secciones (principio, mitad y final del tramo en estudio), mostrando en la figura VI.17 los hidrogramas obtenidos.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Por otra parte en la sección de un río, al paso de la avenida se produce un descenso general del lecho del cauce llamado socavación general, debido a la capacidad que tiene la corriente para arrastrar el material sólido del fondo, que es levantado con mayor o menor facilidad y es mantenido en suspensión durante un cierto tiempo, para ser depositado nuevamente cuando el nivel del agua haya descendido.

Para estimar la socavación general en cauces definidos, se utiliza el criterio de Lischtvan – Lebediev, que está basado en la determinación de las condiciones de equilibrio entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media del flujo que se requiere para erosionar un material de diámetro y densidad conocidos.

Este criterio se puede aplicar, tanto si la distribución del material del suelo es homogénea o heterogénea; la condición de equilibrio se presenta cuando:

$$V_e = V_r \quad (6.28)$$

Donde:

$V_e$  = Velocidad media que debe tener la corriente para erosionar el material del fondo (inicio de arrastre), en m/s.

$V_r$  = Velocidad media real de la corriente, en m/s.

La hipótesis fundamental consiste en decir que el gasto unitario que pasa por una franja cualquiera de la sección, permanece constante mientras dura el proceso de erosión, con lo cual podemos determinar  $V_r$  como:

$$V_r = \frac{\alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{d_s} \quad (6.29)$$

Siendo:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

$V_r$  = Velocidad media real de la corriente, en m/s.

$d_0$  = Profundidad inicial que existe en la vertical de la sección, entre el nivel del agua al pasar la avenida y el nivel del fondo obtenido durante el estiaje, en m.

$d_s$  = Profundidad después de producirse la socavación del fondo. Se mide desde el nivel del agua al pasar la avenida hasta el nivel del fondo erosionado.

$\alpha$  = Coeficiente de distribución de gasto, que se obtiene mediante la expresión:

$$\alpha = \frac{Q_d}{d_m^{\frac{5}{3}} B_e \mu} \quad (6.30)$$

$B_e$  = Ancho efectivo de la sección, en m.

$d_m$  = Tirante medio de la sección, el cual se obtiene dividiendo el área hidráulica entre el ancho efectivo ( $d_m = A/B_e$ ), en m; descontando los obstáculos.

$\mu$  = Coeficiente de contracción que toma en cuenta el efecto producido por las pilas en caso de existir un puente.

La velocidad  $V_e$  se evalúa de la siguiente manera:

$$V_e = 0.68 \gamma_s^{1.18} \beta d_s^x \quad (6.31)$$

Donde:

$V_e$  = Velocidad media de la corriente para erosionar el material de fondo, en m/s.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

$\beta$  = Coeficiente que toma en cuenta el período de retorno con el que se presenta el gasto de diseño.

$x$  = Exponente variable.

$d_s$  = Profundidad después de producirse la socavación.

$$d_s = \left( \frac{\alpha d_0^{\frac{5}{3}}}{0.60 \gamma_s^{1.18} \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad (6.32)$$

Las ecuaciones anteriormente consignadas se conceptualizan en el modelo matemático utilizado para el cálculo de las velocidades permisibles y de la socavación.

Cabe mencionar que el modelo matemático utilizado fue obtenido también del directorio de "U. S. ARMY ENGINEERING CORP".

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa (tabla VI.27), que la socavación resultante es de valores muy variables según la sección transversal de que se trate, lo cual será tomado en cuenta para las protecciones que deban ejecutarse en la margen o en su caso para el diseño de los espigones, que serán planteados en las opciones de solución para las obras de protección.

De los resultados de hidráulica fluvial se concluye lo siguiente:

Para los gastos con un período de retorno de 100, 500 y 1000 años, es necesario construir bordos y un cauce piloto en algunos tramos, así como cerrar ventanas.

Los resultados de socavación indican que ésta es considerable, por lo que necesariamente debe protegerse el tramo en estudio.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

### OPCIONES DE SOLUCIÓN.

Dentro de las propuestas de encauzamiento del río Tecpan, se considera la formación de un cauce piloto proponiendo una rasante, de tal manera que el volumen de material producto de la excavación del cauce piloto, se equilibre con el volumen de formación de bordos.

Con esta rasante se estudiaron dos anchos de plantilla del cauce piloto de 50.00 y 60.00 m, con objeto de determinar la altura de bordos para cada una de las opciones y calcular el volumen de terraplén; se realizaron los funcionamientos hidráulicos para gastos de 4707 y 5402 m<sup>3</sup>/s, para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

Para las protecciones marginales contra la erosión y socavación se proponen dos alternativas básicas que son: la primera mediante la utilización de espigones de enrocamiento y la segunda mediante el uso de gaviones para construir los espigones.

Finalmente de la combinación de rasante, ancho de plantilla y gastos resultan las siguientes propuestas de solución:

#### ALTERNATIVA NO. 1.

Cauce rectificado con B = cauce piloto de 50.00 m, para Tr = 50 y 100 años.

#### ALTERNATIVA NO. 2.

Cauce rectificado con B = cauce piloto de 60.00 m, para Tr = 50 y 100 años.

En lo referente a alternativas de protección marginal resultan:

#### OPCIÓN NO. 1.

Protección marginal con espigones de roca.

#### OPCIÓN NO. 2.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Protección marginal con espigones a base de gaviones.

En las secciones topográficas del cauce, se procedió a dibujar la geometría de las secciones hidráulicas del encauzamiento propuestas en las opciones, con objeto de calcular los volúmenes de obra, mismos que aparecen en las tablas VI.28 y VI.29.

Alternativa no. 1.

Ancho de plantilla (cauce piloto)	Volumen de excavación
50.00 m	376,108.00 m <sup>3</sup>

Alternativa no. 2.

Ancho de plantilla (cauce piloto)	Volumen de excavación
60.00 m.	484,535.00 m <sup>3</sup>

Asimismo con las combinaciones de rasante, ancho de plantilla del cauce piloto y diferentes gastos analizados, se calcularon los volúmenes de terraplén, con objeto de estar en posibilidades de hacer los presupuestos correspondientes y comparar los costos de las diferentes opciones propuestas.

Alternativas no. 1 y 2.

Tr AÑOS	GASTO (M <sup>3</sup> /S)	VOLUMEN DE TERRAPLÉN (M <sup>3</sup> )	BORDO	TABLA
50	4,707	563,244	IZQUIERDO	VI.30
50	4,707	352,064	DERECHO	VI.31
100	5,402	674,419	IZQUIERDO	VI.32
100	5,402	431,837	DERECHO	VI.33
50	4,707	547,472	IZQUIERDO	VI.34
50	4,707	343,696	DERECHO	VI.35
100	5,402	648,569	IZQUIERDO	VI.36
100	5,402	412,751	DERECHO	VI.37



## BORDOS DE PROTECCIÓN

En lo referente a alternativas de protección marginal resultan:

### OPCIÓN NO. 1.

Protección marginal con espigones de roca: 1,899 m<sup>3</sup> (tabla VI.38).

### OPCIÓN NO. 2.

Protección marginal con espigones de gaviones: 1,207 m<sup>3</sup> (tabla VI.39).

De acuerdo a los volúmenes calculados para cada alternativa de solución, se elaboraron los presupuestos correspondientes, los cuales se muestran en las tablas VI.40 y VI.41.

Haciendo la evaluación de costos, de acuerdo a las diferentes alternativas estudiadas en relación a la rasante propuesta, ancho de plantilla y gastos, tenemos lo siguiente:

ALT.	Tr = 50 años		Total	Tr = 100 años		Total
	Bordo der.	Bordo izq.		Bordo der.	Bordo izq.	
1	\$16,547,008.00	\$20,830,848.00	\$37,377,856	\$20,296,339.00	\$26,056,073.00	\$46,352,412
2	\$16,153,712.00	\$18,463,159.00	\$34,616,871	\$19,399,297.00	\$23,214,718.00	\$42,614,015

Se puede observar en la comparación de opciones de solución, que para el mismo gasto, el costo total aproximado menor es para la alternativa que adopta la sección con ancho de plantilla de B = 60 m y también para un período de retorno de 50 años; observándose que el bordo derecho tiene un costo menor. Con base en lo anterior se propone adoptar como solución la formación de bordos con un cauce piloto de 60 m de plantilla a todo lo largo del tramo en estudio y adoptar como gasto de diseño el correspondiente a 50 años de período de retorno cuyo valor es de 4707 m<sup>3</sup>/s, adicionalmente desde el punto de vista hidráulico es la que presenta mejores ventajas y con alturas de bordos menores.

En lo referente a la solución para estabilizar la margen izquierda se presentan los presupuestos en las tablas VI.42 y VI.43 respectivamente, mostrando la tabla comparativa de costos siguiente:

## BORDOS DE PROTECCIÓN

OPCIÓN	MARGEN IZQUIERDA
1	\$ 222,066.00
2	\$ 940,680.00

Como se puede observar de los valores anteriores, la alternativa de estabilizar la margen mediante espigones de enrocamiento que corresponde a la número uno de protección marginal, es la que presenta menor costo, por lo que se propone utilizarla y llevarla a nivel de proyecto ejecutivo.

### PROYECTO EJECUTIVO.

El diseño ejecutivo se realizó para la alternativa seleccionada para el río Tecpan, se eligió la de excavar un cauce piloto de 60 metros de plantilla y bordos de protección en ambas márgenes con revestimiento en ambos taludes interiores mediante enrocamiento y construcción de espigones de roca en algunos sitios críticos en donde la corriente del río presente ataques de la misma, por ser la más adecuada tanto técnica como económica, con lo cual se procedió a realizar el diseño de las obras de protección para el gasto de 4,707 m<sup>3</sup>/s, asociado a un período de retorno de 50 años.

El diseño consiste en excavar un cauce piloto dentro del cauce del río para aumentar su capacidad hidráulica y disminuir ataques de la corriente sobre las márgenes y bordos de protección. En una longitud de 8,249 m en la derecha y de 8,144 m en la izquierda, taludes 2:1, ancho de corona de 4.50 m y protegido con enrocamiento el talud mojado, de diámetro mínimo de 0.60 m y colocado en dos capas, con una transición de rezaga de 0.10 m de diámetro mínimo, en tres capas y con una trinchera de 1.50 m de profundidad, para protección contra la socavación.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

El eje de los bordos se ubicó de tal manera que sigue el barrote natural de ambas márgenes a partir del Km. 0+000 y que continúa prácticamente hasta el punto final Km. 8+394 de la poligonal del cauce piloto, se trató en lo posible de que el trazo siguiera los linderos de la zona agrícola, con objeto de reducir en lo posible las afectaciones, tanto a la población como a las áreas agrícolas, hasta empotrarlo en las partes altas. El bordo sigue un trazo paralelo al río y tratando de evitar ataques frontales de la corriente para empotrarse en terreno natural. Las curvas de los bordos, se trató de que fueran lo más suave posible, con grados de curvatura adaptados a las condiciones del cauce y de los asentamientos humanos y zonas de cultivo aledaños.

La corona del terraplén tiene una pendiente que se calculó en función de los niveles de agua para un gasto de 4,707 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a un período de retorno de cincuenta años y adoptando un bordo libre mínimo de un metro.

Por otra parte para resolver el problema más urgente que corresponde a la erosión pronunciada de la margen izquierda en la zona de la curva en el tramo inicial en la zona de estudio, se diseñaron espigones formados con enrocamiento, con el objeto de estabilizar la margen y que se detenga o disminuya la pérdida de terrenos de cultivo por este fenómeno de socavación del cauce. Del resultado del trazo en la planta topográfica del río de los espigones así como de la utilización de las secciones transversales del cauce, se diseñaron nueve espigones formados con roca, los cuales se ubican en los kilómetros 0+500, 0+600, 0+800, 2+200, 2+600, 2+730, 2+870, 3+000 y 3+100. En el plano VI.1 correspondiente se ilustran dichos espigones tanto su ubicación, como sus características geométricas y de trazo.

De acuerdo con la problemática presentada, se recomienda que las obras de protección se construyan por etapas, correspondiéndole a la primera, la construcción de los espigones, dejando para la segunda etapa la construcción del cauce piloto y el bordo en la margen izquierda y en una tercera etapa se quedaría la construcción del bordo derecho.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Para este concepto, se procedió a elaborar las especificaciones técnicas requeridas para el encauzamiento del río Tecpan; dichas especificaciones se adecuaron de acuerdo a las condiciones y necesidades del diseño del proyecto, las cuales incluyen cada concepto de trabajo que se requiere para la ejecución de los trabajos respectivos. Asimismo dentro de este concepto, se elaboró el catálogo de los conceptos de trabajo y cantidades de obra que intervienen en las obras de protección del río, cauce piloto y bordos, respectivamente; también se determinaron los presupuestos correspondientes.

De acuerdo a lo anterior, se llevaron a cabo los detalles para el diseño, considerando los aspectos técnicos, tales como definir la poligonal de los bordos, del cauce piloto y sus respectivas características de las curvas, las cuales se plasmaron en la planta topográfica escala 1:1000. y en el perfil longitudinal a la misma escala de la planta, se dibujaron los niveles del agua para el gasto de diseño y se obtuvo la rasante de los dos bordos, considerando adicionalmente un bordo libre de un metro mínimo.

Para el proyecto ejecutivo del encauzamiento y bordos de protección del río Tecpan, se elaboró el plano general a escala 1:10,000, así como planos de detalle escala 1:2,000 (planta y perfil) de acuerdo con la opción seleccionada, así como planos en los que se muestran los detalles. Los planos elaborados contienen toda la información requerida para llevar a cabo su construcción, presentando el proyecto en el plano VI.1.

Con el propósito de conocer el importe del proyecto del encauzamiento del río, se elaboró un presupuesto aplicando un precio unitario a las cantidades principales de trabajo consignadas en el catálogo.

### VII) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### Conclusiones.

En el presente trabajo se han procurado incluir todos los aspectos teóricos y prácticos de la ingeniería relacionados con los estudios y proyectos de los bordos de protección, lo que implica que aunque el agua es la base del análisis existen otros elementos importantes en la solución de este tipo de problemas.

Al realizar en las partes bajas del desarrollo de algunos ríos dichas obras se procuran defender principalmente contra inundaciones y erosiones.

En la presentación de los materiales que forman la naturaleza se describen sus nombres, clasificación y propiedades que ayudan y permiten su análisis y utilización en cálculos posteriores.

Se muestra una pequeña descripción de la filtración y redes de flujo desarrolladas en un depósito de suelo.

También se mencionan los elementos que se necesitan para efectuar el estudio de la estabilidad de los taludes para diferentes condiciones.

En relación con el diseño de dichas obras de protección se indican las diferentes partes o estudios que son convenientes realizar y tomar en cuenta para el análisis; haciendo un mayor énfasis en los estudios hidráulicos, ya que en general se realizan para flujo permanente, y se presentan las ecuaciones desarrolladas para flujo no permanente y su cálculo.

Por otra parte se muestra un ejemplo donde se aplican las indicaciones mencionadas anteriormente, siendo el sitio de estudio una parte del río Tecpan en el estado de

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Guerrero; en el cual se procuró realizar el análisis para flujo permanente y no permanente.

Del cálculo de flujo permanente se determinó un gasto base de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , con el cual se realizó el cálculo de flujo no permanente. Además en este último cálculo por falta de información se supusieron algunos datos que permitieran y ayudaran en el análisis, con lo cual para definir las condiciones iniciales se consideraron diferentes niveles del agua en el tramo final de aguas abajo (2.2, 2.5, 3.0, 4.0 y 4.5 m), obteniendo para los 5 casos en el tramo en estudio valores de la superficie similares (mínima diferencia).

Por otro lado al comparar los niveles del agua obtenidos para los  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  en flujo permanente y no permanente en las secciones utilizadas en el segundo cálculo, se pueden notar cercanías en los valores en general y alternancias al ser mayor el nivel en algunos casos en el primer cálculo y en otros en el segundo.

Con respecto al tránsito de la avenida en flujo no permanente, se realizó el cálculo para un hidrograma con un gasto de pico de  $721 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerando en el tramo final un nivel del agua de 3.0, 4.0 y 4.5 m, observando resultados parecidos en los 3 casos al compararlos entre ellos; asimismo considerando los resultados de los hidrogramas obtenidos en la primera sección, una intermedia y en la última del tramo estudiado, se puede notar una similitud en la forma del mismo, un pequeño defasamiento con el tiempo y una pequeña disminución en el valor del gasto de pico.

Al calcular para un gasto de pico mayor de  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , se tuvo un error o falla en el programa de flujo no permanente, significando que físicamente el río no tiene capacidad para dicho flujo; por lo cual no fue posible comparar con los resultados para flujo permanente.

Para el gasto de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  tanto en flujo permanente y no permanente se observa que con las elevaciones de las márgenes izquierda y derecha no se presentan desbordamientos.

## BORDOS DE PROTECCIÓN

Recomendaciones.

Es conveniente que el levantamiento topográfico no sólo abarque la zona de estudio, sino como se nota en el ejemplo de aplicación, se pueda contar con información adicional del sitio que ayuden en los cálculos por ejecutar.

Por lo anterior se hace necesario realizar campañas de medición periódicas que permitan tener una base de datos confiables en la aplicación de los métodos de análisis.

Al tomar en cuenta todos los puntos para el diseño, se tendrá un panorama más completo para la solución de los diferentes sitios en donde se pretenda la construcción de bordos de protección.

En general en estos problemas sólo se realizaba el análisis para flujo permanente, con lo cual se recomienda la posibilidad de aplicar los métodos para flujo no permanente y efectuar la comparación de los resultados obtenidos.

Otra solución es considerar el desazolve del cauce del río y posteriormente con las nuevas secciones transversales recalcular el tránsito de avenida, aún para un gasto mayor al realizado anteriormente.

Por otra parte es necesario no olvidar realizar el estudio de Impacto Ambiental que este tipo de obras requiere.

También se deben tomar en cuenta los aspectos constructivos y la maquinaria que se utilizará al llevar a cabo dichos trabajos.

### BIBLIOGRAFÍA.

Manual de Diseño de Obras Fluviales para la Protección contra Inundaciones, SARH. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Tomo I y Tomo II; Consultores S.A. , 1981.

Flujo no Permanente en Ríos, Capítulo 6 del Manual de Ingeniería de Ríos (CNA); Moisés Berezowsky Verduzco y Amado Abel Jiménez Castañeda, Series del Instituto de Ingeniería UNAM 574, Diciembre 1995.

Obras de Protección para Control de Inundaciones, Capítulo 15 del Manual de Ingeniería de Ríos (CNA); José Antonio Maza Álvarez y Víctor Franco, Series del Instituto de Ingeniería UNAM 591, Julio 1997.

Mecánica de Suelos, Peter L. Berry y David Reid (traducción ING. C. Bernardo Caicedo H.), Mc Graw – Hill Interamericana S. A., Julio 1993, Colombia.

Tesis “Anteproyecto de Normatividad para la ejecución de Estudios y Proyectos para la Construcción de Bordos”, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) Facultad de Ingeniería; Verónica Rodríguez Osorio y Alejandro Salazar Sánchez, Toluca, México, Junio 1996.

Hidráulica General, Volumen I Fundamentos, Gilberto Sotelo Ávila; Editorial Limusa, México, 1980.

Apuntes de Hidráulica II, UNAM Fac. de Ingeniería, Gilberto Sotelo Ávila.



# FIGURAS

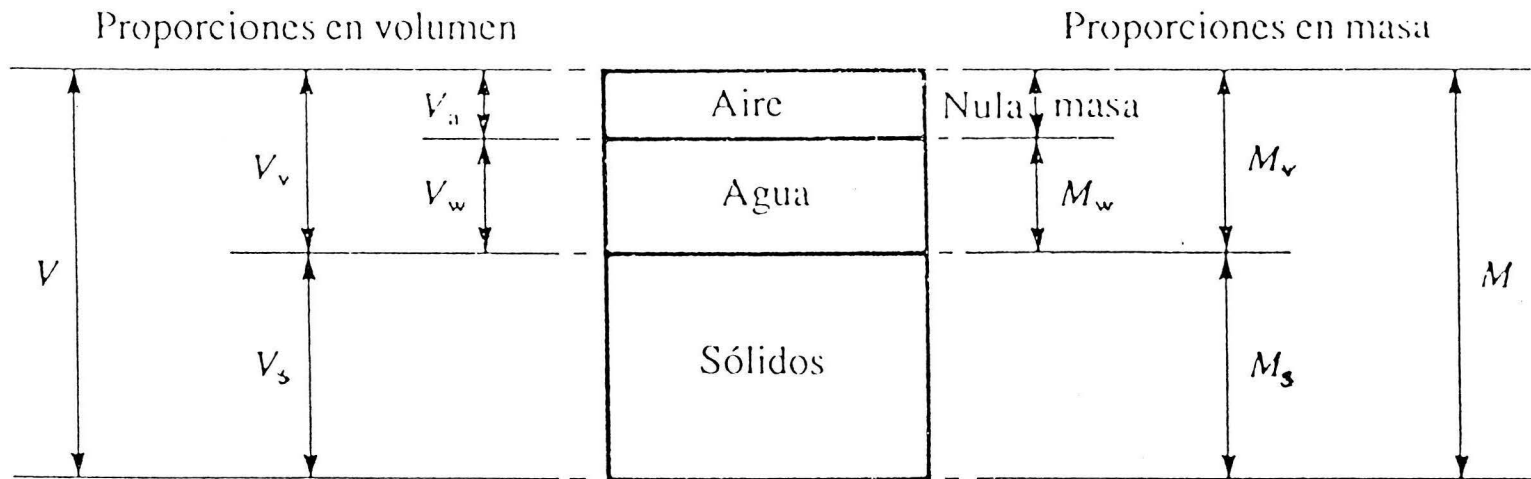
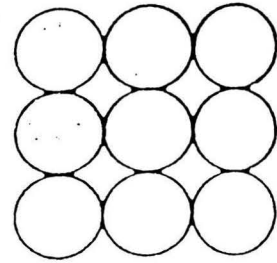
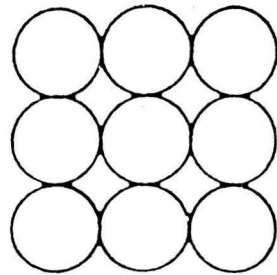


FIGURA II.1 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS FASES QUE CONSTITUYEN UN ELEMENTO DE SUELO

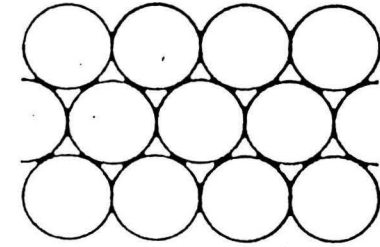


Alzada

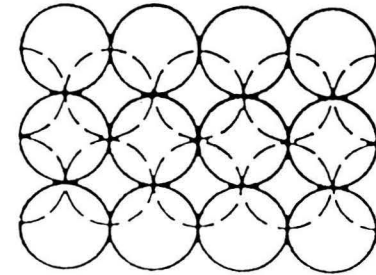


Planta

a)



Alzada



Planta

b)

FIGURA II. 2 SUELO GRANULAR IDEAL DE PARTICULAS ESFÉRICAS

- a) ARREGLO CÚBICO
- b) ARREGLO RÓMBICO

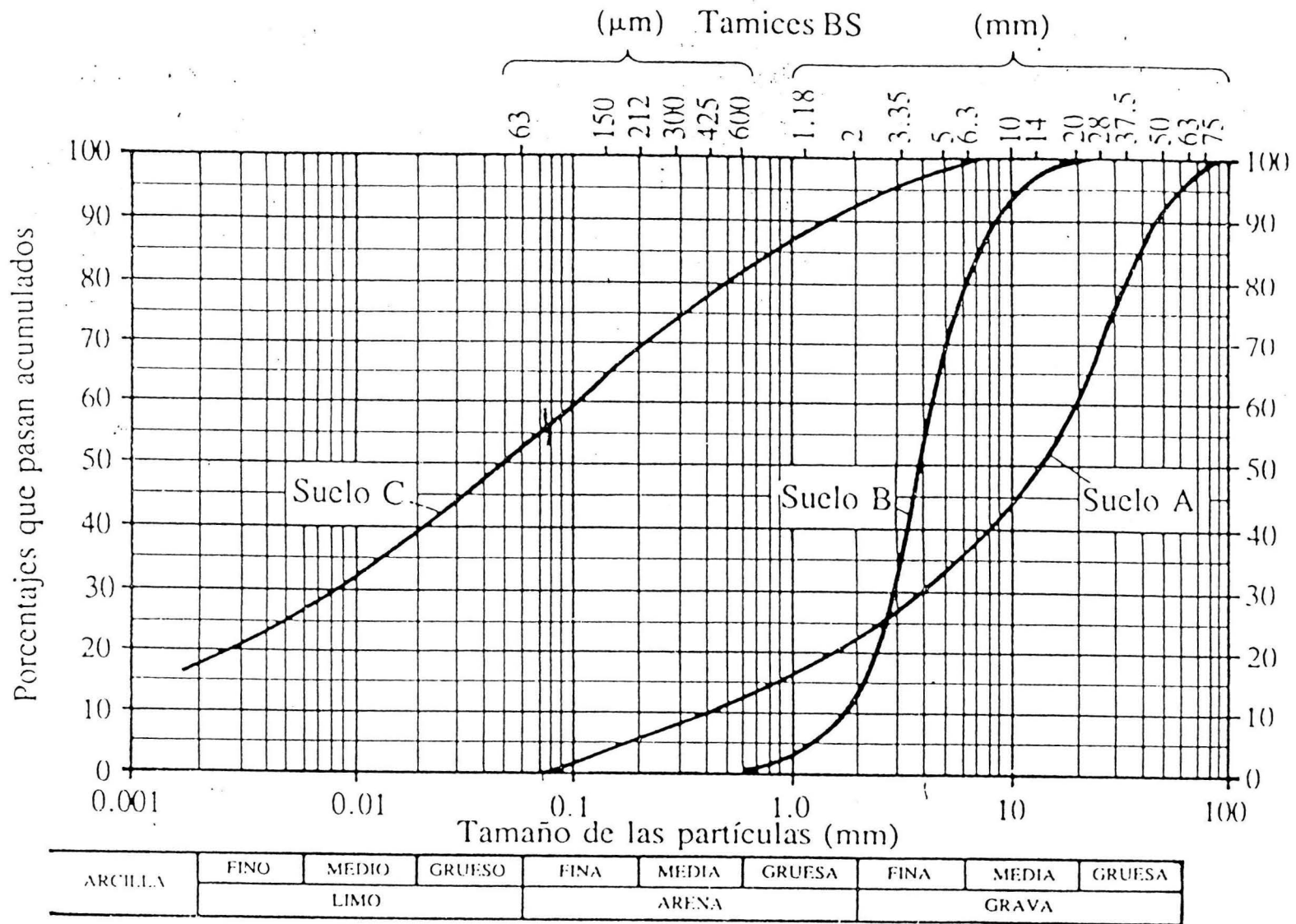


FIGURA II.3 CURVAS DE GRADUACIÓN TÍPICAS

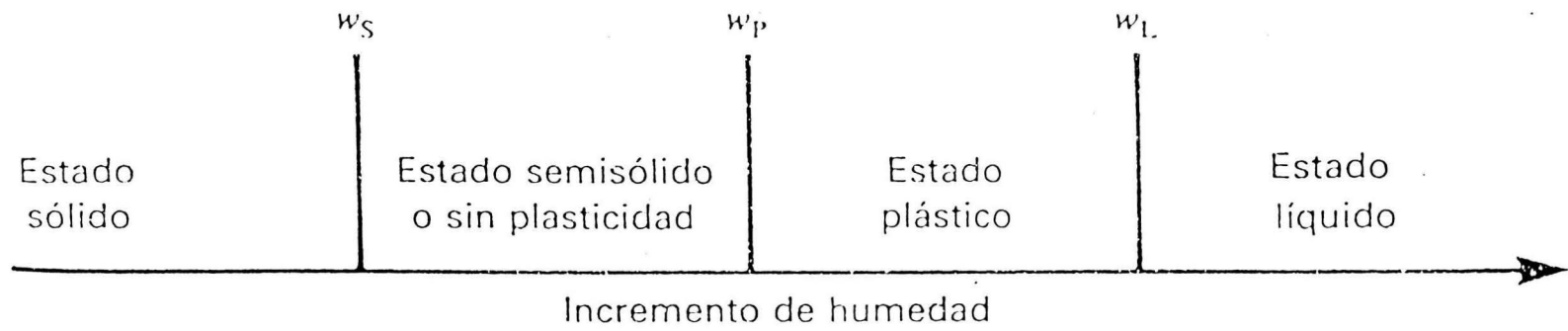


FIGURA II. 4 ESTADOS DE CONSISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO

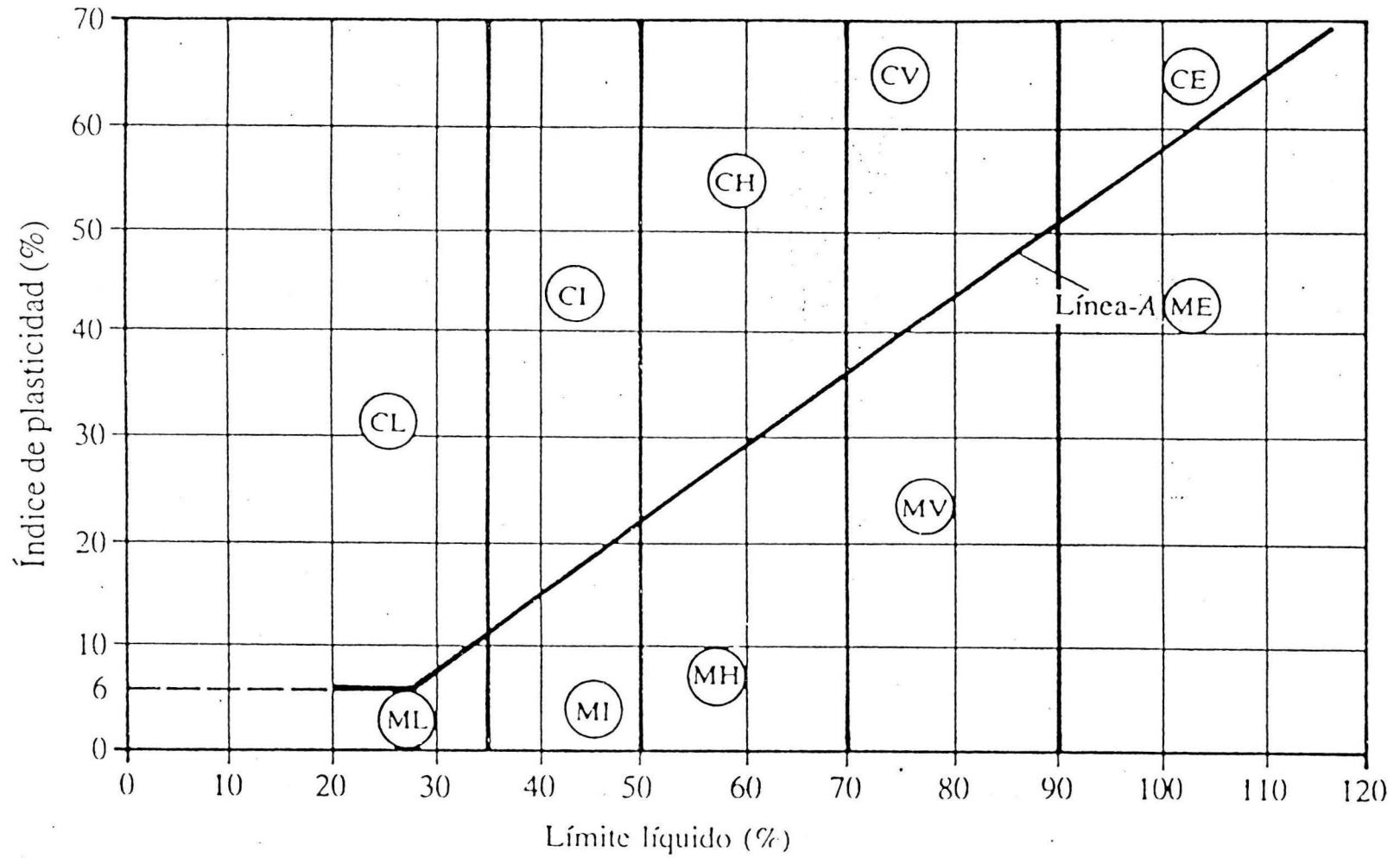


FIGURA II.5 CARTA DE PLASTICIDAD PARA EL SISTEMA BRITÁNICO DE CLASIFICACIÓN (BS 5930: 1981)

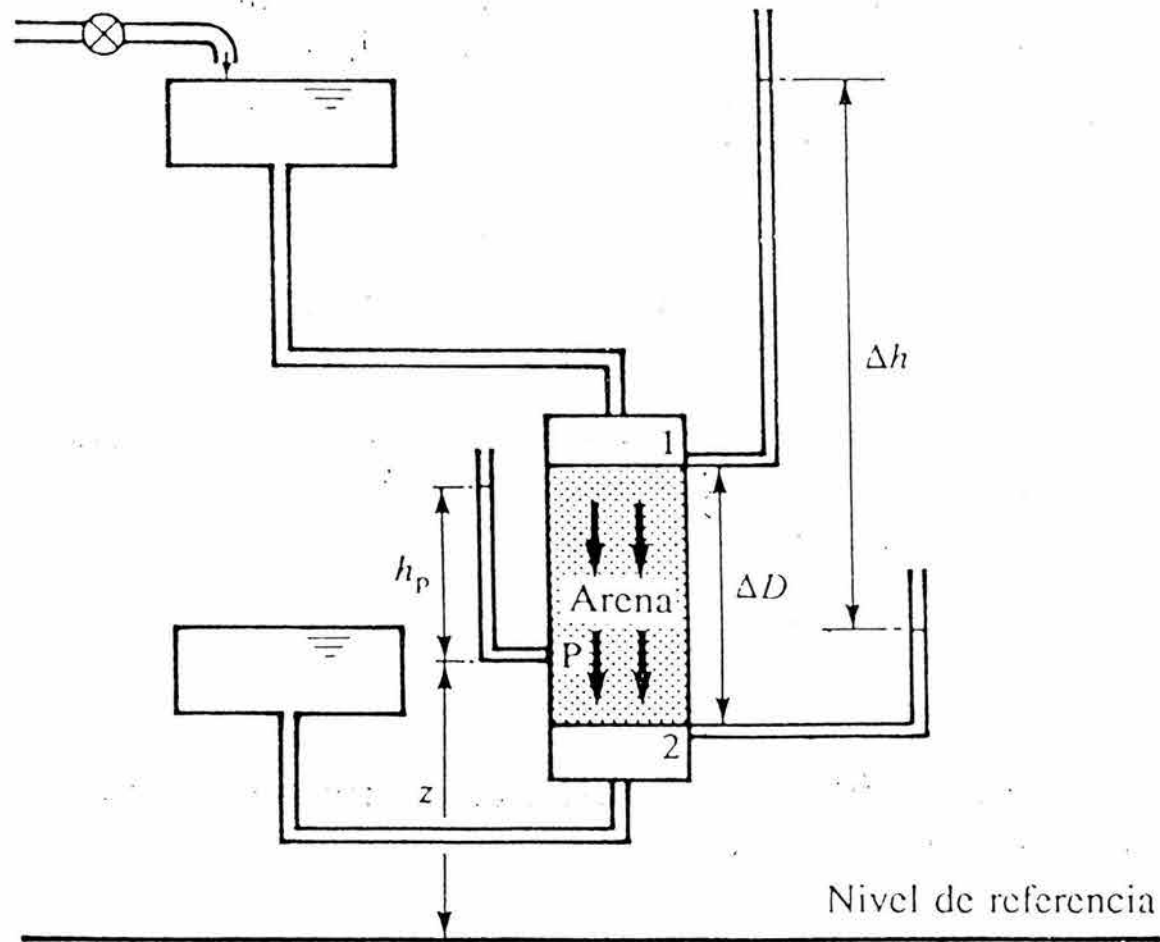


FIGURA III.1 EXPERIMENTO DE DARCY

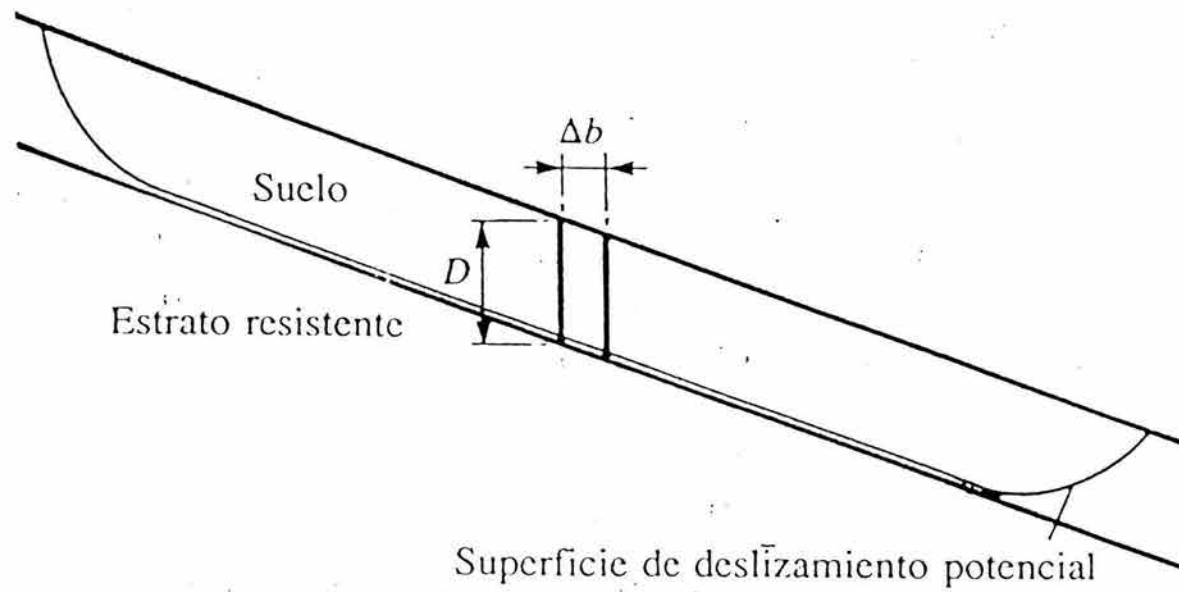


FIGURA IV.1 TALUD INFINITO



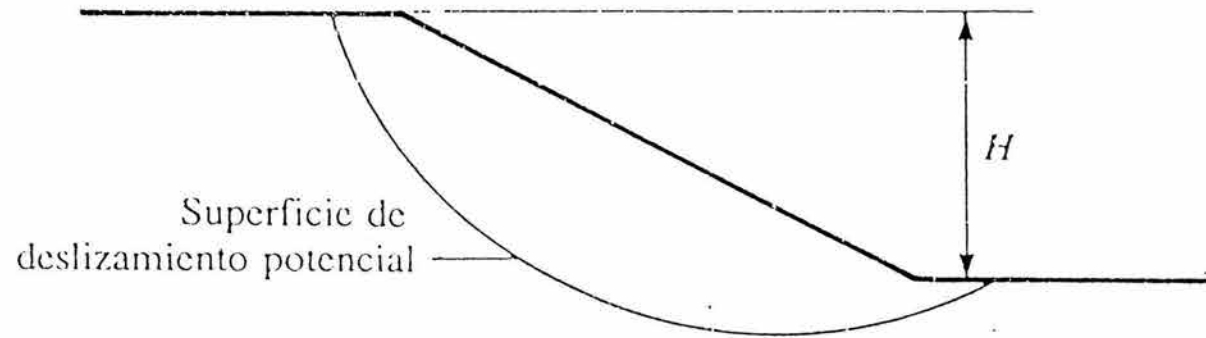


FIGURA IV.2 TALUD FINITO

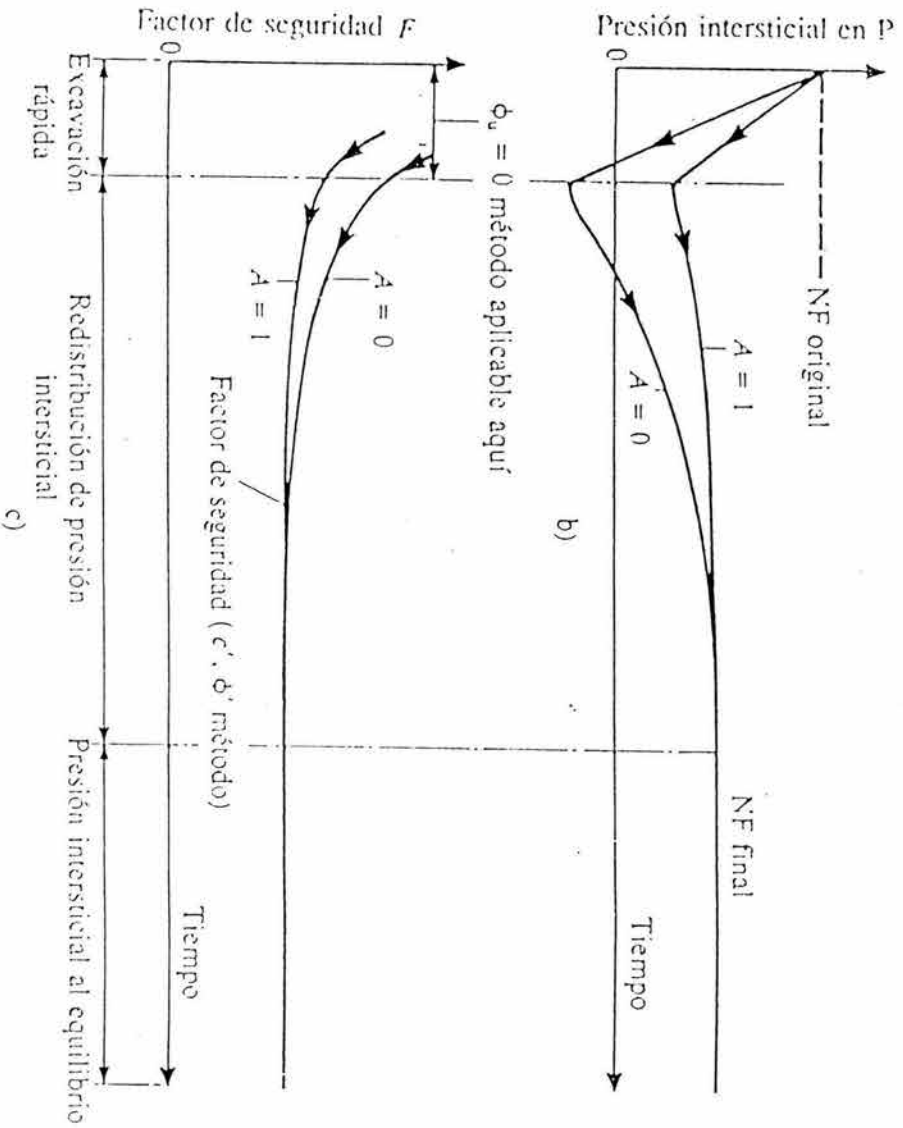
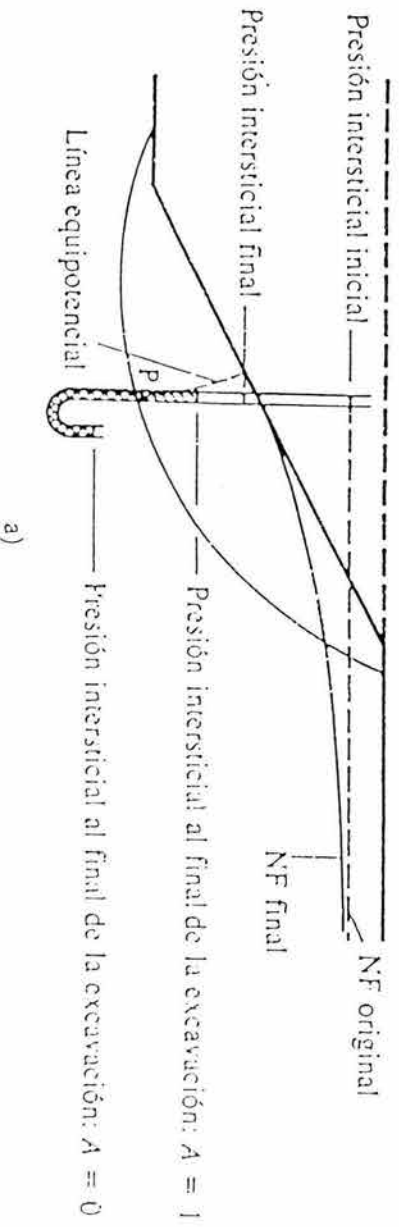
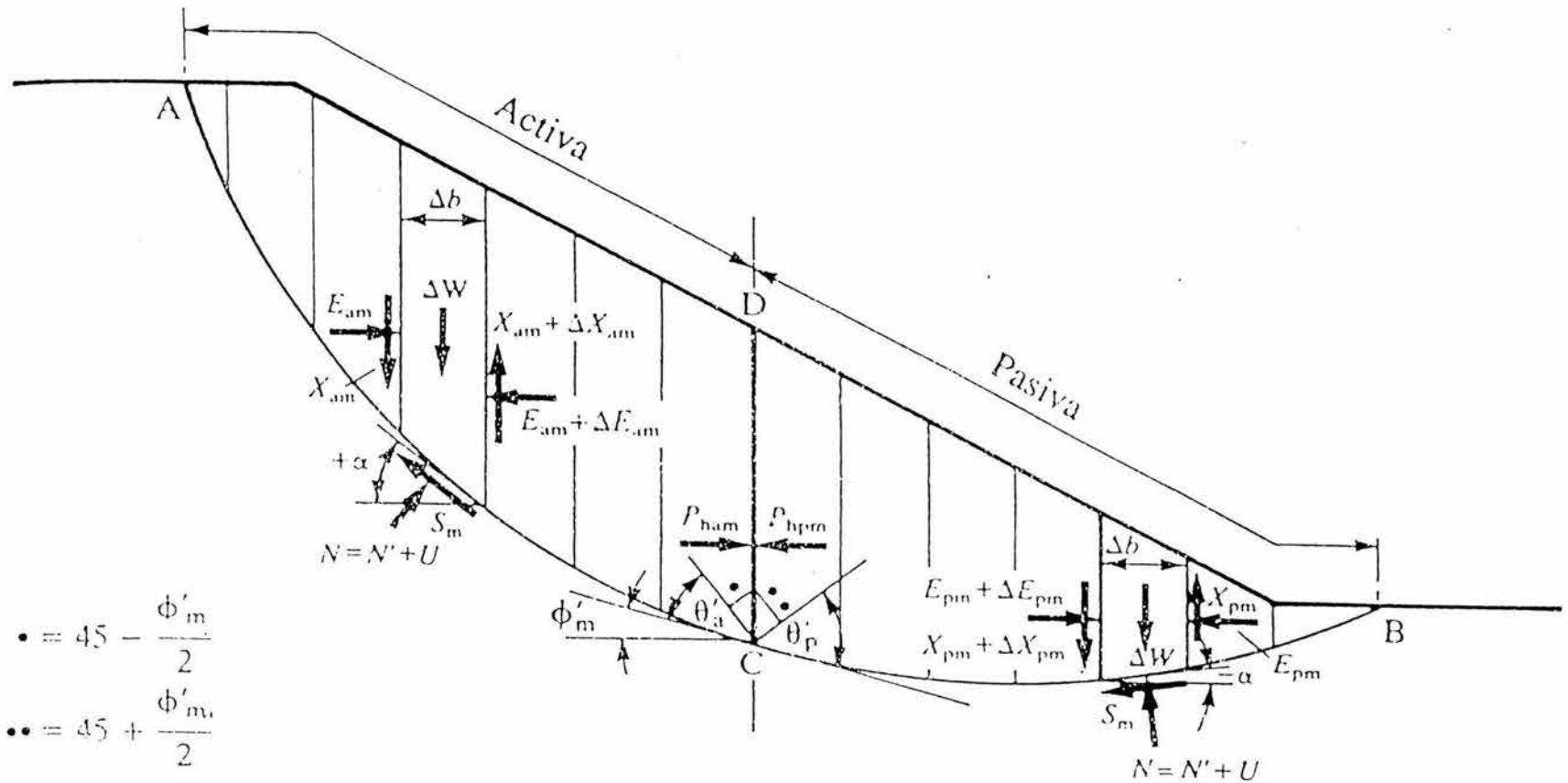


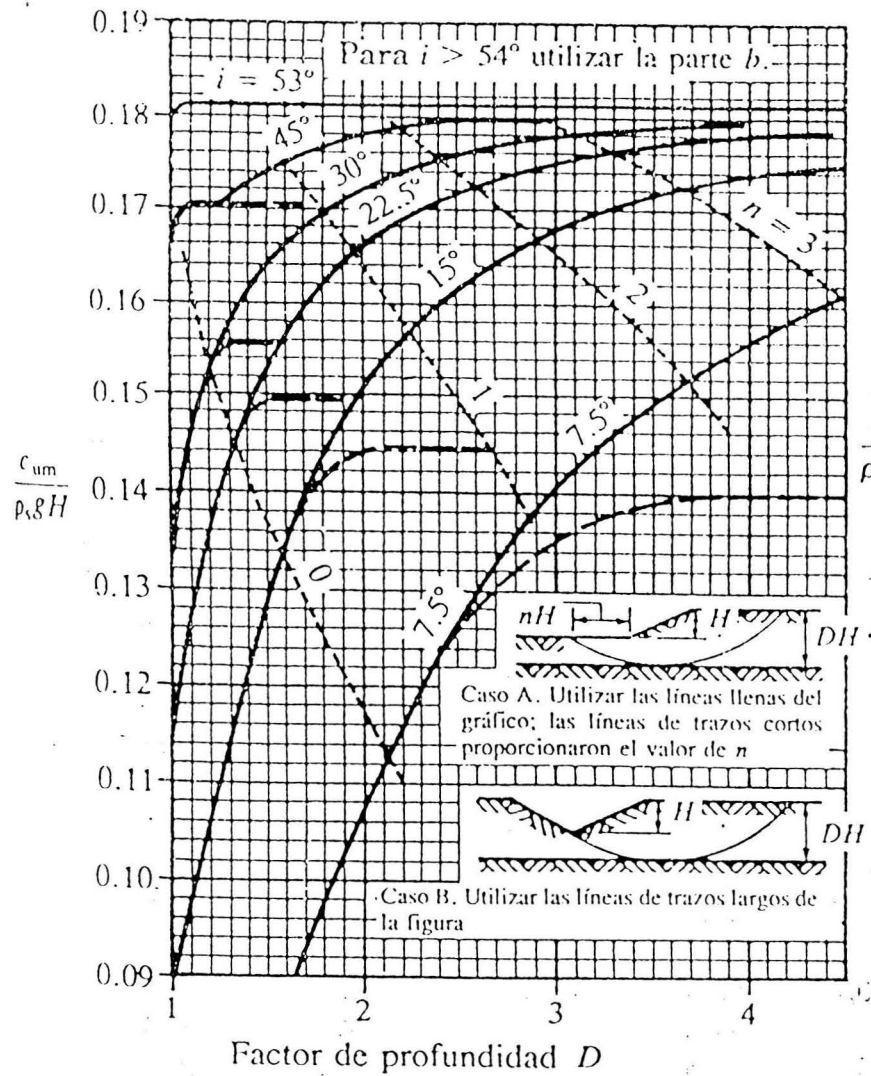
FIGURA IV.3 CAMBIOS DE LA PRESIÓN INTERSTICIAL Y DEL FACTOR DE SEGURIDAD DURANTE Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TALUD EN CORTE EN ARCILLA (BISHOP Y BJERRUM, 1960)



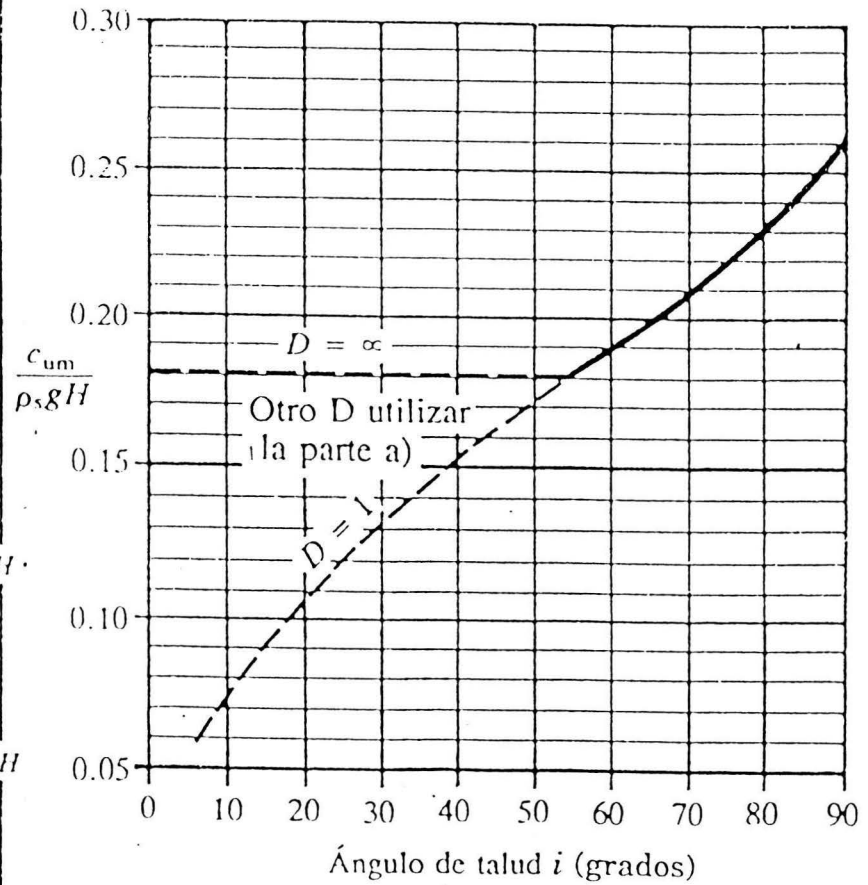
$$\bullet = 45 - \frac{\phi'_m}{2}$$

$$\bullet\bullet = 45 + \frac{\phi'_m}{2}$$

FIGURA IV.4. FALLA POTENCIAL DE UN TALUD. FUERZAS SOBRE LAS TAJADAS VERTICALES DE UN SUELO EN LAS ZONAS ACTIVA Y PASIVA

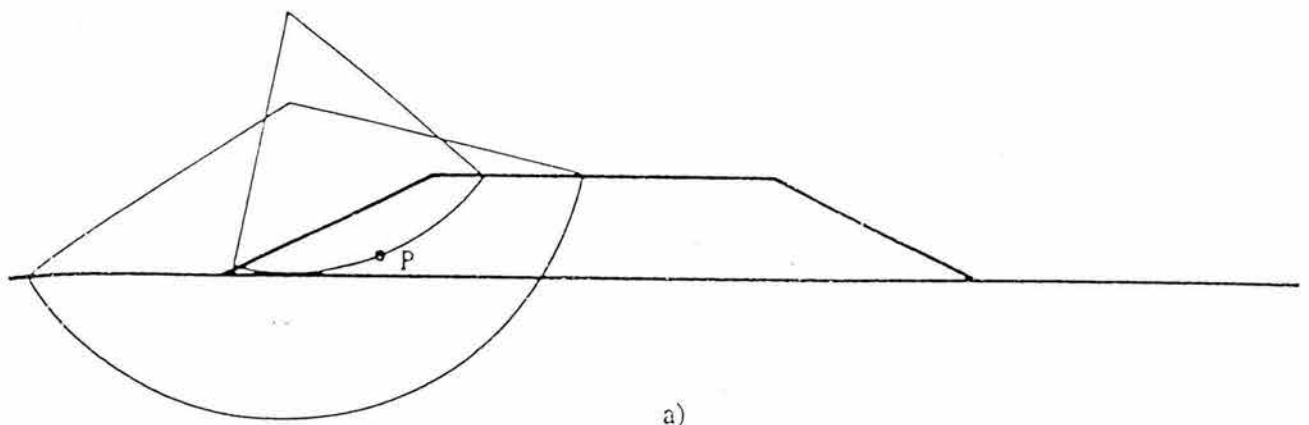


a)

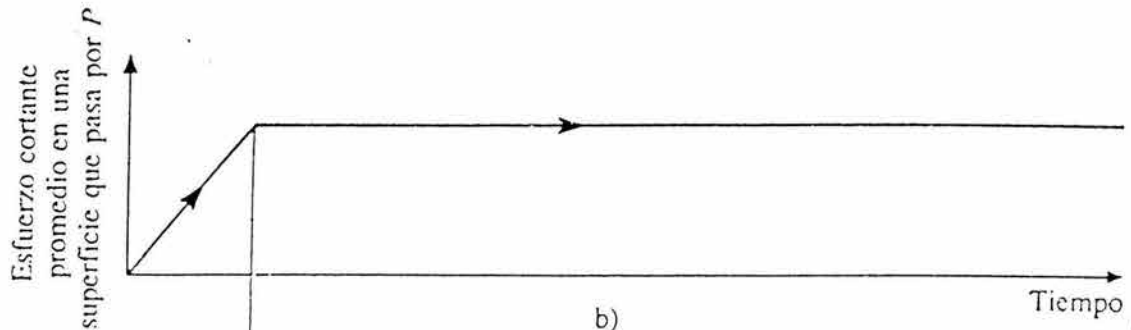


b)

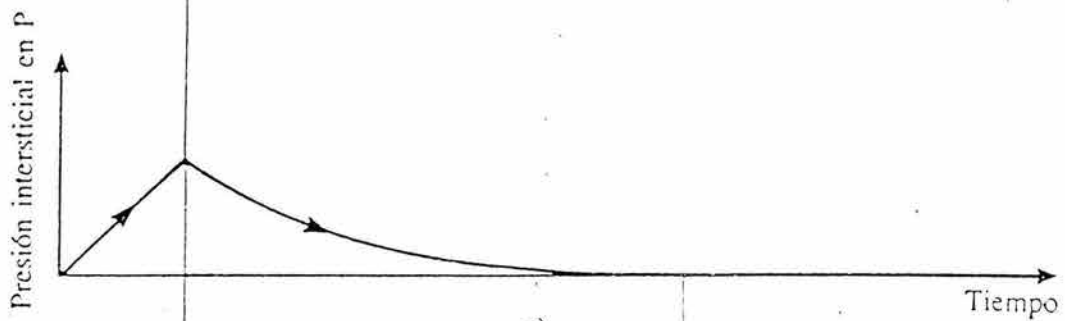
FIGURA IV.5 ESTABILIDAD A CORTO PLAZO DE TALUDES EN ARCILLA SATURADAS. GRAFICOS DE ESTABILIDAD PARA LA CONDICIÓN DE  $\phi_u = 0$  (TAYLOR, 1948)



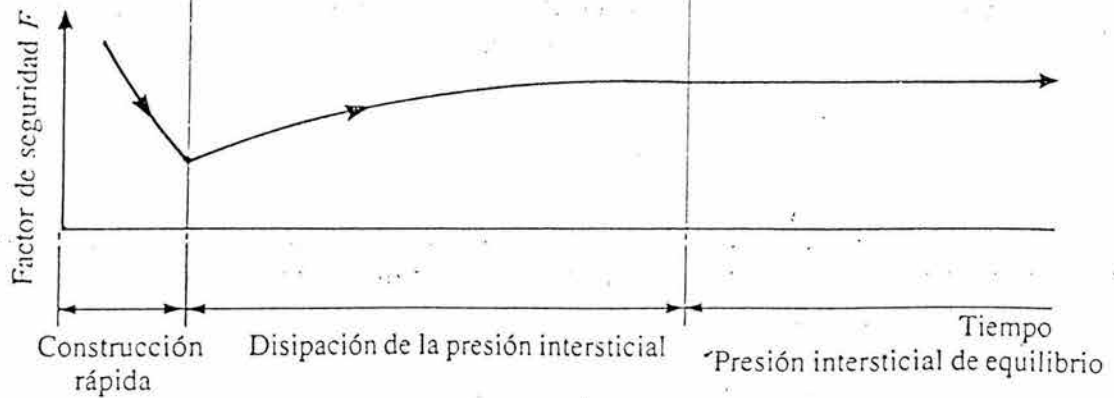
a)



b)



c)



d)

FIGURA IV.6 CAMBIOS EN EL ESFUERZO CORTANTE, LA PRESIÓN INTERSTICIAL Y EL FACTOR DE SEGURIDAD DURANTE Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TERRAPLÉN (BISHOP Y BJERRUM, 1960)

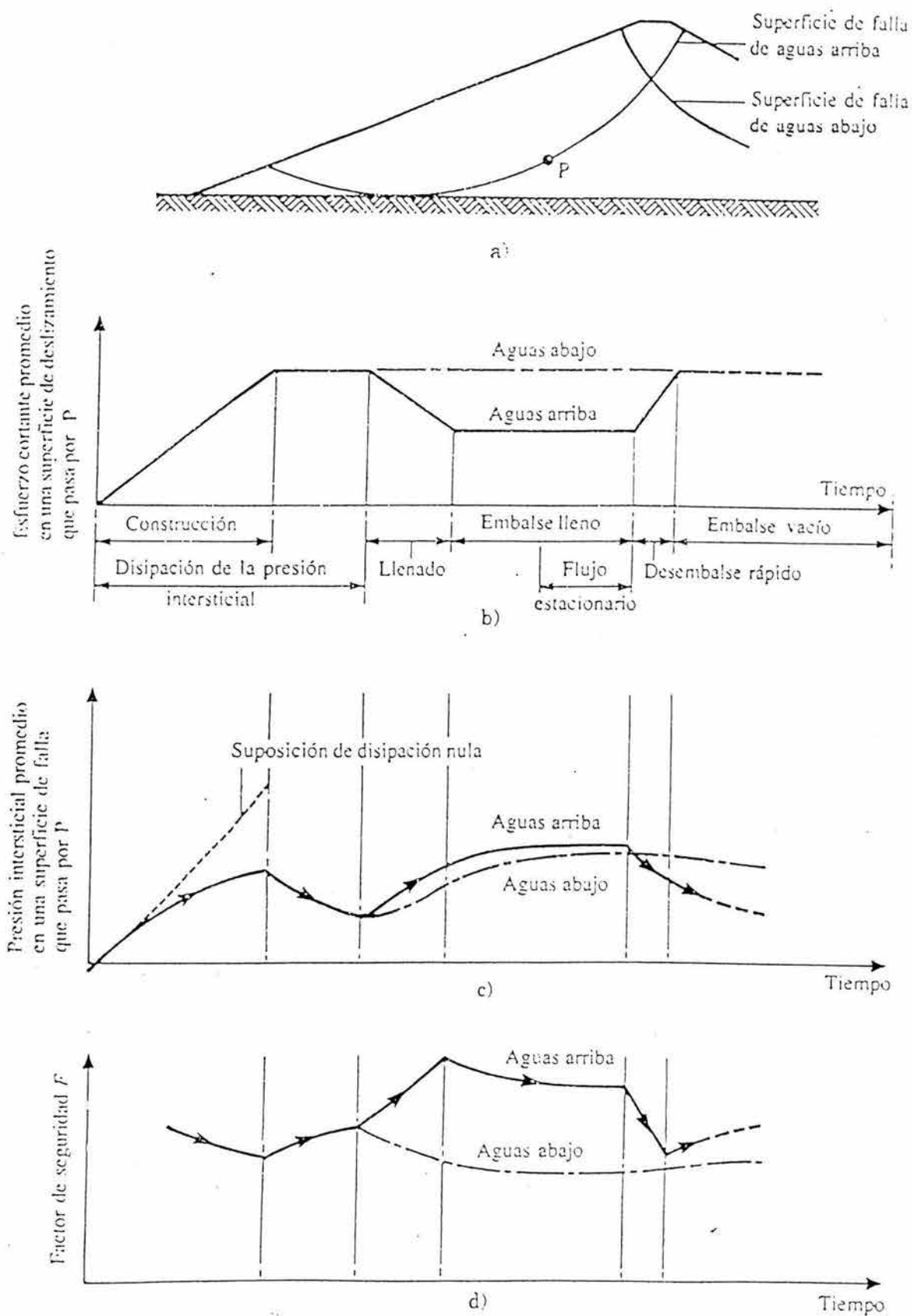


FIGURA IV.7 CAMBIOS DE ESFUERZO CORTANTE, PRESIÓN INTERSTICIAL Y FACTOR DE SEGURIDAD DURANTE Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA DE TIERRA (LAMBE Y WHITMAN, 1979; BISHOP Y BJERRUM, 1960)

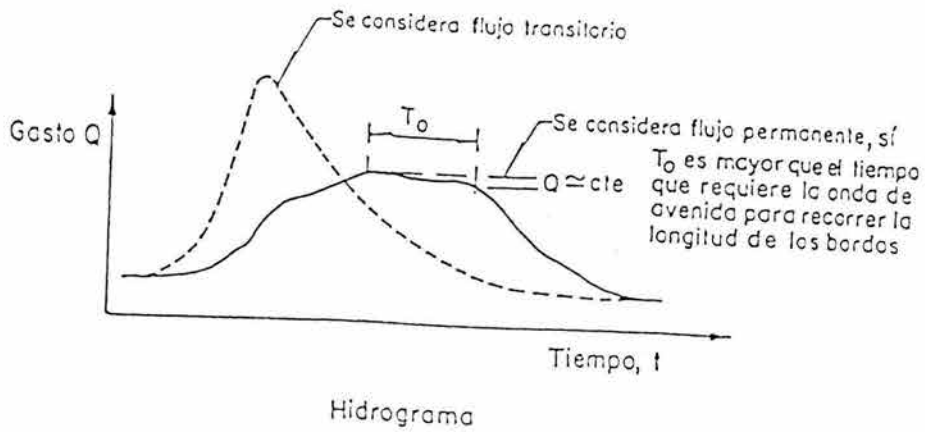
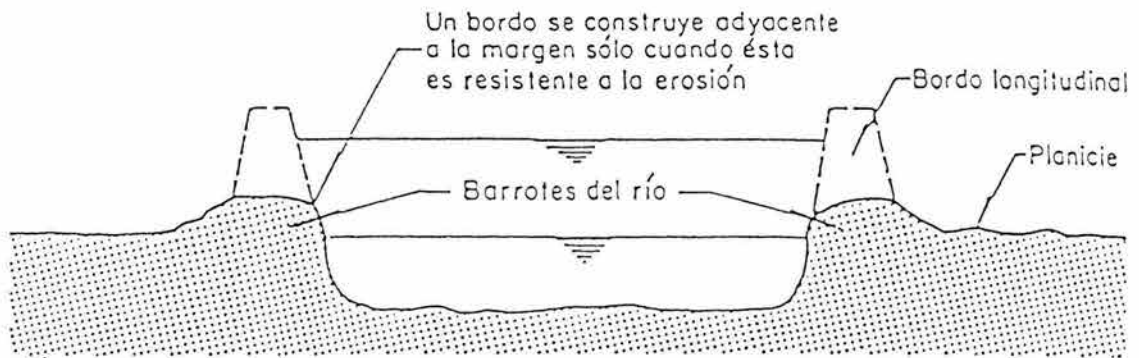
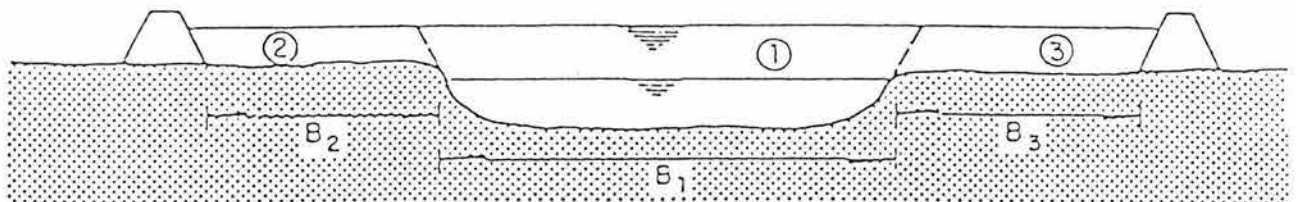


FIGURA V. 1 FLUJO SEGÚN LA DURACIÓN DEL  $Q_{máx.}$



a) Sección simple, con ancho semejante al del cauce principal .



b) Sección compuesta

FIGURA V.2 SECCIÓN DEL RÍO DE ACUERDO CON LA SEPARACIÓN DE LOS BORDOS

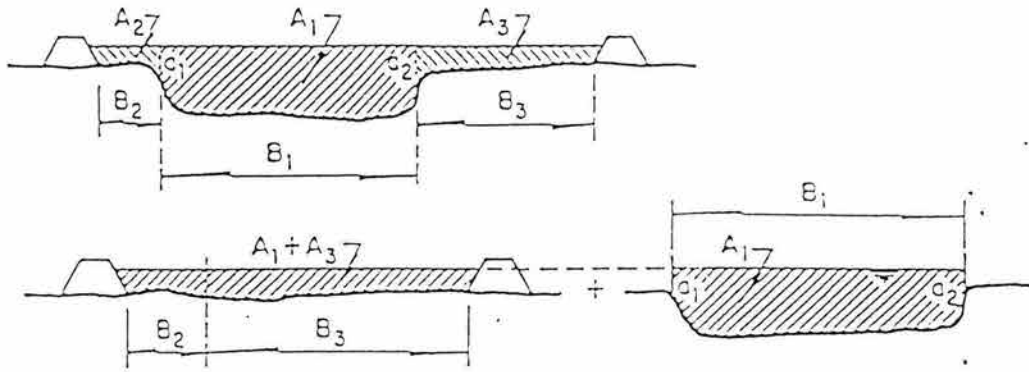


FIGURA V.3 SECCIÓN COMPUESTA

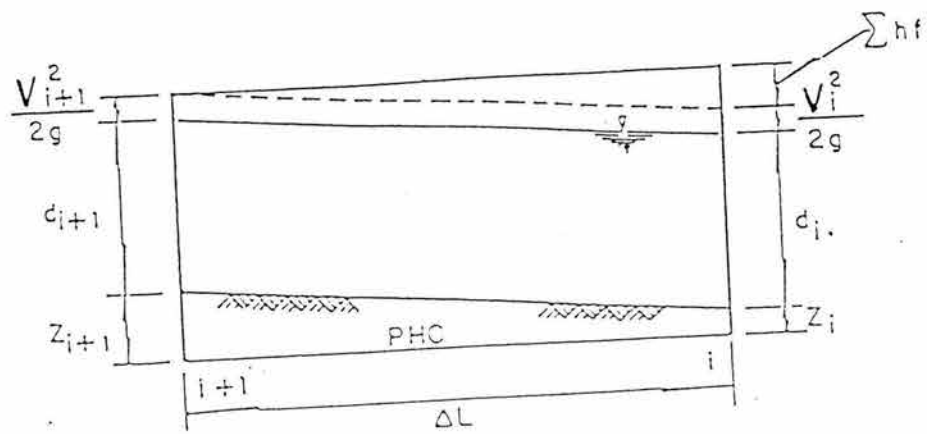


FIGURA V.4 APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA ENERGÍA



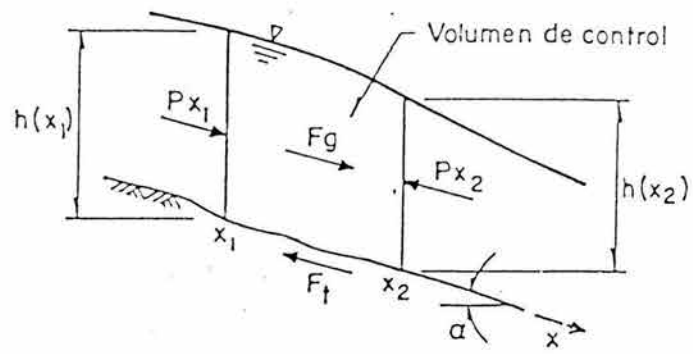


FIGURA V.5 VOLUMEN DE CONTROL (CORTE LONGITUDINAL)

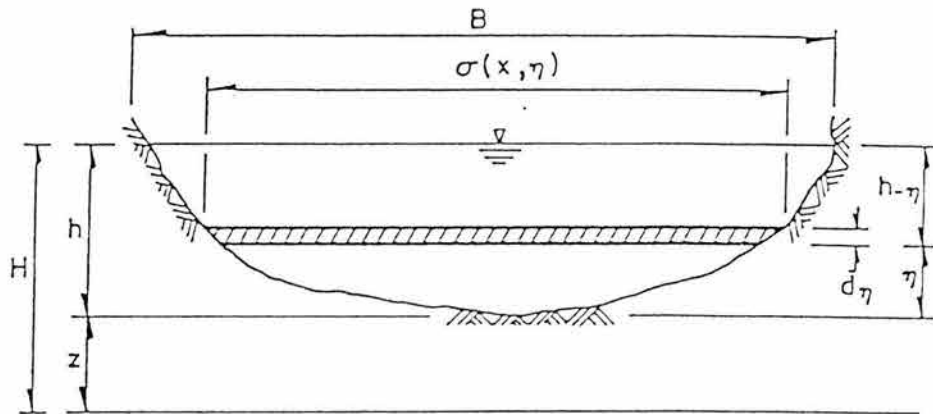


FIGURA V.6 SECCIÓN TRANSVERSAL

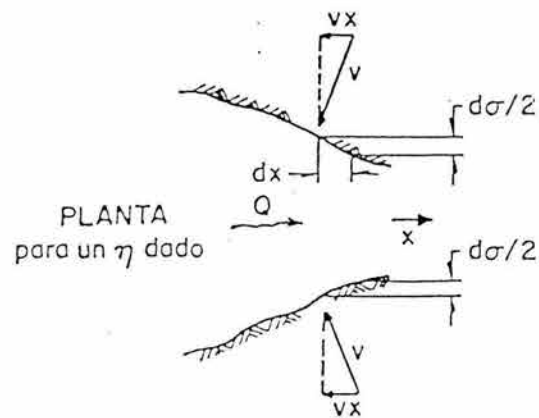


FIGURA V.7 FUERZA POR CAMBIO DE ANCHO

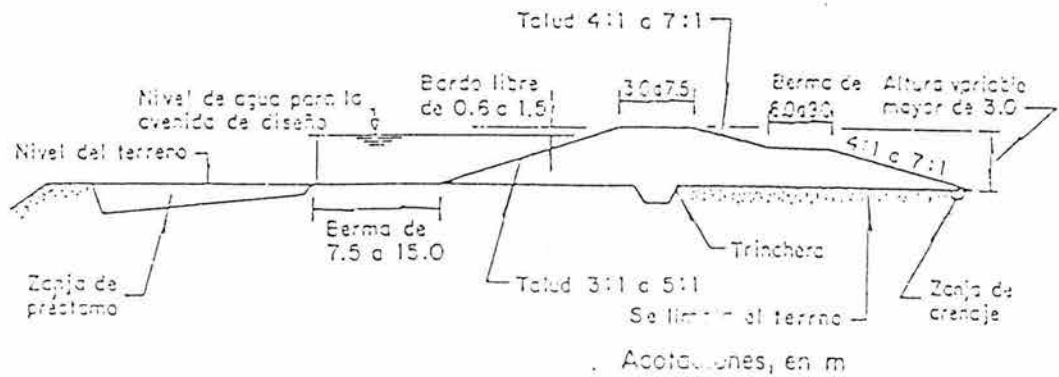


FIGURA V.8 SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN BORDO, CON ALTURA DE AGUA MAYOR DE 3.0m, SEGÚN LINSLEY Y FRANZINI (1979)

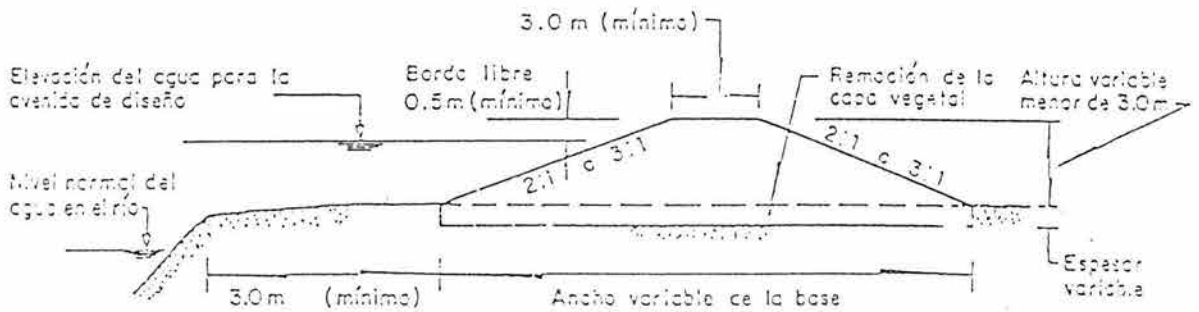
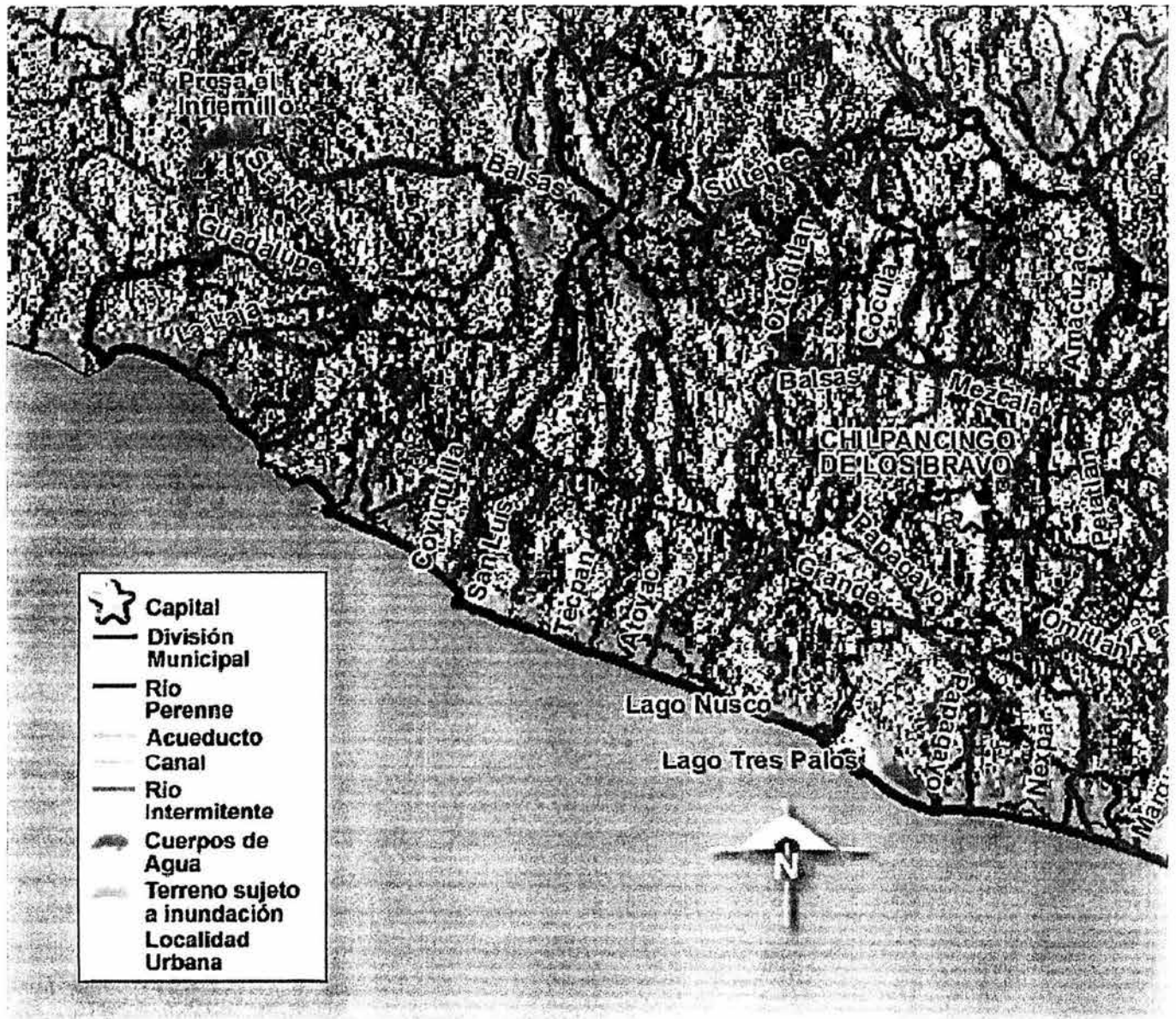


FIGURA V.9 SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN BORDO CON ALTURA MENOR DE 3.0m



**FIG. VI.1 Mapa con Principales Ríos**

# CURVA DE GASTOS - PERÍODO DE RETORNO

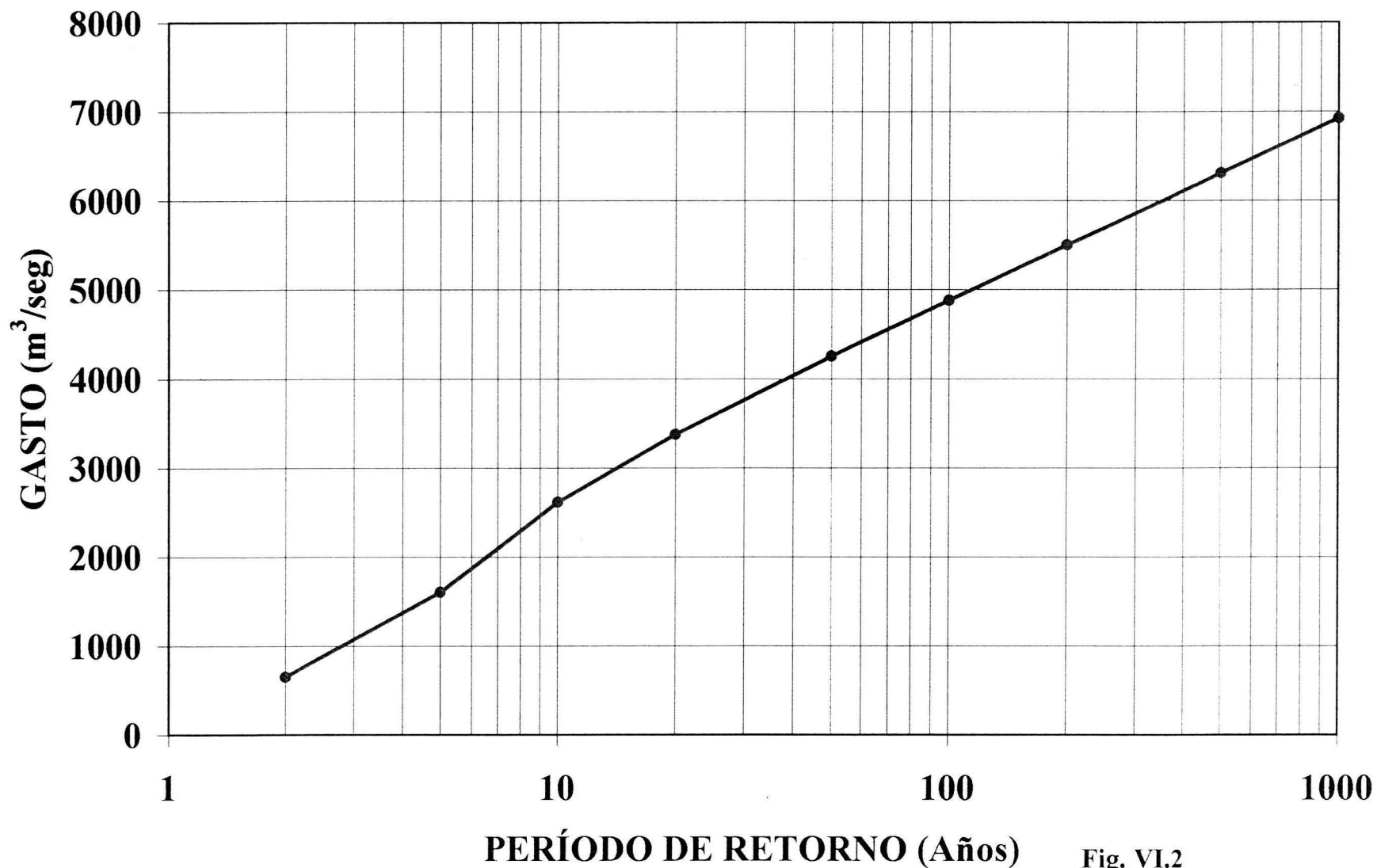


Fig. VI.2

HIDROGRAMA ADIMENSIONAL DEL USCS  
Cuenca del arroyo Juquiaque

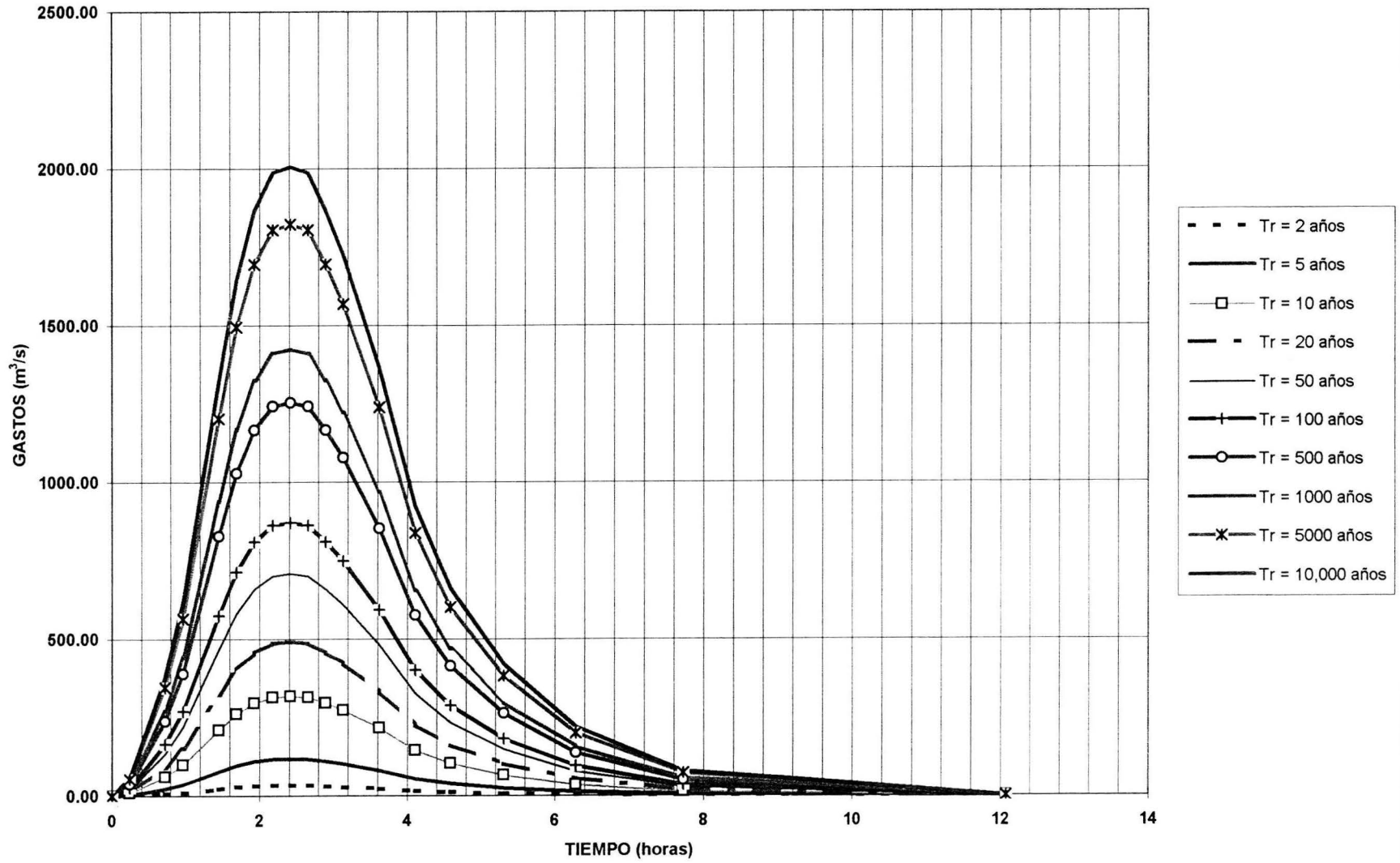
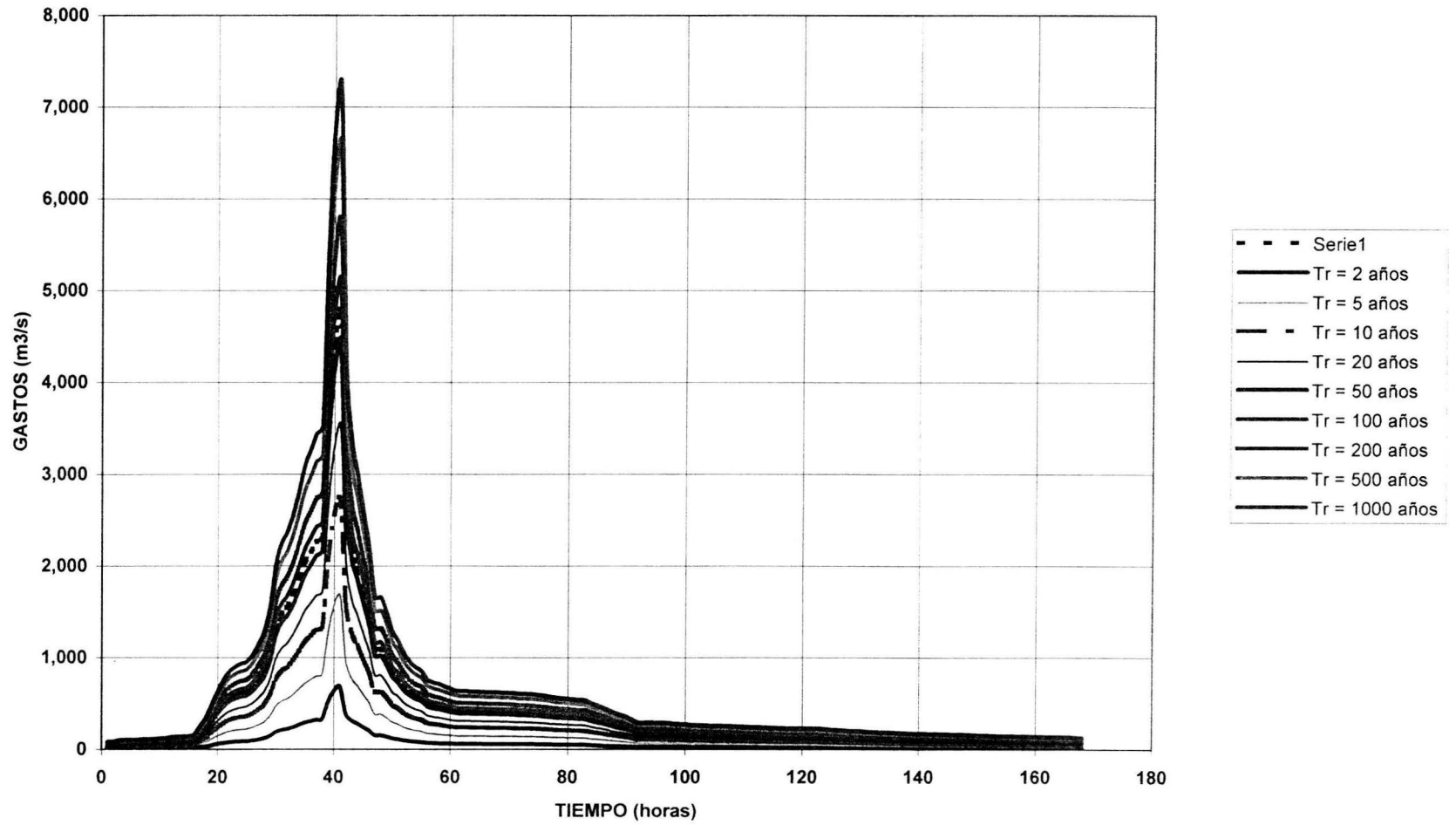


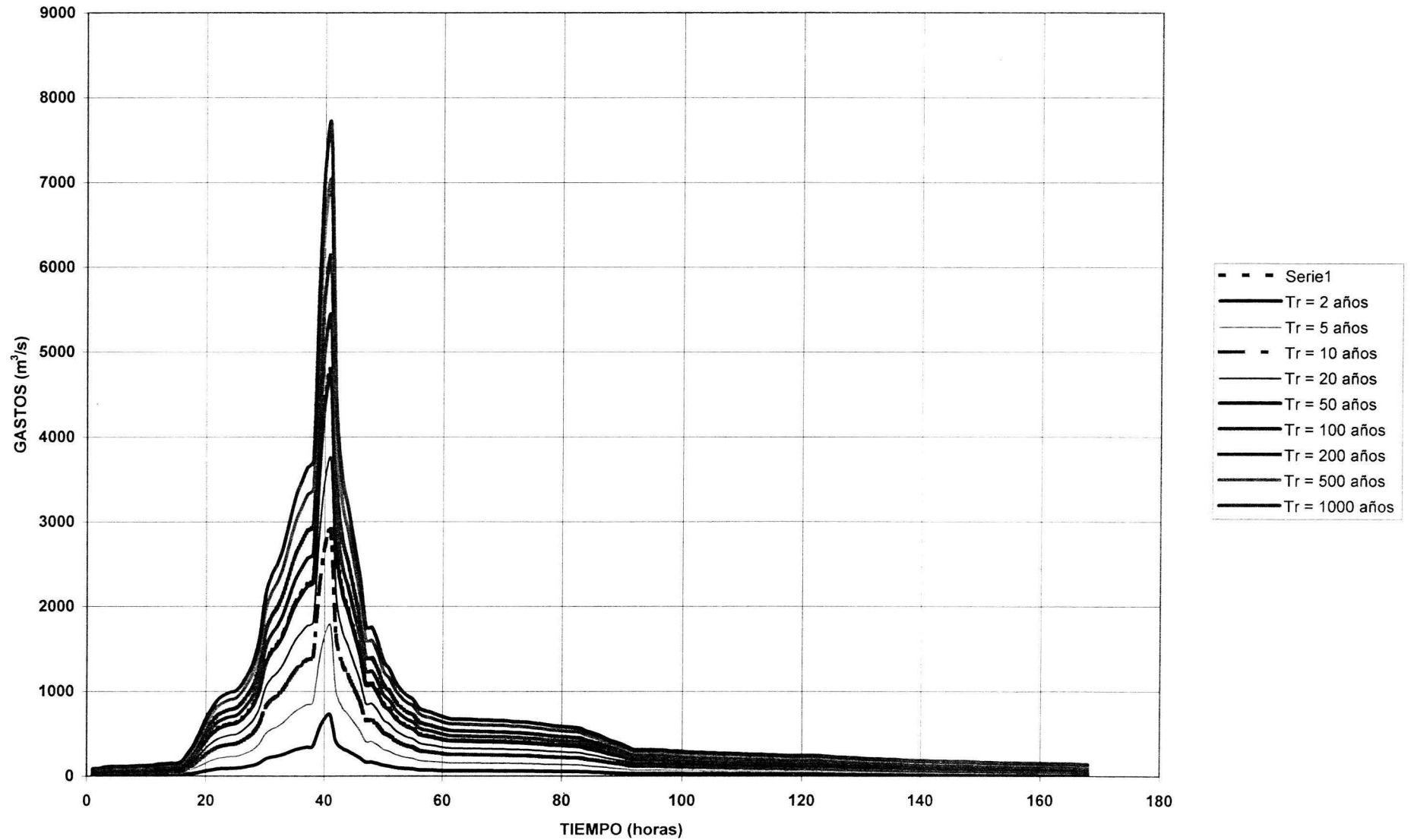
Fig. VI.3

**HIDROGRAMAS**  
**CUENCA PROPIA DEL RÍO TECPAN**



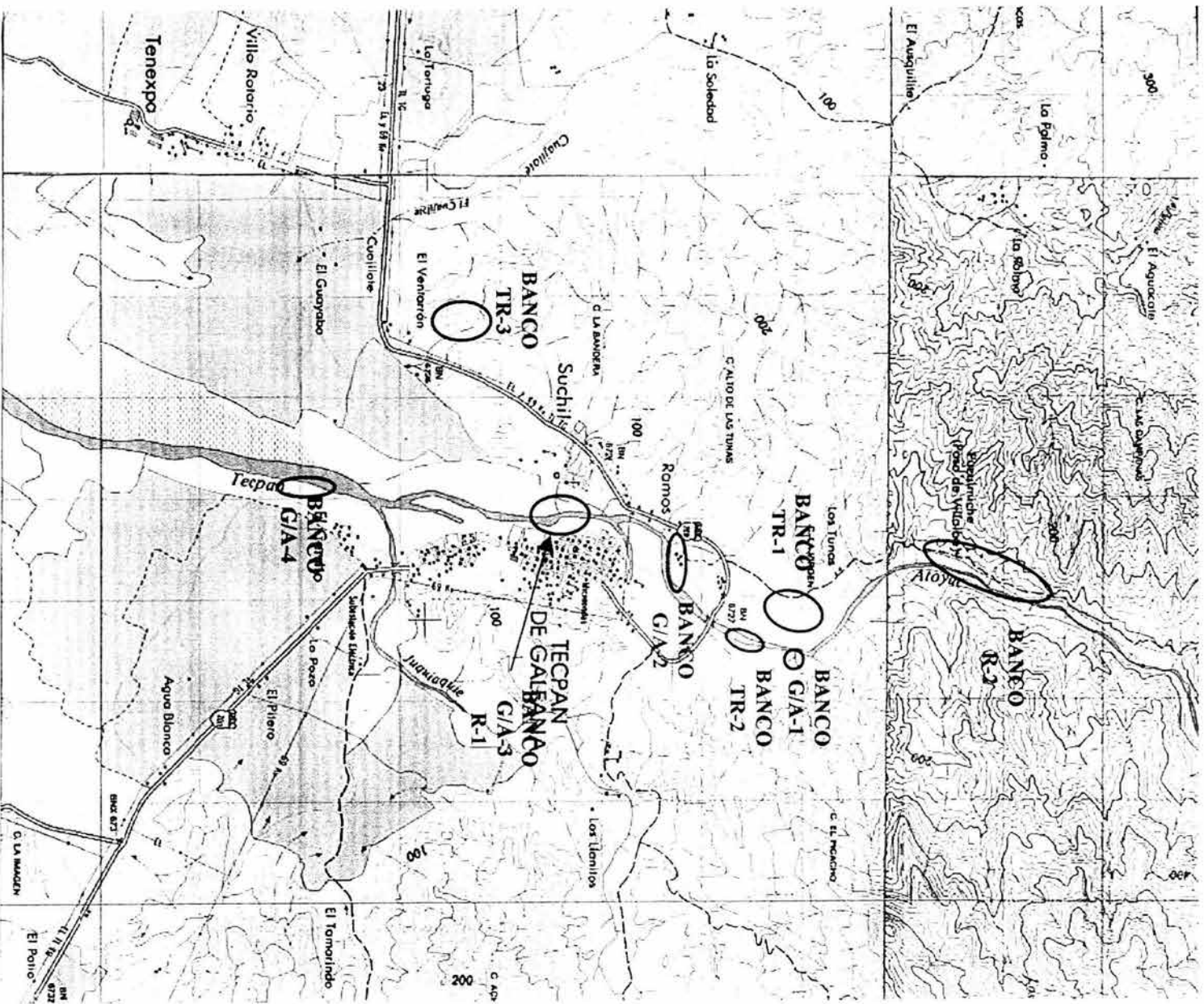
**Fig. VI.4**

**HIDROGRAMAS (SIMULTANEIDAD)**  
Cuenca del río Tecpan (incluye cuenca del arroyo Juquiaquie)



**Fig. VI.5**





**Fig. VI.6 LOCALIZACIÓN DE BANCOS**



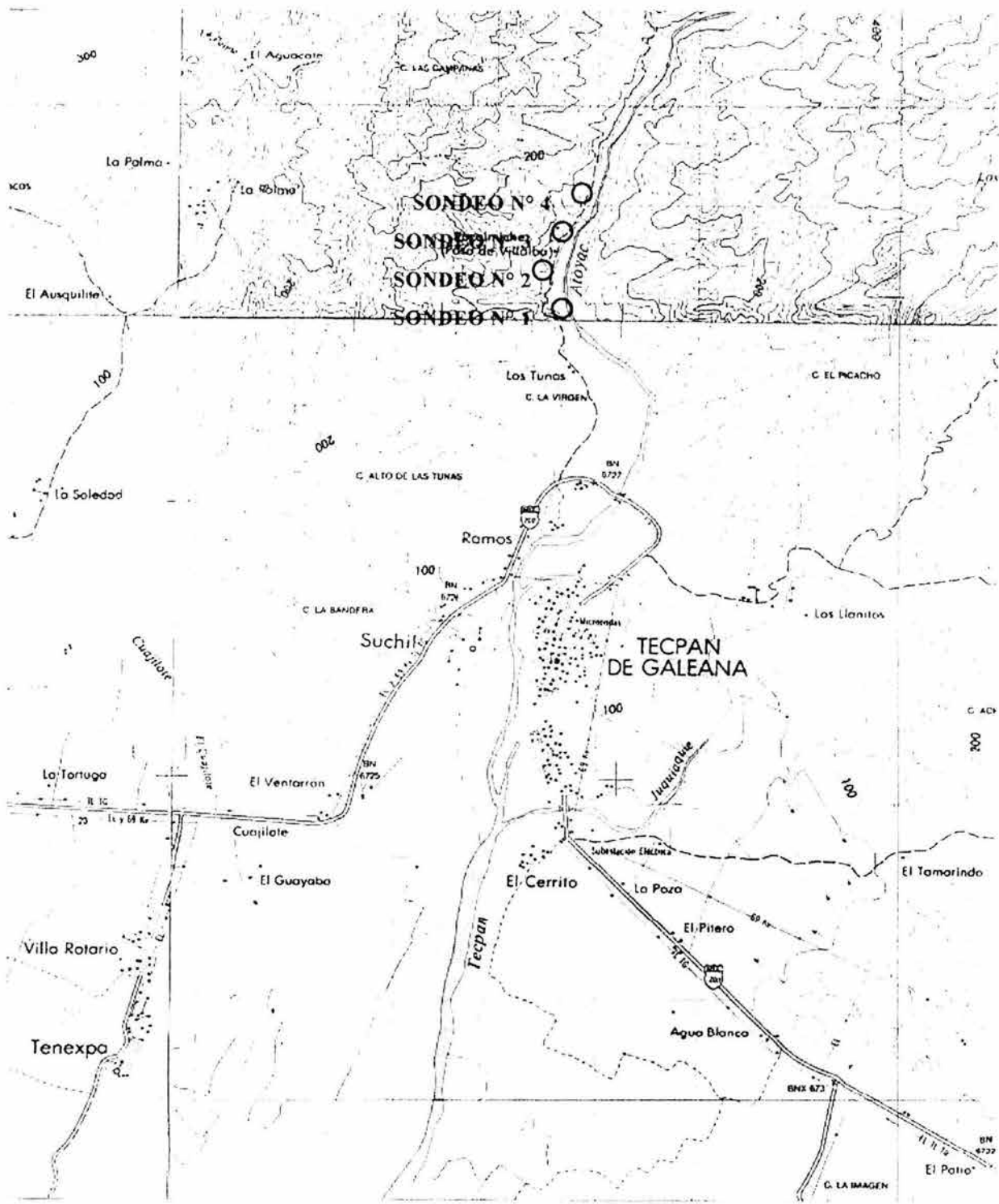
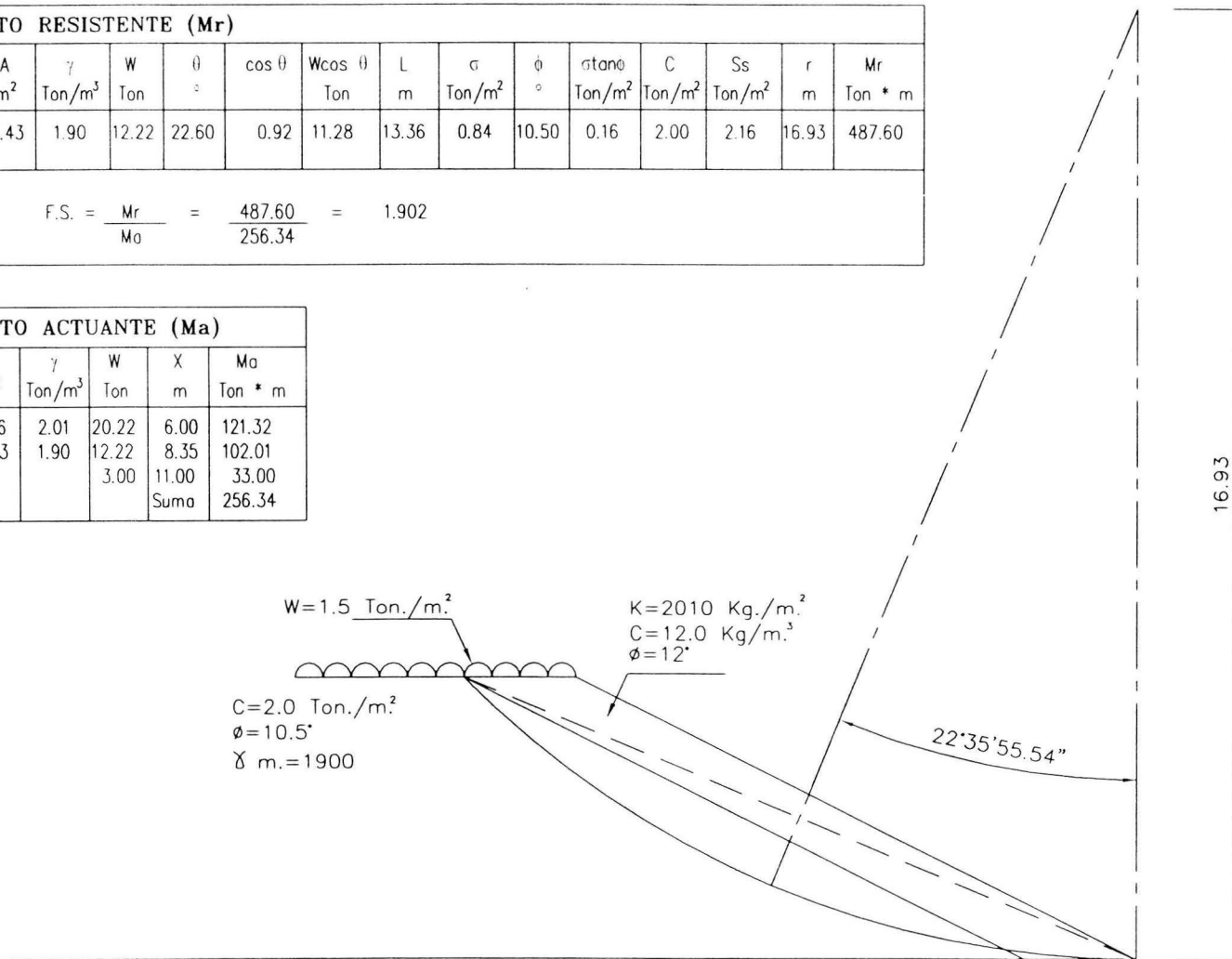


Fig. VI.7

LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

MOMENTO RESISTENTE (Mr)														
	A m <sup>2</sup>	γ Ton/m <sup>3</sup>	W Ton	θ °	cos θ	Wcos θ Ton	L m	σ Ton/m <sup>2</sup>	φ °	σtanφ Ton/m <sup>2</sup>	C Ton/m <sup>2</sup>	Ss Ton/m <sup>2</sup>	r m	Mr Ton * m
Terraplén	6.43	1.90	12.22	22.60	0.92	11.28	13.36	0.84	10.50	0.16	2.00	2.16	16.93	487.60
$F.S. = \frac{Mr}{Ma} = \frac{487.60}{256.34} = 1.902$														

MOMENTO ACTUANTE (Ma)					
	A m <sup>2</sup>	γ Ton/m <sup>3</sup>	W Ton	X m	Ma Ton * m
Roca	10.06	2.01	20.22	6.00	121.32
Terra	6.43	1.90	12.22	8.35	102.01
C. V.			3.00	11.00	33.00
			Suma		256.34



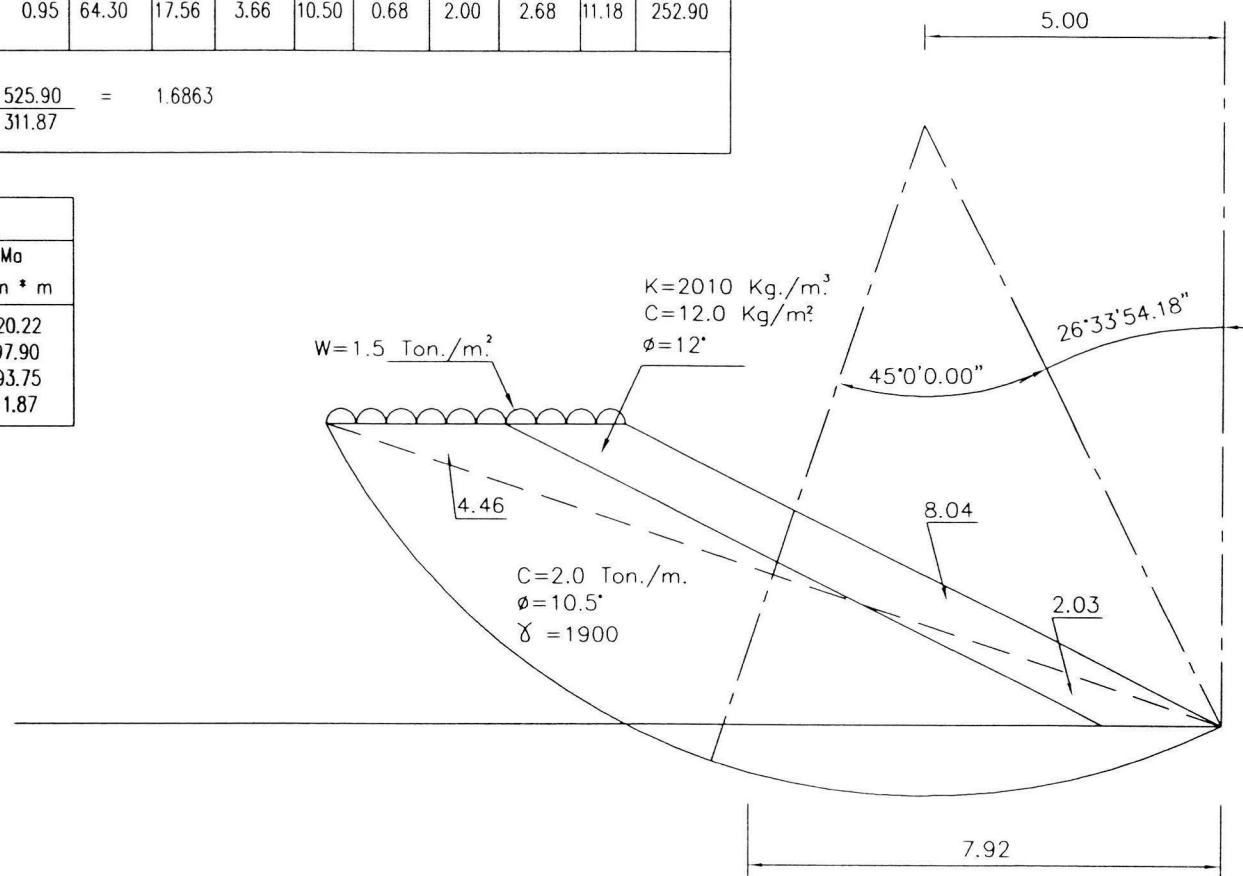
# ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

## ALTERNATIVA 1

FIGURA VI.8

MOMENTO RESISTENTE (Mr)														
	A	$\gamma$	W	$\theta$	$\cos \theta$	Wcos $\theta$	L	$\sigma$	$\phi$	$\sigma \tan \phi$	C	Ss	r	Mr
	m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>3</sup>	Ton	°		Ton	m	Ton/m <sup>2</sup>	°	Ton/m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>2</sup>	m	Ton * m
Terrapién	35.67	1.90	67.77	18.43	0.95	64.30	17.56	3.66	10.50	0.68	2.00	2.68	11.18	252.90
$F.S. = \frac{Mr}{Ma} = \frac{525.90}{311.87} = 1.6863$														

MOMENTO ACTUANTE (Ma)					
	A	$\gamma$	W	X	Ma
	m <sup>2</sup>	Ton/m <sup>3</sup>	Ton	m	Ton * m
Roca	10.06	2.01	20.22	1.00	20.22
Terra	35.67	1.90	67.77	2.92	197.90
C. V.			7.50	12.50	93.75
			Suma		311.87



## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES ALTERNATIVA 2

FIGURA VI.9

PROYECTO RÍO TECPAN, GRO., CONDICIONES NATURALES PARA  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$

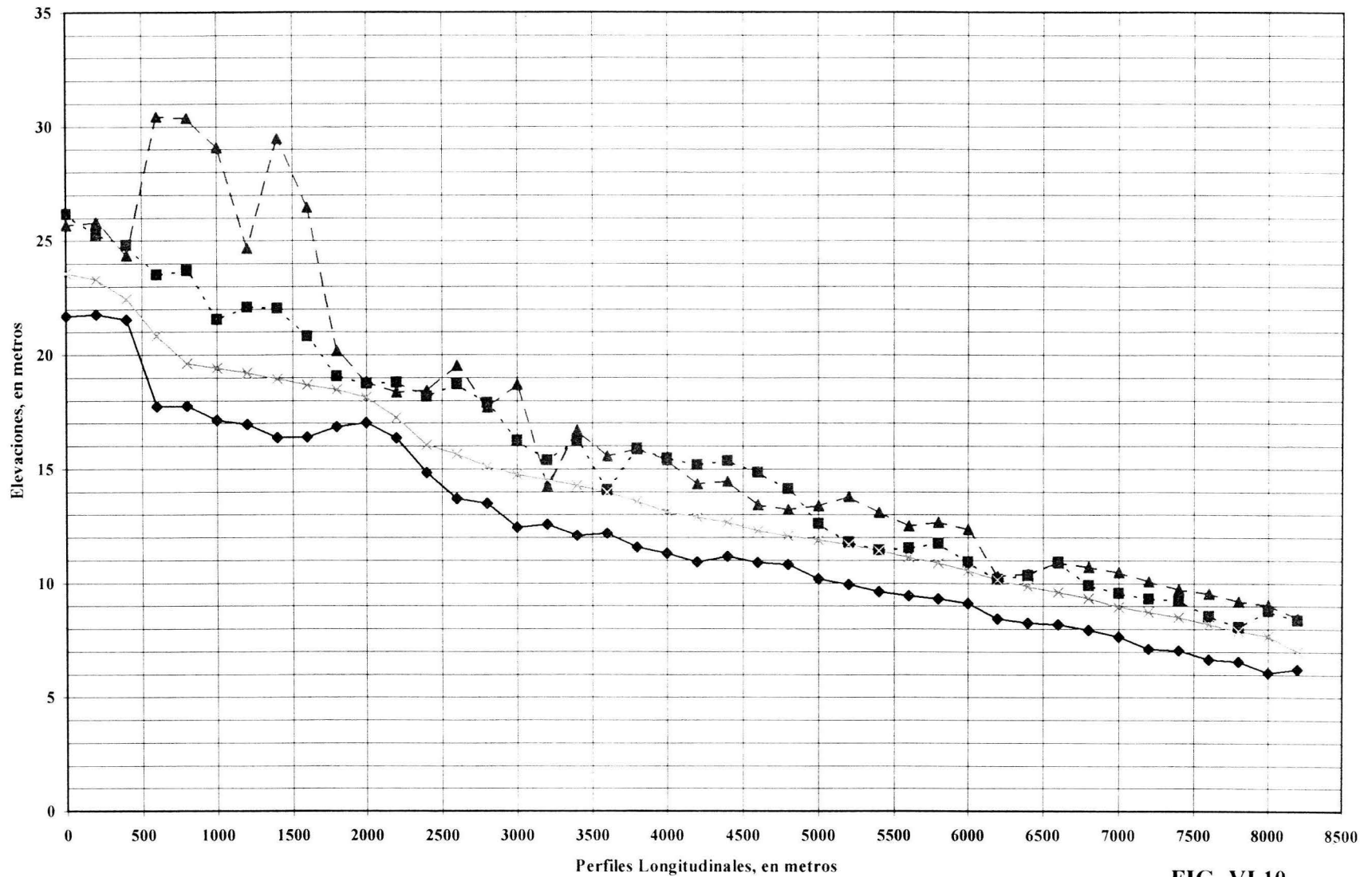
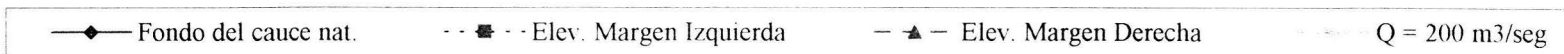


FIG. VI.10



PROYECTO RÍO TECPAN, GRO., CONDICIONES NATURALES PARA  $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$

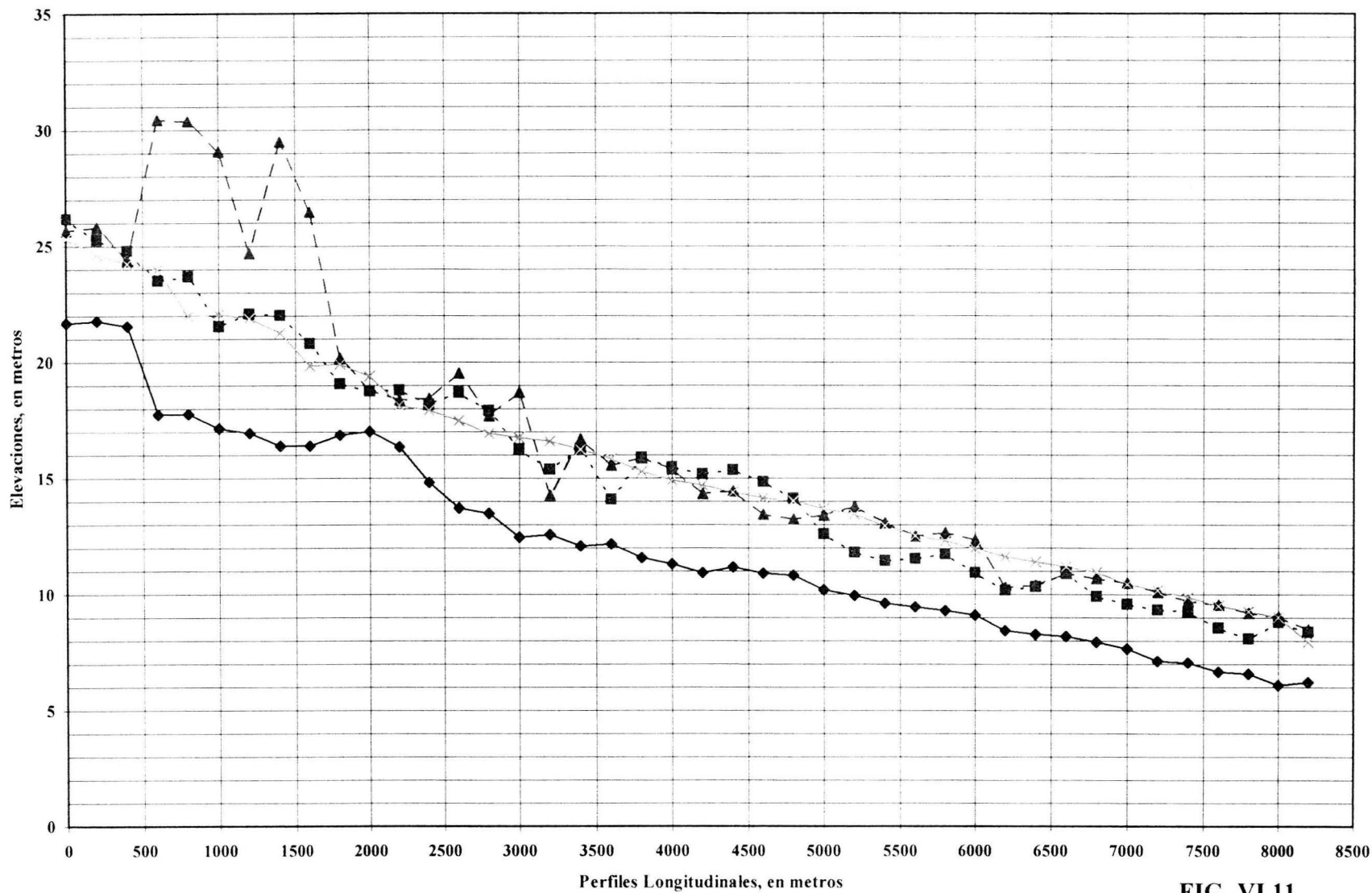
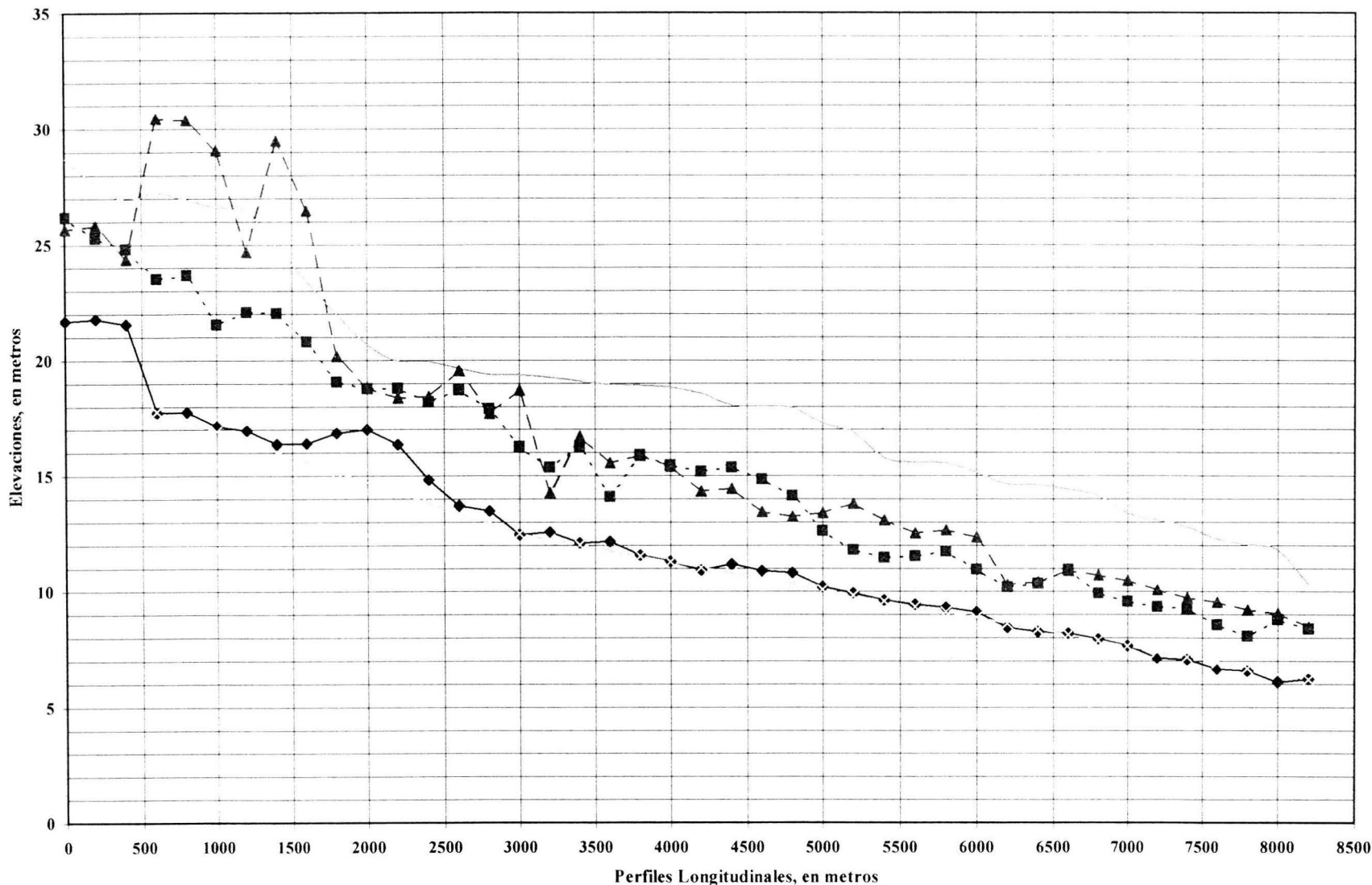


FIG. VI.11

Fondo del cauce nat.
 
 Elev. Margen Izquierda
 
 Elev. Margen Derecha
 
 Q = 1000 m³/seg

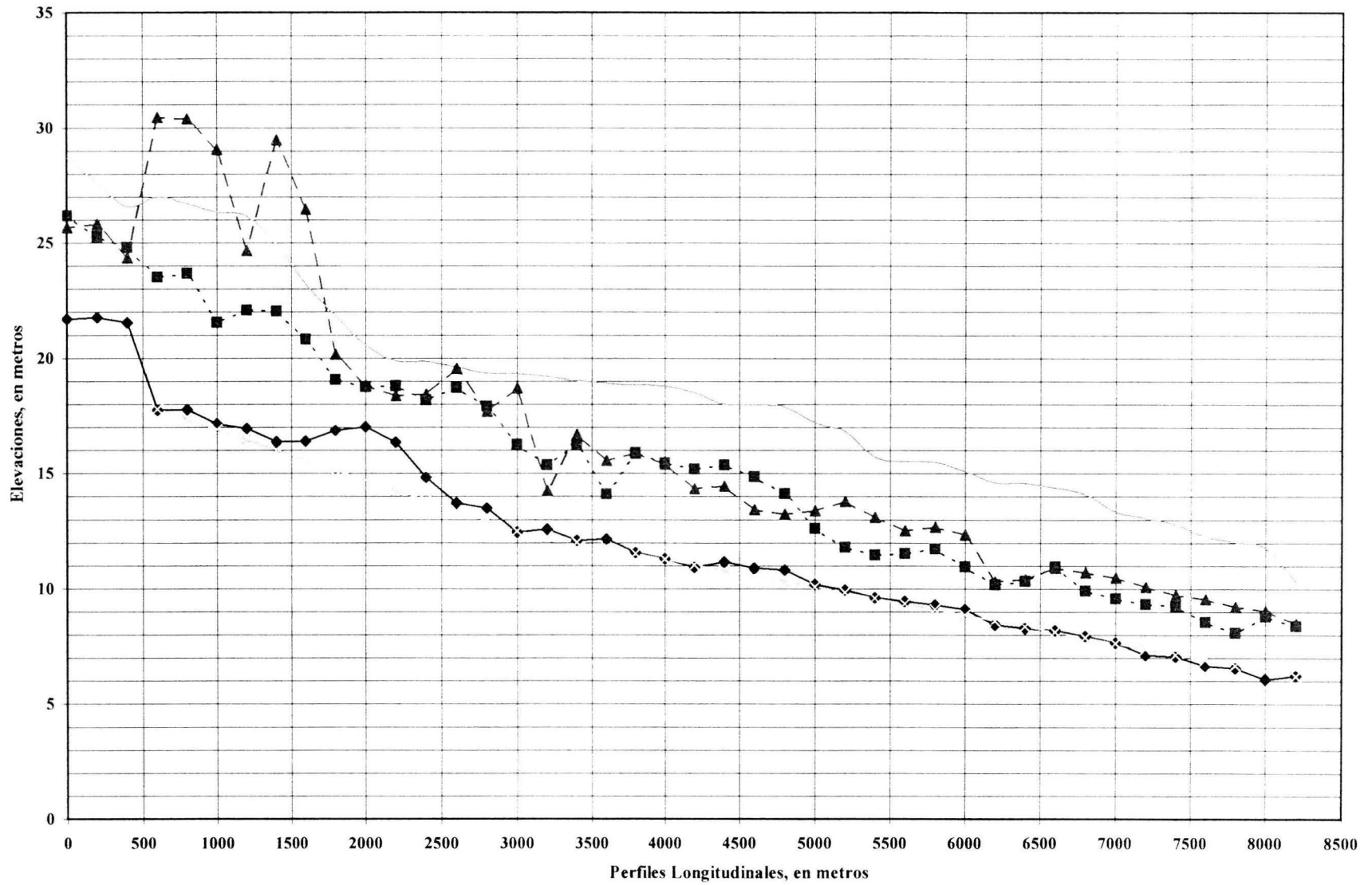
PROYECTO RÍO TECPAN, GRO., ALT. # 1, B = 50 m, PARA Q = 4707 m<sup>3</sup>/s



— Fondo del cauce nat. Rasante del Fondo     
  — Elev. Margen Izquierda     
  — Elev. Margen Derecha  
 — Tr = 50 años

FIG. VI.12

PROYECTO RÍO TECPAN, GRO., ALT. # 2, B = 60 m, PARA Q = 4707 m<sup>3</sup>/s



Fondo del cauce nat.  
 Rasante del Fondo

Elev. Margen Izquierda

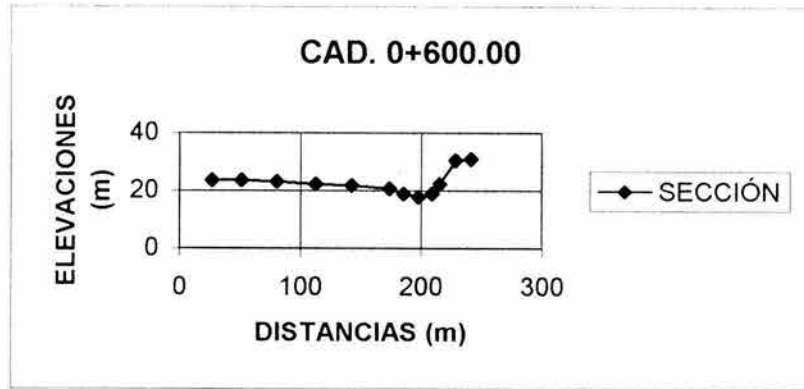
Elev. Margen Derecha

Tr = 50 años

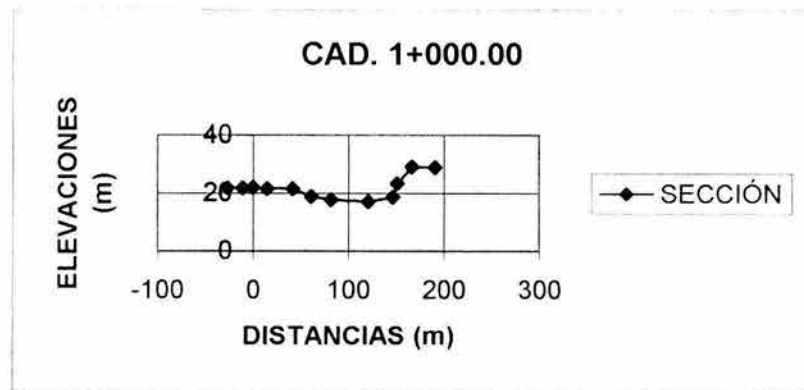
FIG. VI.13

FIGURAS VI.14

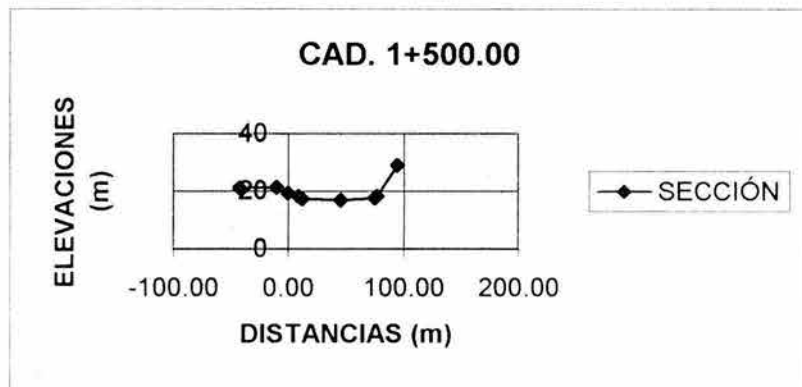
CAD. DIST. (M)	0+600.00 ELEV. (M)
27.24	23.52
51.16	23.48
80.58	23.10
112.89	22.28
142.82	21.75
174.03	20.76
185.43	18.78
197.85	17.75
208.61	18.90
214.99	22.13
228.30	30.45
241.14	30.83



CAD. DIST. (M)	1+000.00 ELEV. (M)
-26.77	21.74
-10.47	21.81
0.00	22.09
14.85	21.53
41.43	21.54
60.99	18.89
81.76	17.75
121.09	17.15
146.24	18.69
151.25	23.34
166.32	29.07
190.66	28.95

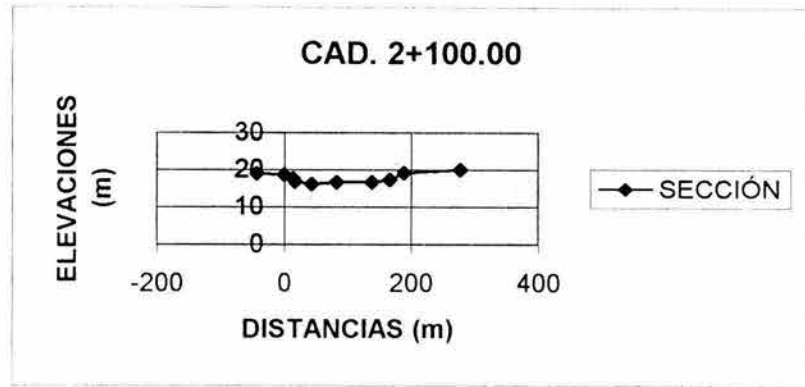


CAD. DIST. (M)	1+500.00 ELEV. (M)
-42.40	21.02
-10.12	21.42
0.00	19.41
8.83	18.19
12.22	17.41
45.67	16.83
74.87	17.46
76.91	18.19
94.59	28.86

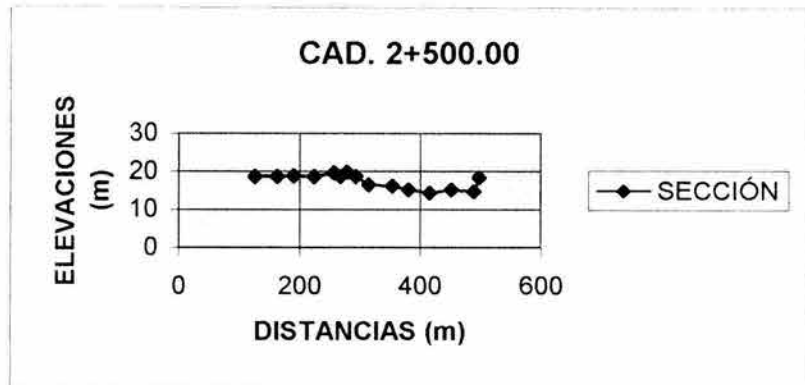




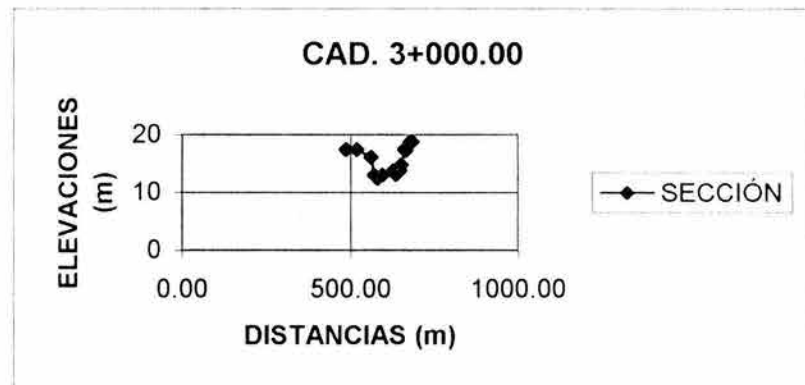
CAD. DIST. (M)	2+100.00 ELEV. (M)
-42.52	19.04
0.00	18.64
14.56	17.59
17.27	16.81
43.21	16.24
83.30	16.62
138.61	16.73
166.09	17.41
188.34	19.12
277.06	20.06



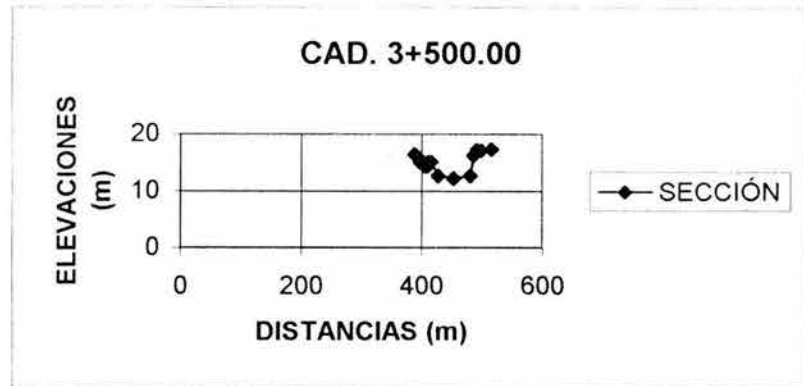
CAD. DIST. (M)	2+500.00 ELEV. (M)
125.87	18.72
163.58	18.75
190.46	18.83
224.84	18.71
257.08	19.74
268.67	18.69
278.95	19.87
294.09	18.69
315.15	16.48
353.85	16.24
380.09	15.17
415.29	14.40
451.90	15.16
488.92	14.62
496.94	18.33



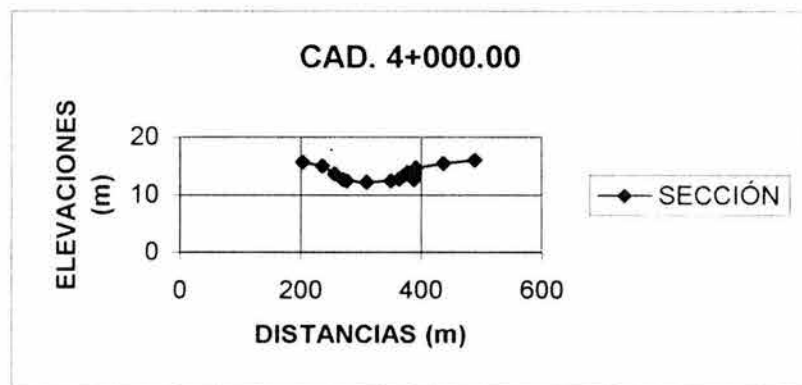
CAD. DIST. (M)	3+000.00 ELEV. (M)
488.56	17.45
520.93	17.48
561.48	16.10
571.56	13.03
581.22	12.46
595.79	13.01
628.23	13.80
636.83	13.16
647.33	13.81
651.35	14.76
660.42	17.45
665.18	17.24
676.65	18.71
684.14	18.78



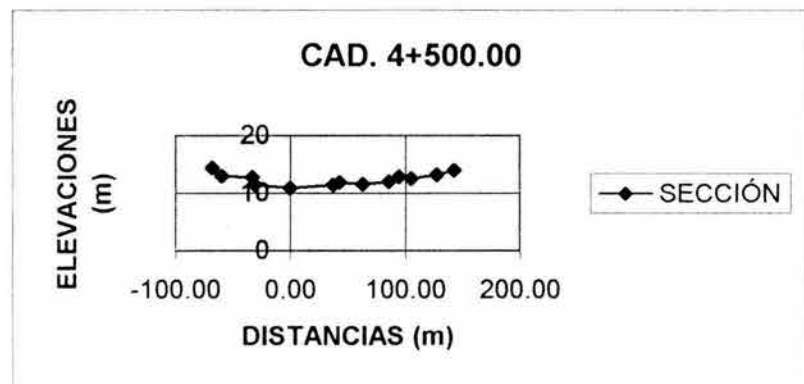
CAD. DIST. (M)	3+500.00 ELEV. (M)
388.21	16.46
391.39	16.25
396.52	15.10
400.77	15.21
404.98	14.30
409.14	14.29
411.20	15.12
415.16	15.07
427.35	12.67
453.16	12.23
480.15	12.66
485.18	16.27
491.31	17.22
498.70	17.13
514.75	17.35



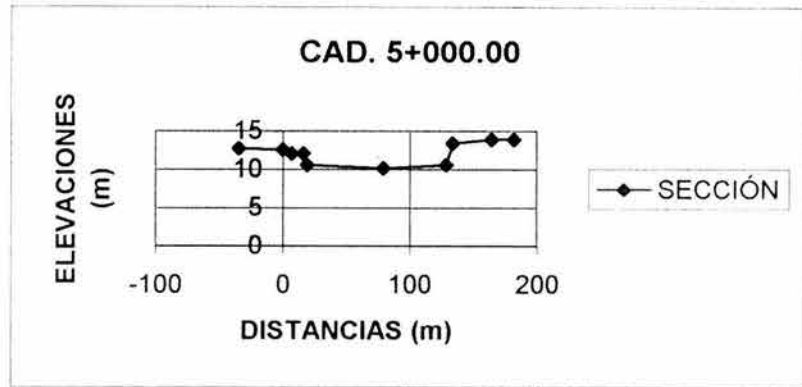
CAD. DIST. (M)	4+000.00 ELEV. (M)
203.73	15.72
236.43	15.03
256.64	13.70
270.21	12.66
277.02	12.45
309.44	12.20
350.09	12.47
363.13	12.76
372.09	13.45
377.46	13.89
387.60	12.68
389.24	13.68
390.92	14.66
436.34	15.41
488.52	16.05



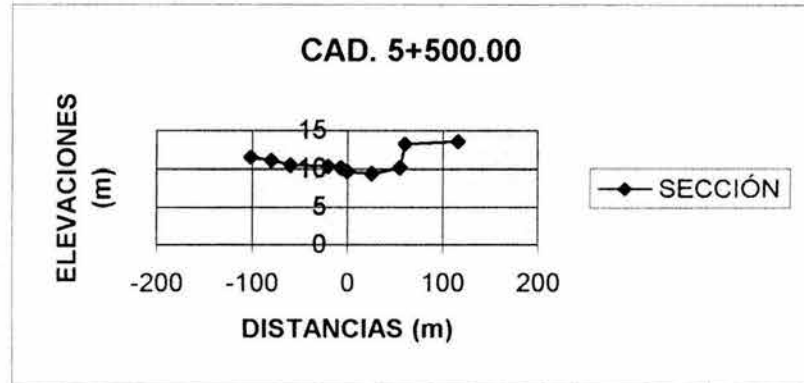
CAD. DIST. (M)	4+500.00 ELEV. (M)
-68.29	14.49
-59.70	12.98
-33.35	12.76
-30.65	11.44
0.00	10.93
37.12	11.46
42.99	11.85
62.82	11.61
85.71	11.99
94.66	12.92
105.34	12.53
127.67	13.24
142.75	14.02



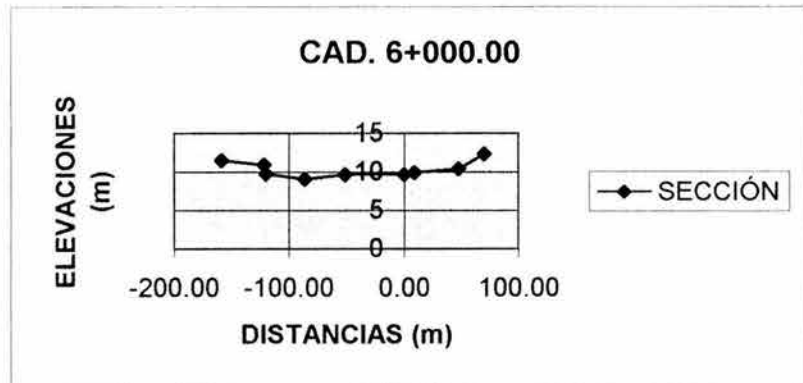
CAD. DIST. (M)	5+000.00 ELEV. (M)
-34.42	12.76
0.00	12.61
7.22	12.08
16.06	12.07
19.22	10.59
78.97	10.20
128.30	10.61
133.72	13.39
164.44	13.95
181.85	13.95



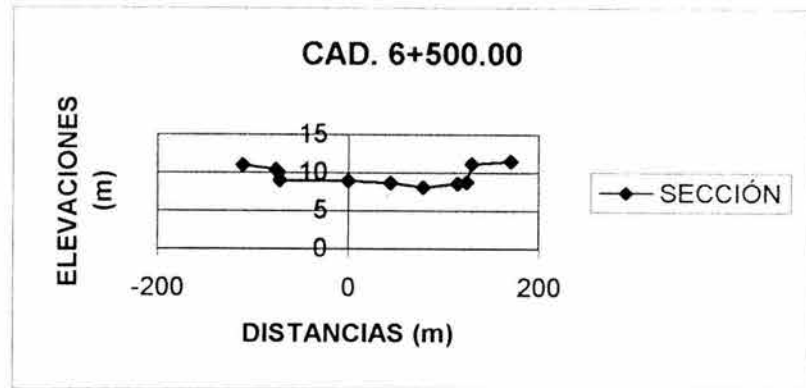
CAD. DIST. (M)	5+500.00 ELEV. (M)
-101.63	11.48
-79.67	11.12
-59.93	10.49
-19.88	10.35
-6.54	10.17
0.00	9.67
25.56	9.45
55.11	10.20
60.61	13.24
115.85	13.58



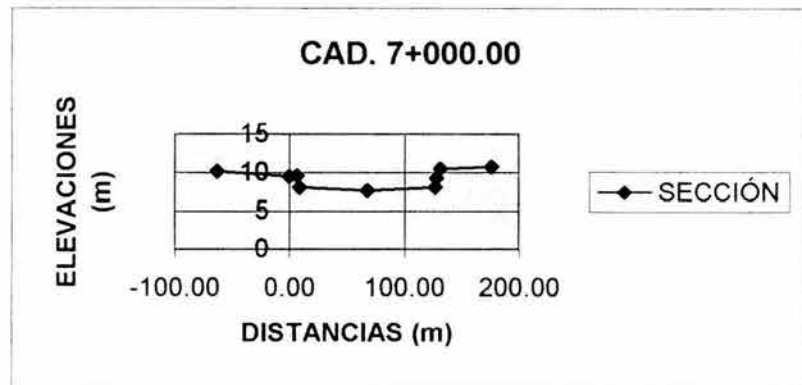
CAD. DIST. (M)	6+000.00 ELEV. (M)
-158.71	11.54
-122.11	10.94
-120.36	9.71
-86.01	9.12
-50.86	9.67
0.00	9.68
9.00	9.89
47.57	10.45
70.15	12.35



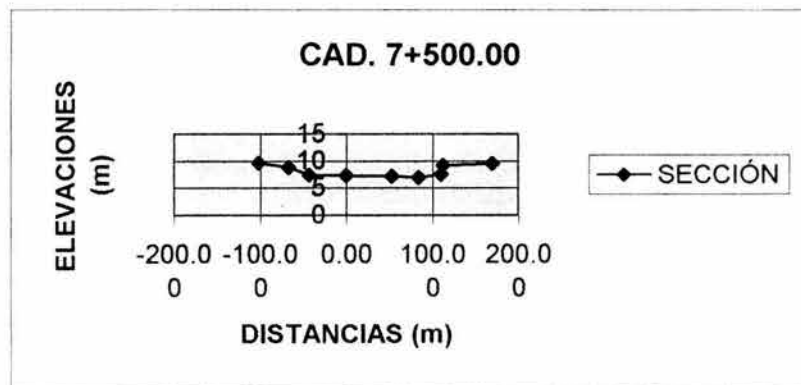
CAD. DIST. (M)	6+500.00 ELEV. (M)
-110.84	10.99
-75.91	10.45
-72.82	10.03
-71.62	9.02
0.00	8.89
44.37	8.64
78.84	8.11
115.00	8.62
123.97	8.75
129.62	11.19
170.50	11.51



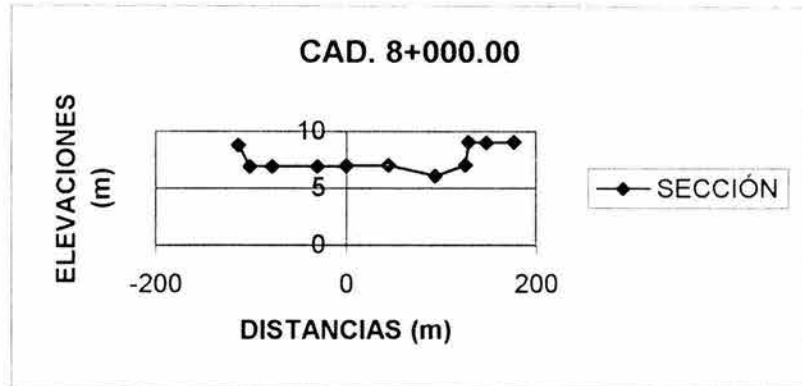
CAD. DIST. (M)	7+000.00 ELEV. (M)
-63.30	10.13
0.00	9.49
6.67	9.57
8.65	8.11
67.68	7.67
127.14	8.10
127.84	9.29
131.60	10.48
175.77	10.77



CAD. DIST. (M)	7+500.00 ELEV. (M)
-101.83	9.58
-67.02	8.78
-43.00	7.35
0.00	7.31
52.84	7.14
84.13	6.95
110.29	7.47
112.04	9.09
169.16	9.47

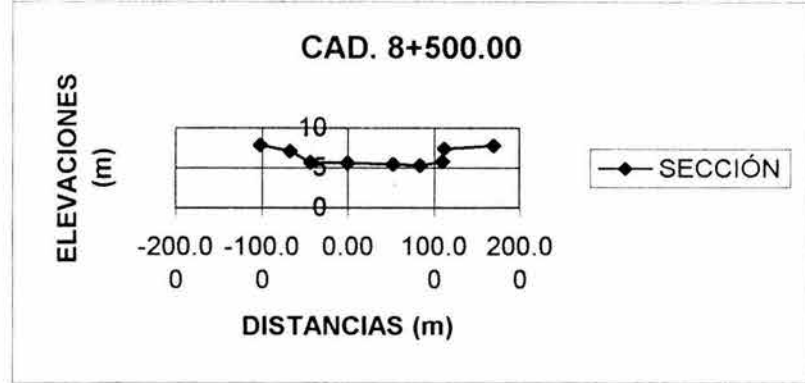


CAD. DIST. (M)	8+000.00 ELEV. (M)
-113.16	8.79
-101.21	6.91
-77.64	6.88
-30.18	6.87
0.00	6.94
44.53	7.02
94.10	6.08
125.60	7.01
128.47	9.05
147.69	8.98
176.18	9.08

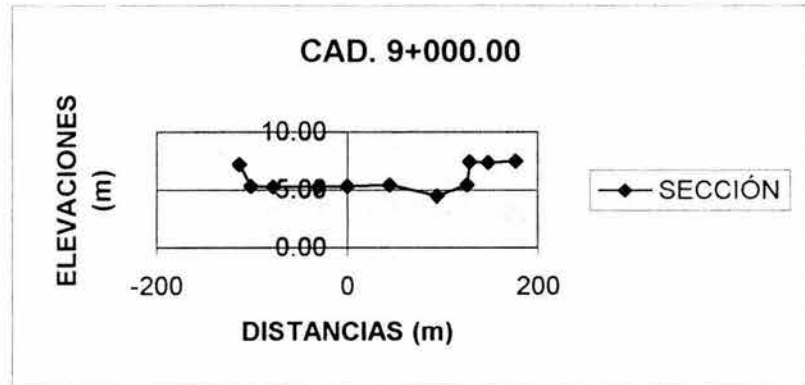


FIGURAS VI.15

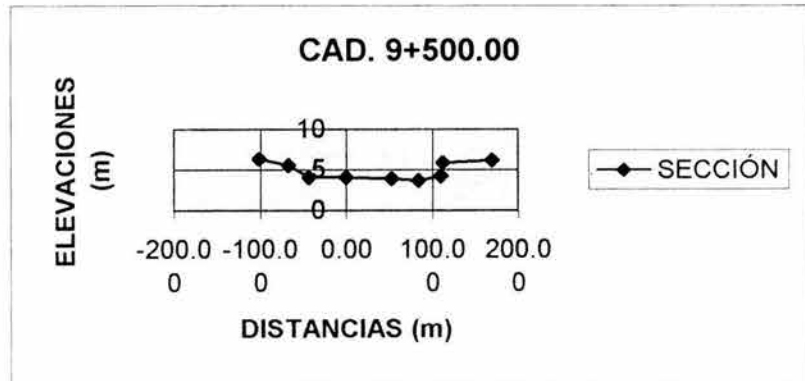
CAD. DIST. (M)	8+500.00 ELEV. (M)
-101.83	7.91
-67.02	7.11
-43.00	5.68
0.00	5.64
52.84	5.47
84.13	5.28
110.29	5.80
112.04	7.42
169.16	7.80



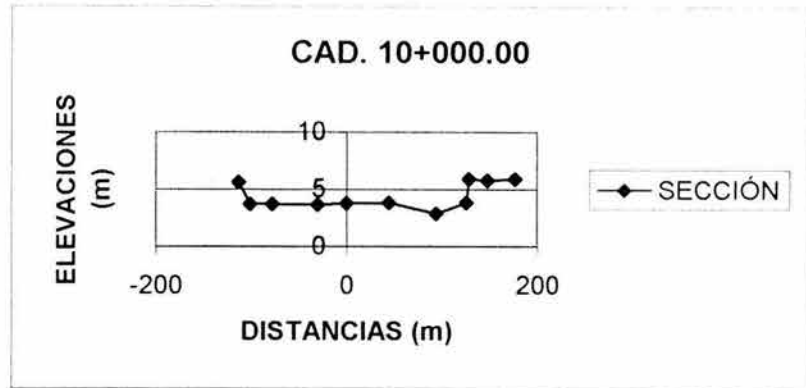
CAD. DIST. (M)	9+000.00 ELEV. (M)
-113.16	7.20
-101.21	5.32
-77.64	5.29
-30.18	5.28
0.00	5.35
44.53	5.43
94.10	4.49
125.60	5.42
128.47	7.46
147.69	7.39
176.18	7.49



CAD. DIST. (M)	9+500.00 ELEV. (M)
-101.29	6.32
-67.02	5.52
-43.00	4.09
0.00	4.05
52.84	3.88
84.13	3.69
110.29	4.21
112.04	5.83
169.16	6.21



CAD. DIST. (M)	10+000.00 ELEV. (M)
-113.16	5.61
-101.21	3.73
-77.64	3.70
-30.18	3.69
0.00	3.76
44.53	3.84
94.10	2.90
125.60	3.83
128.47	5.87
147.69	5.80
176.18	5.90



# PERFIL RÍO TECPAN

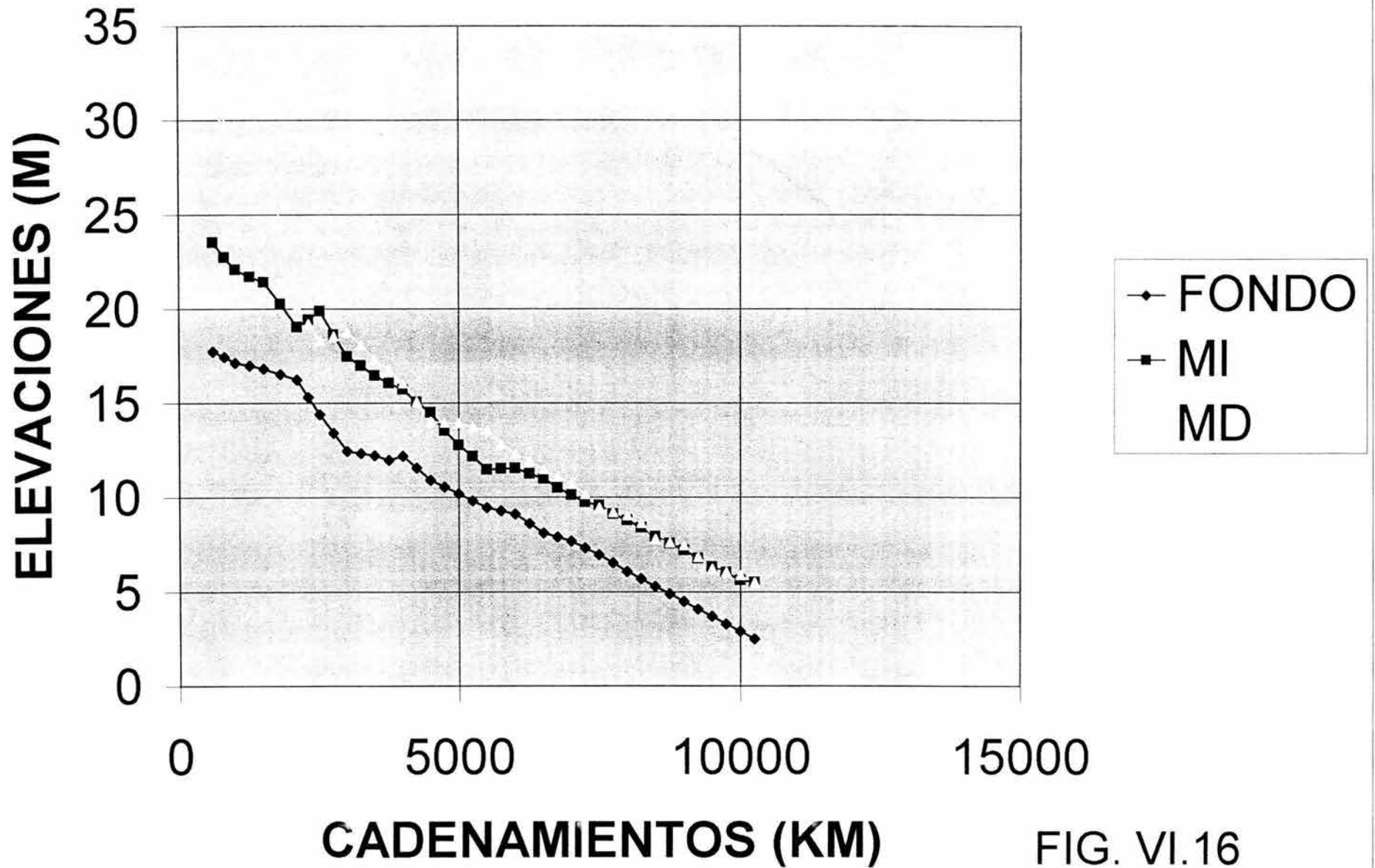


FIG. VI.16



# CURVAS DE GASTOS RÍO TECPAN

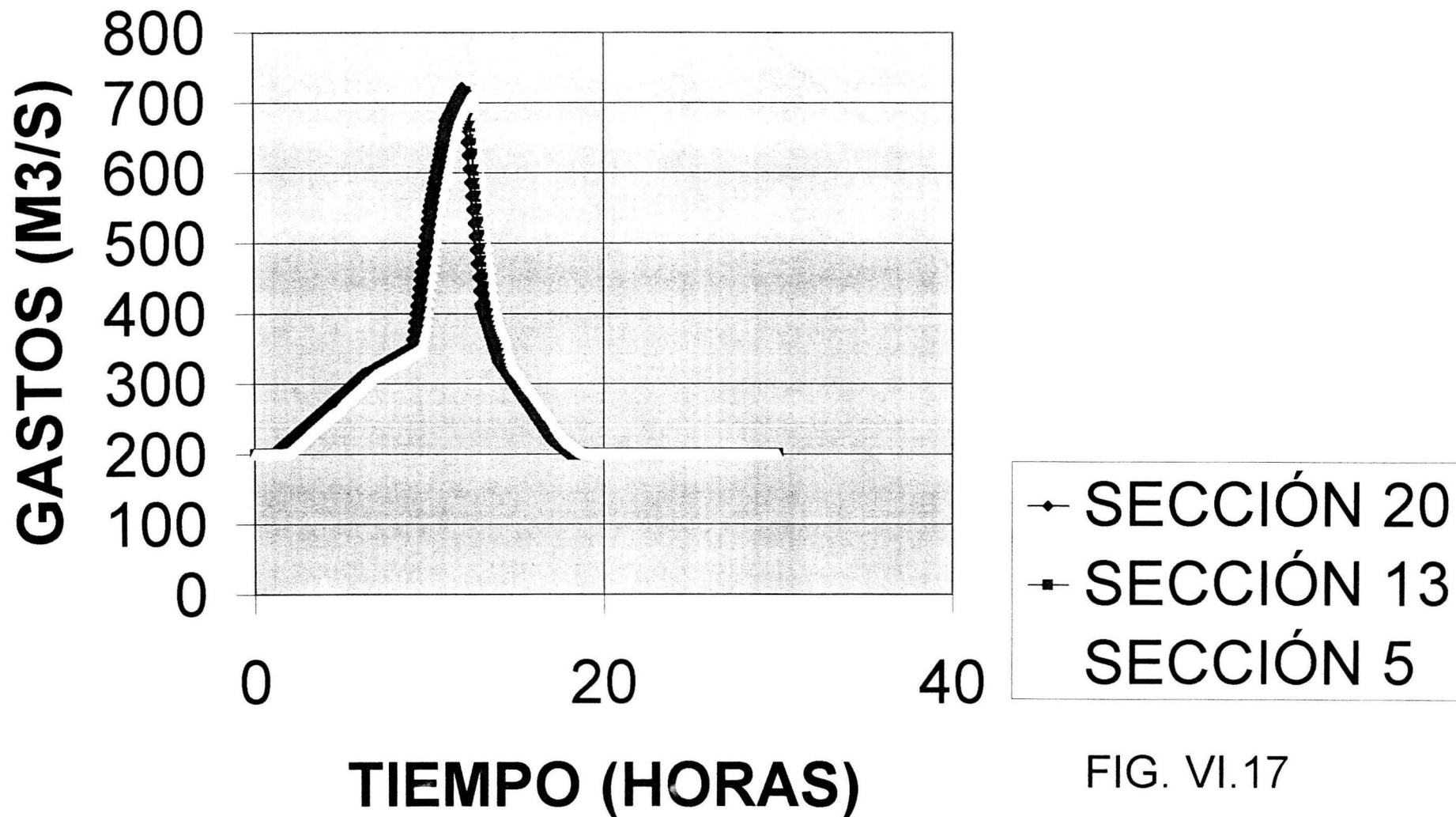


FIG. VI.17

# TABLAS

Descripción	Porosidad $n$ (%)	Relación de vacíos $e$	Contenido de humedad		Densidad (Mg/m <sup>3</sup> )	
			$S_r = 1$ $w$ (%)	$\rho_d$	$\rho_s$	
Arena uniforme suelta	46	0.85	32	1.44	1.89	
Arena uniforme densa	34	0.51	19	1.75	2.08	
Arena bien gradada suelta	40	0.67	25	1.59	1.98	
Arena bien gradada densa	30	0.43	16	1.86	2.16	
Tilita glacial bien gradada	20	0.25	9	2.11	2.32	
Arcilla glacial blanda	55	1.20	45	1.21	1.76	
Arcilla glacial dura	37	0.60	22	1.69	2.06	
Arcilla ligeramente orgánica blanda	66	1.90	70	0.92	1.57	
Arcilla muy orgánica blanda	75	3.00	110	0.68	1.43	
Arcilla montmorilonítica blanda (bentonita)	84	5.20	194	0.44	1.28	
Turba amorfa	91	10	500	0.13	1.09	
Turba fibrosa	94	15	1,000	0.09	1.03	

TABLA II. 1

PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNOS SUELOS NATURALES

Normas británicas(BS) <sup>†</sup> (designación por tamaños) de la abertura)	Normas ASTM <sup>‡</sup>	
	Designación	Tamaño de la abertura
75 mm	3 pulg	75 mm
63 mm	2 pulg	50 mm
50 mm	1½ pulg	37.5 mm
37.5 mm	1 pulg	25 mm
28 mm	$\frac{3}{4}$ pulg	19 mm
20 mm	$\frac{3}{8}$ pulg	9.5 mm
14 mm	No. 4	4.75 mm
10 mm	No. 8	2.36 mm
6.3 mm	No. 10	2 mm
5 mm	No. 16	1.18 mm
3.35 mm	No. 20	850 $\mu\text{m}$
2 mm	No. 30	600 $\mu\text{m}$
1.18 mm	No. 40	425 $\mu\text{m}$
600 $\mu\text{m}$	No. 50	300 $\mu\text{m}$
425 $\mu\text{m}$	No. 60	250 $\mu\text{m}$
300 $\mu\text{m}$	No. 100	150 $\mu\text{m}$
212 $\mu\text{m}$	No. 140	106 $\mu\text{m}$
150 $\mu\text{m}$	No. 200	75 $\mu\text{m}$
63 $\mu\text{m}$		

<sup>†</sup> BS 1377: 1975.

<sup>‡</sup> ASTM D-422-63.

TABLA II. 2

RANGO DE TAMICES UTILIZADO COMÚNMENTE PARA EL ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Grupos de suelos		Subgrupos e identificación de laboratorio		Fines (% de inferiores a 0,06 mm)		Límite líquido %		Nombre	
Suelos gruesos menos del 35% del material es inferior a 0,06 mm		GRAVAS más del 50% del material grueso tiene tamaño de grava (más grueso que 2 mm)		GW	GM	0			GRAVA bien gradada
		GRAVA ligeramente limosa o arcillosa	G	GP	GPu	GPg	5		GRAVA mal gradada/ uniforme gradación discontinua
SUELO FINO más del 50% del material es inferior a 0,06 mm		LIMOS Y ARCILLAS Gravasas o arenosas 35% a 65% de finos (véase nota 2)		Gf, Gm	GmN	5		GRAVA limosa bien gradada mal gradada	
		GRAVA limosa	Gf	Gm	GmL, etc	15		GRAVA muy limosa; se subdivide como el GC	
SUELOS ORGANICOS TURBA		LIMOS Y ARCILLAS 65% al 100% de finos		GM	GC	35		GRAVA muy arcillosa (arcilla de baja, intermedia, alta, muy alta, extremadamente alta plasticidad)	
		GRAVA muy arcillosa	Gc	GC	GCL, GCI, GCH, GCV, GCE				
SUELOS ORGANICOS TURBA		LIMOS Y ARCILLAS 65% al 100% de finos		GM	GC	35		GRAVA muy arcillosa (arcilla de baja, intermedia, alta, muy alta, extremadamente alta plasticidad)	
		GRAVA muy arcillosa	Gc	GC	GCL, GCI, GCH, GCV, GCE				
SUELOS ORGANICOS TURBA		LIMOS Y ARCILLAS 65% al 100% de finos		GM	GC	35		GRAVA muy arcillosa (arcilla de baja, intermedia, alta, muy alta, extremadamente alta plasticidad)	
		GRAVA muy arcillosa	Gc	GC	GCL, GCI, GCH, GCV, GCE				

Nota 1. De acuerdo con la proporción de material grueso de tamaño de arena, la GRAVA se clasifica como "muy arenosa" si está por encima del 20%, "arenosa" si está entre el 5% y el 20%, y "ligeramente arenosa" si está por debajo del 5%. De manera similar la ARENA puede clasificarse como "muy gravosa", "gravosa" o ligeramente gravosa".

Nota 2. "Gravosa" si más del 50% del material grueso tiene tamaño de grava; "arenosa" si más del 50% del material grueso tiene tamaño de arena.

TABLA II.3

SISTEMA BRITÁNICO DE CLASIFICACIÓN (BS 5930: 1981)

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION			
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Mayor que 4 $C_r = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o Índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e Índice de plasticidad superior a 7.			
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos				
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo				
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla				
		ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz	GRAVAS CON FINOS		SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Superior a 6 $C_r = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.
					SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos	
	ARENAS LIMPIAS		SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo			
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla				
	SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	<b>GRAFICO DE PLASTICIDAD</b> Para la clasificación de los suelos finos y de la fracción fina de los suelos granulares Los límites de Atterberg situados en el área sombreada corresponden a la clasificación de frontera y requieren símbolos dobles Ecuación de la línea A. $IP = 0.73(LL - 20)$		
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla			
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos			
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas				
OH			Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media				
ML			ML OL				
MH			MH OH				
Suelos altamente orgánicos		PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488			

TABLA II. 4

TABLA V.1

PERIODO DE RETORNO ASOCIADOS CON DIVERSOS GRADOS DE RIESGO Y VIDA DE DISEÑO ESPERADA

Riesgo %	Vida de diseño esperada, en años							
	2	5	10	15	20	25	50	100
95	1.29	2.22	3.86	5.52	7.18	8.85	17.2	33.9
90	1.46	2.71	4.86	7.03	9.19	11.4	22.2	43.9
75	2.00	4.13	7.73	11.0	14.9	18.6	36.6	72.6
50	3.41	7.73	14.9	22.1	29.4	36.6	72.6	145.0
40	4.44	10.3	20.1	29.9	39.7	49.5	98.4	196.3
30	6.12	14.5	28.5	42.6	56.5	70.6	140.7	281.
25	7.46	17.9	35.3	52.6	70.0	87.3	174.	348.
20	9.47	22.9	45.3	67.7	90.1	113.0	225.	449.
15	12.8	31.3	62.0	90.8	123.6	154.3	308.	616.
10	19.5	48.0	95.4	142.9	190.	238.	475.	950.
5	39.5	98.0	195.	292.9	390.	488	975.	1,950.
2	99.0	248.	495.	743.	990.	1,238.	2,476.	4,951.
1	199.5	498.	995.	1,492.	1,990.	2,488.	4,977.	9,953.

TABLA V.2

PERIODO DE RETORNO PARA AVENIDAS DE DISEÑO DE DIFERENTES OBRAS DE PROTECCIÓN

TIPO DE OBRA	$T_r$ , en años
BORDOS PERIMETRALES. Para proteger:	
a) instalaciones industriales	50-100
b) poblados	500-1000
BORDOS Y MUROS LONGITUDINALES. Para proteger:	
a) parcelas agrícolas aisladas sin población	10
b) distritos de riego, sin riesgo de pérdida de vidas humanas	25-50
c) zonas agrícolas poco pobladas	25-100
d) zonas agrícolas con poblados	50-200
e) zonas industriales y urbanas	100-500
f) zonas densamente pobladas	500-1000
g) ciudades	1000
DESVÍOS. ASOCIADOS A BORDOS LONGITUDINALES	25-1000
PRESAS DE ALMACENAMIENTO. OBRA DE EXCEDENCIAS	
1) sin pérdida de vidas humanas	500-1000
2) pérdidas humanas (según el volumen almacenado)	1000-10000
PRESAS ROMPE-PICOS	100-1000
PRESAS PARA RETENER AZOLVÉS (según su altura)	10-1000
ESTRUCTURAS DERIVADORAS (según su altura y daños estimados)	50-1000
CANALIZACIONES Y ENTUBAMIENTOS	
1) en poblaciones pequeñas	50-100
2) en poblaciones medianas	100-500
3) en poblaciones grandes y ciudades	500-1000
PUENTES CARRETEROS	
a) caminos locales	25-50
b) carreteras con tráfico constante	50-200
c) carreteras con tráfico intenso	200-1000
PUENTES DE FERROCARRIL	
a) vías secundarias	50-200
b) vías principales	200-1000
VADOS (según su importancia)	10-100



TABLA V. 3

VALORES DE  $n$  PARA CAUCES, ELABORADO CON DATOS DE CHOW (1959)

CONDICIÓN		Valores de $n_i$	
$n_0$ , Tipo de material. En canales prismáticos y rectos	excavados en tierra	0.020	
	excavados en roca	0.025	
	grava fina	0.024	
	grava gruesa	0.028	
$n_1$ , Grado de irregularidad. Efecto de las irregularidades de la superficie del fondo y orillas	suave	0.000	
	mínimo	0.005	
	moderado	0.010	
	severo	0.020	
$n_2$ , Variación de la sección transversal. Variaciones en la forma y tamaño de las secciones transversales	Gradual	0.000	
	Alternando ocasionalmente	0.005	
	Alternando frecuentemente	0.010-0.015	
$n_3$ , Efecto relativo de las obstrucciones. Presencia de depósitos de basura, raíces, rocas y caídos	despreciables	0.000	
	mínimo	0.010-0.015	
	apreciable	0.020-0.030	
	severo	0.040-0.060	
$n_4$ , Vegetación. Densidad de la vegetación y relación de su altura (h) contra tirante de la corriente (d)	baja	pastos	0.005-0.010
	media	h/d = 2 - 3	0.010-0.025
	alta	h/d = 1 - 2	0.025-0.050
	muy alta	h/d = 0.5	0.050-0.100
$k$ , Grado de meandro. Relación entre la longitud del río (D) por el meandro y la longitud de la onda (L)	mínimo	D/L = 1 - 1.2	1.00
	apreciable	D/L = 1.2 - 1.5	1.15
	severo	D/L = > 1.5	1.30

\*  $n = k (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$ ;  $n$  valor real del coeficiente de rugosidad, según Manning

**TABLA VI.1**

**CUADRO DE CONSTRUCCIÓN DE LA POLIGONAL DE APOYO DEL RÍO TECPAN**

EST.	P. V.	DIST. (m)	CADEN. (Km)	DEFLEXIÓN				AZIMUT			RUMBO					COORDENADAS			
				°	'	''	DIR.	°	'	''		°	'	''		X	Y	Z	
	1		0+000.000														327,369.434	1,906,448.912	24.818
1	2	184.809	0+184.809					208	42	54	S	28	42	54	W		327,280.642	1,906,286.831	25.085
2	3	108.503	0+293.312	8	38	49	D	217	21	43	S	37	21	43	W		327,214.797	1,906,200.591	23.685
3	4	106.701	0+400.013	3	56	52	I	213	24	52	S	33	24	52	W		327,156.038	1,906,111.527	24.808
4	5	99.973	0+499.987	20	33	54	D	233	58	46	S	53	58	46	W		327,075.179	1,906,052.735	23.050
5	6	100.017	0+600.003	5	17	29	I	228	41	17	S	48	41	17	W		327,000.054	1,905,986.708	23.082
6	7	103.132	0+703.135	4	13	29	D	232	54	45	S	52	54	45	W		326,917.784	1,905,924.516	22.188
7	8	98.577	0+801.712	1	28	14	I	231	26	31	S	51	26	31	W		326,840.699	1,905,863.072	21.966
8	9	98.272	0+899.984	0	12	51	D	231	39	22	S	51	39	22	W		326,763.624	1,905,802.106	22.093
9	10	299.973	1+199.957	29	8	44	D	260	48	6	S	80	48	6	W		326,467.508	1,905,754.155	19.745
10	11	175.449	1+375.406	25	14	24	I	235	33	43	S	55	33	43	W		326,322.809	1,905,654.936	20.447
11	12	124.530	1+499.936	26	54	1	I	208	39	42	S	28	39	42	W		326,263.080	1,905,545.665	19.411
12	13	119.460	1+619.396	12	11	29	I	196	28	13	S	16	28	13	W		326,229.211	1,905,431.107	19.241
13	14	303.631	1+923.027	14	33	36	I	181	54	37	S	1	54	37	W		326,219.090	1,905,127.645	18.912
14	15	240.798	2+163.825	10	2	38	D	191	57	15	S	11	57	15	W		326,169.214	1,904,892.069	18.259
15	16	219.249	2+383.074	24	25	24	I	167	31	51	S	12	28	9	E		326,216.553	1,904,677.992	18.353
16	17	102.604	2+485.678	2	33	21	D	170	5	12	S	9	54	48	E		326,234.217	1,904,576.920	16.545
17	18	183.326	2+669.004	5	21	5	I	164	44	7	S	15	15	53	E		326,282.483	1,904,400.062	18.580
18	19	242.459	2+911.463	16	40	56	D	181	25	3	S	1	25	3	W		326,276.485	1,904,157.677	17.332
19	20	161.836	3+073.299	14	12	48	D	195	37	51	S	15	37	51	W		326,232.880	1,904,001.826	15.805
20	21	251.703	3+325.002	8	4	20	D	203	42	11	S	23	42	11	W		326,131.696	1,903,771.356	15.893
21	22	274.437	3+599.439	2	52	19	I	200	49	52	S	20	49	52	W		326,034.102	1,903,514.858	14.092
22	23	186.996	3+786.435	45	22	10	I	155	27	42	S	24	32	18	E		326,111.762	1,903,344.751	13.581
23	24	312.992	4+099.427	37	11	9	D	192	38	51	S	12	38	51	W		326,043.232	1,903,039.354	12.063
24	25	810.393	4+909.820	5	21	8	D	197	59	59	S	17	59	59	W		325,792.811	1,902,268.623	11.902
25	26	337.011	5+246.831	13	9	15	D	211	9	14	S	31	9	14	W		325,618.462	1,901,980.215	11.976
26	27	152.633	5+399.464	7	36	28	I	203	32	46	S	23	32	46	W		325,557.487	1,901,840.290	10.414
27	28	1,199.969	6+599.433	12	13	4	I	191	19	42	S	11	19	42	W		325,321.776	1,900,663.699	8.978
28	29	340.574	6+940.007	2	54	35	D	194	14	17	S	14	14	17	W		325,238.012	1,900,333.587	9.758
29	30	243.567	7+183.574	11	14	11	I	183	0	6	S	3	0	6	W		325,225.258	1,900,090.354	8.925
30	31	108.392	7+291.966	1	54	28	I	181	5	37	S	1	5	37	W		325,223.189	1,899,981.982	9.244
31	32	255.717	7+547.683	8	32	50	D	189	38	28	S	9	38	28	W		325,180.363	1,899,729.877	7.599
32	33	643.344	8+191.027	32	58	43	I	156	39	45	S	23	20	15	E		325,435.222	1,899,139.167	8.380

**TABLA VI.2**

**CUADRO DE CONSTRUCCIÓN DE LA POLIGONAL DE APOYO DEL RÍO TECPAN  
(TRAMO ADICIONAL)**

EST.	P. V.	DIST. (m)	CADEN. (Km)	DEFLEXIÓN				AZIMUT			RUMBO				COORDENADAS			
				°	'	"	DIR.	°	'	"		°	'	"		X	Y	Z
	1		0+000.000													327,369.434	1,906,448.912	25.610
1	2	60.036	0+060.036	152	56	39	I	27	3	21	N	27	3	21	E	327,396.742	1,906,502.378	25.499
2	3	62.596	0+122.632	0	8	3	I	26	55	19	N	26	55	19	E	327,425.084	1,906,558.190	24.594
3	4	51.616	0+174.248	20	45	23	I	6	9	55	N	6	9	55	E	327,430.627	1,906,609.508	25.258
4	5	59.108	0+233.357	22	24	5	D	28	34	0	N	28	34	0	E	327,458.892	1,906,661.420	25.578
5	6	73.892	0+307.248	21	21	32	I	7	12	29	N	7	12	29	E	327,468.163	1,906,734.728	25.173
6	7	226.552	0+533.800	9	32	54	D	16	45	23	N	16	45	23	E	327,533.478	1,906,951.660	24.106
7	8	207.971	0+741.771	10	39	6	I	6	6	17	N	6	6	17	E	327,555.595	1,907,158.451	22.131
8	9	127.469	0+869.240	33	11	34	I	332	54	42	N	27	5	18	W	327,497.550	1,907,271.938	22.672

**TABLA VI.3**

**CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LAS SECCIONES DEL RÍO TECPAN**

CADEN. (Km)	SECCIONES		LONG. (m)
	IZQ.	DER.	
0+000.00	-34.30	136.96	171.26
0+100.00	-27.08	143.02	170.10
0+200.00	-19.65	154.86	174.51
0+300.00	-33.31	158.61	191.92
0+400.00	-26.68	196.69	223.37
0+500.00	-58.28	241.27	299.55
0+600.00	-38.91	241.14	280.04
0+700.00	-47.83	261.24	309.07
0+800.00	-25.05	258.31	283.36
0+900.00	-14.18	232.85	247.03
1+000.00	-26.77	190.66	217.43
1+100.00	-49.31	165.03	214.34
1+200.00	-54.82	146.19	201.01
1+300.00	-36.54	160.79	197.33
1+400.00	-39.08	105.85	144.93
1+500.00	-42.40	94.59	136.99
1+600.00	-29.72	103.57	133.29
1+700.00	-37.87	141.66	179.54
1+800.00	-44.18	180.47	224.65
1+900.00	-37.64	218.33	255.97
2+000.00	-12.54	212.06	224.60
2+100.00	-42.52	277.06	319.57
2+200.00	-42.48	263.89	306.37
2+300.00	-49.53	314.75	364.28
2+400.00	-61.95	418.49	480.43
2+500.00	-33.79	502.86	536.65
2+600.00	-37.87	594.69	632.57
2+700.00	-11.74	638.83	650.56
2+800.00	-46.43	654.08	700.50
2+900.00	-47.51	689.26	736.77
3+000.00	-27.13	684.14	711.26
3+100.00	-47.85	672.85	720.71
3+200.00	-54.03	636.05	690.08
3+300.00	-22.38	607.44	629.81
3+400.00	-54.70	569.56	624.26
3+500.00	-29.36	514.75	544.11
3+600.00	-78.07	454.06	532.13
3+700.00	-113.38	479.29	592.67
3+800.00	-68.18	506.76	574.93
3+900.00	-62.50	472.42	534.92
4+000.00	-55.47	488.52	543.99
4+100.00	-95.45	370.10	465.55

CADEN. (Km)	SECCIONES		LONG. (m)
	IZQ.	DER.	
4+200.00	-71.88	247.72	319.60
4+300.00	-61.86	190.18	252.04
4+400.00	-58.90	167.73	226.63
4+500.00	-68.29	142.75	211.04
4+600.00	-67.07	194.83	261.90
4+700.00	-86.24	163.93	250.17
4+800.00	-81.82	184.84	266.66
4+900.00	-77.28	209.68	286.96
5+000.00	-34.42	181.85	216.26
5+100.00	-35.53	180.68	216.20
5+200.00	-32.45	166.95	199.40
5+300.00	-50.34	161.13	211.47
5+400.00	-56.97	138.54	195.51
5+500.00	-101.63	115.85	217.48
5+600.00	-122.86	105.37	228.23
5+700.00	-173.77	94.05	267.82
5+800.00	-175.06	85.22	260.27
5+900.00	-179.69	77.61	257.30
6+000.00	-158.71	70.15	228.86
6+100.00	-154.34	69.48	223.82
6+200.00	-129.13	92.68	221.80
6+300.00	-135.53	119.45	254.98
6+400.00	-152.10	126.40	278.51
6+500.00	-110.84	170.50	281.34
6+600.00	-111.02	170.62	281.64
6+700.00	-123.60	176.62	300.22
6+800.00	-95.34	174.89	270.24
6+900.00	-78.15	170.53	248.68
7+000.00	-63.30	175.77	239.07
7+100.00	-57.10	186.93	244.03
7+200.00	-47.84	201.32	249.16
7+300.00	-63.33	197.54	260.87
7+400.00	-87.94	175.34	263.28
7+500.00	-101.83	169.16	270.99
7+600.00	-108.66	145.50	254.15
7+700.00	-76.67	172.54	249.21
7+800.00	-107.83	163.17	271.00
7+900.00	-114.69	160.06	274.75
8+000.00	-113.16	176.18	289.34
8+100.00	-100.82	196.74	297.56
8+191.03	-54.88	221.48	276.37
<b>SUMA</b>			<b>26,747.19</b>

**TABLA VI.4****CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LAS SECCIONES EN EL TRAMO ADICIONAL  
DEL RÍO TECPAN**

CADEN. (Km)	SECCIONES		LONG. (m)
	IZQ.	DER.	
0+100.00	-97.83	53.51	151.33
0+200.00	-101.13	69.47	170.59
0+300.00	-85.50	85.04	170.54
0+400.00	-85.61	85.34	170.95
0+500.00	-99.53	98.25	197.79
0+600.00	-96.47	63.76	160.23
0+700.00	-91.17	63.39	154.56
0+800.00	-80.89	97.77	178.66
0+900.00	-80.50	107.19	187.70

SUMA 1,542.34

**TABLA VI.5**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO NORMAL**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	3,079.94	2,822,601.60
2	23.00	3,706.00	2,759.60	895,672.96
3	15.33	3,550.00	2,551.87	996,263.50
4	11.50	2,866.00	2,392.74	223,975.03
5	9.20	1,920.00	2,261.15	116,383.32
6	7.67	1,874.30	2,147.38	74,572.69
7	6.57	1,867.50	2,046.10	31,897.96
8	5.75	1,737.00	1,954.07	47,119.38
9	5.11	1,664.80	1,869.12	41,746.66
10	4.60	1,573.50	1,789.77	46,772.71
11	4.18	1,428.00	1,714.91	82,317.35
12	3.83	1,105.60	1,643.73	289,583.90
13	3.54	1,060.70	1,575.58	265,101.41
14	3.29	1,034.00	1,509.95	226,528.40
15	3.07	1,005.00	1,446.43	194,860.44
16	2.88	968.60	1,384.67	173,114.24
17	2.71	966.40	1,324.36	128,135.36
18	2.56	963.60	1,265.27	91,004.79
19	2.42	797.70	1,207.16	167,657.49
20	2.30	755.00	1,149.83	155,890.73
21	2.19	745.80	1,093.09	120,610.34
22	2.09	621.60	1,036.79	172,382.74
23	2.00	600.00	980.74	144,962.95
24	1.92	568.40	924.69	126,942.56
25	1.84	533.10	868.38	112,412.68
26	1.77	518.30	811.65	86,054.22
27	1.70	505.50	754.32	61,911.39
28	1.64	459.40	696.21	56,078.98
29	1.59	459.00	637.11	31,723.17
30	1.53	455.00	576.81	14,837.68
31	1.48	410.80	515.04	10,865.98
32	1.44	407.60	451.52	1,928.97
33	1.39	405.90	385.90	400.00
34	1.35	405.00	317.75	7,612.56
35	1.31	367.50	246.56	14,626.48
36	1.28	309.50	171.71	18,986.08
37	1.24	278.60	92.35	34,689.06
38	1.21	278.10	7.41	73,273.08
39	1.18	173.60	-84.63	66,682.73
40	1.15	1.30	-185.90	35,043.84
41	1.12	1.10	-299.67	90,462.59
42	1.10	1.10	-431.27	186,943.82
43	1.07	1.10	-590.40	349,872.25
44	1.05	1.10	-798.12	638,752.61
45	1.02	1.10	-1,118.46	1,253,414.59

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\text{Alfa} = 980.7380 \quad \text{Beta} = 139.3545$$

$$\text{Error estándar} = 500.382$$

**TABLA VI.6**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO LOGNORMAL**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	3,881.49	771,779.82
2	23.00	3,706.00	2,972.20	538,462.44
3	15.33	3,550.00	2,500.12	1,102,248.01
4	11.50	2,866.00	2,189.85	457,178.82
5	9.20	1,920.00	1,962.68	1,821.58
6	7.67	1,874.30	1,785.36	7,910.32
7	6.57	1,867.50	1,641.01	51,297.72
8	5.75	1,737.00	1,519.95	47,110.70
9	5.11	1,664.80	1,416.13	61,836.77
10	4.60	1,573.50	1,325.55	61,479.20
11	4.18	1,428.00	1,245.32	33,371.98
12	3.83	1,105.60	1,173.54	4,615.84
13	3.54	1,060.70	1,108.65	2,299.20
14	3.29	1,034.00	1,049.52	240.87
15	3.07	1,005.00	995.23	95.45
16	2.88	968.60	945.14	550.37
17	2.71	966.40	898.58	4,599.55
18	2.56	963.60	855.16	11,759.23
19	2.42	797.70	814.45	280.56
20	2.30	755.00	776.13	446.48
21	2.19	745.80	739.97	33.99
22	2.09	621.60	705.68	7,069.45
23	2.00	600.00	673.09	5,342.15
24	1.92	568.40	641.99	5,415.49
25	1.84	533.10	612.24	6,263.14
26	1.77	518.30	583.61	4,265.40
27	1.70	505.50	556.25	2,575.56
28	1.64	459.40	529.77	4,951.94
29	1.59	459.00	504.17	2,040.33
30	1.53	455.00	479.33	591.95
31	1.48	410.80	455.21	1,972.25
32	1.44	407.60	431.66	578.88
33	1.39	405.90	408.64	7.51
34	1.35	405.00	386.04	359.48
35	1.31	367.50	363.79	13.76
36	1.28	309.50	341.77	1,041.35
37	1.24	278.60	319.91	1,706.52
38	1.21	278.10	298.06	398.40
39	1.18	173.60	276.07	10,500.10
40	1.15	1.30	253.75	63,731.00
41	1.12	1.10	230.83	52,775.87
42	1.10	1.10	206.88	42,345.41
43	1.07	1.10	181.21	32,439.61
44	1.05	1.10	152.42	22,897.74
45	1.02	1.10	116.72	13,367.98

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\text{Alfa} = 6.5119 \quad \text{Beta} = 0.8677$$

$$\text{Error estándar} = 286.332$$



**TABLA VI.7**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO GUMBEL**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	3,606.92	1,329,593.49
2	23.00	3,706.00	3,036.13	448,725.82
3	15.33	3,550.00	2,698.13	725,682.50
4	11.50	2,866.00	2,455.75	168,305.06
5	9.20	1,920.00	2,265.32	119,245.90
6	7.67	1,874.30	2,107.77	54,508.24
7	6.57	1,867.50	1,972.85	11,098.62
8	5.75	1,737.00	1,854.42	13,787.46
9	5.11	1,664.80	1,748.53	7,010.71
10	4.60	1,573.50	1,652.47	6,236.26
11	4.18	1,428.00	1,564.30	18,577.69
12	3.83	1,105.60	1,482.61	142,136.54
13	3.54	1,060.70	1,406.28	119,425.54
14	3.29	1,034.00	1,334.47	90,282.22
15	3.07	1,005.00	1,266.51	68,387.48
16	2.88	968.60	1,201.82	54,391.57
17	2.71	966.40	1,139.97	30,126.54
18	2.56	963.60	1,080.56	13,679.64
19	2.42	797.70	1,023.26	50,877.31
20	2.30	755.00	967.80	45,283.84
21	2.19	745.80	913.92	28,264.33
22	2.09	621.60	861.41	57,508.84
23	2.00	600.00	810.06	44,125.20
24	1.92	568.40	759.68	36,588.04
25	1.84	533.10	710.12	31,336.08
26	1.77	518.30	661.20	20,420.41
27	1.70	505.50	612.67	11,485.41
28	1.64	459.40	564.67	11,081.77
29	1.59	459.00	516.74	3,333.91
30	1.53	455.00	468.83	191.27
31	1.48	410.80	420.66	97.22
32	1.44	407.60	372.34	1,243.27
33	1.39	405.90	323.36	6,812.85
34	1.35	405.00	273.59	17,268.59
35	1.31	367.50	222.74	20,955.46
36	1.28	309.50	170.48	19,326.56
37	1.24	278.60	116.37	26,318.57
38	1.21	278.10	59.88	47,619.97
39	1.18	173.60	0.26	30,046.76
40	1.15	1.30	-63.52	4,201.63
41	1.12	1.10	-132.99	17,980.13
42	1.10	1.10	-210.64	44,833.83
43	1.07	1.10	-300.88	91,191.92
44	1.05	1.10	-413.10	171,561.64
45	1.02	1.10	-574.96	331,845.12

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\text{Alfa} = 0.001200 \quad \text{Beta} = 513.0283$$

$$\text{Error estándar} = 326.496$$



**TABLA VI.8**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO GUMBEL DOBLE**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	4,175.98	341,079.36
2	23.00	3,706.00	3,514.20	36,787.24
3	15.33	3,550.00	3,099.41	203,031.35
4	11.50	2,866.00	2,781.52	7,136.87
5	9.20	1,920.00	2,512.70	351,293.29
6	7.67	1,874.30	2,271.29	157,601.06
7	6.57	1,867.50	2,046.26	31,955.14
8	5.75	1,737.00	1,834.53	9,512.10
9	5.11	1,664.80	1,640.69	581.29
10	4.60	1,573.50	1,473.26	10,048.06
11	4.18	1,428.00	1,335.62	8,534.06
12	3.83	1,105.60	1,224.18	14,061.22
13	3.54	1,060.70	1,132.82	5,201.29
14	3.29	1,034.00	1,056.25	495.06
15	3.07	1,005.00	990.60	207.36
16	2.88	968.60	933.16	1,255.99
17	2.71	966.40	882.01	7,121.67
18	2.56	963.60	835.79	16,335.40
19	2.42	797.70	793.53	17.39
20	2.30	755.00	754.46	0.29
21	2.19	745.80	718.01	772.28
22	2.09	621.60	683.73	3,860.14
23	2.00	600.00	651.26	2,627.59
24	1.92	568.40	620.32	2,695.69
25	1.84	533.10	590.65	3,312.00
26	1.77	518.30	562.05	1,914.06
27	1.70	505.50	534.34	831.75
28	1.64	459.40	507.35	2,299.20
29	1.59	459.00	480.95	481.80
30	1.53	455.00	455.00	0.00
31	1.48	410.80	429.36	344.47
32	1.44	407.60	403.92	13.54
33	1.39	405.90	368.54	1,395.77
34	1.35	405.00	353.07	2,696.72
35	1.31	367.50	327.37	1,610.42
36	1.28	309.50	301.27	67.73
37	1.24	278.60	274.54	16.48
38	1.21	278.10	246.94	970.95
39	1.18	173.60	218.11	1,981.14
40	1.15	1.30	187.58	34,700.24
41	1.12	1.10	154.66	23,580.67
42	1.10	1.10	118.24	13,721.78
43	1.07	1.10	76.34	5,661.06
44	1.05	1.10	24.81	562.16
45	1.02	1.10	-2.20	10.89

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\begin{aligned} \text{Alfa1} &= 0.002909 & \text{Beta1} &= 392.2354 \\ \text{Alfa2} &= 0.001140 & \text{Beta2} &= 2,278.8790 \end{aligned}$$

$$\text{Error estándar} = 180.939$$

**TABLA VI.9**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO EXPONENCIAL**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	3,920.70	704,424.49
2	23.00	3,706.00	3,200.27	255,762.83
3	15.33	3,550.00	2,778.85	594,672.32
4	11.50	2,866.00	2,479.85	149,111.82
5	9.20	1,920.00	2,247.92	107,531.53
6	7.67	1,874.30	2,058.43	33,903.86
7	6.57	1,867.50	1,898.21	943.10
8	5.75	1,737.00	1,759.42	502.66
9	5.11	1,664.80	1,637.00	772.84
10	4.60	1,573.50	1,527.50	2,116.00
11	4.18	1,428.00	1,428.44	0.19
12	3.83	1,105.60	1,338.00	54,009.76
13	3.54	1,060.70	1,254.81	37,678.69
14	3.29	1,034.00	1,177.78	20,672.69
15	3.07	1,005.00	1,106.07	10,215.14
16	2.88	968.60	1,039.00	4,956.16
17	2.71	966.40	975.99	91.97
18	2.56	963.60	916.58	2,210.88
19	2.42	797.70	860.38	3,928.78
20	2.30	755.00	807.07	2,711.28
21	2.19	745.80	756.36	111.51
22	2.09	621.60	708.01	7,466.69
23	2.00	600.00	661.81	3,820.48
24	1.92	568.40	617.57	2,417.69
25	1.84	533.10	565.15	1,027.20
26	1.77	518.30	534.38	258.57
27	1.70	505.50	495.16	106.92
28	1.64	459.40	457.36	4.16
29	1.59	459.00	420.88	1,453.13
30	1.53	455.00	385.65	4,809.42
31	1.48	410.80	351.57	3,508.19
32	1.44	407.60	318.57	7,926.34
33	1.39	405.90	286.59	14,234.88
34	1.35	405.00	255.56	22,332.31
35	1.31	367.50	225.43	20,183.88
36	1.28	309.50	196.15	12,848.22
37	1.24	278.60	167.68	12,303.25
38	1.21	278.10	139.96	19,082.66
39	1.18	173.60	112.96	3,677.21
40	1.15	1.30	86.75	7,301.70
41	1.12	1.10	60.98	3,585.61
42	1.10	1.10	35.94	1,213.83
43	1.07	1.10	11.48	107.74
44	1.05	1.10	-12.42	182.79
45	1.02	1.10	-35.77	1,359.40

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\text{Alfa} = 1,039.355 \quad \text{Beta} = -58.6167$$

$$\text{Error estándar} = 222.870$$

**TABLA VI.10**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO  
MÉTODO GAMMA**

N	Tr (años)	Q <sub>medido</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>calculado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Error <sup>2</sup>
1	46.00	4,760.00	4,426.06	111,515.92
2	23.00	3,706.00	3,577.15	16,602.32
3	15.33	3,550.00	3,051.65	248,352.72
4	11.50	2,866.00	2,672.51	37,438.38
5	9.20	1,920.00	2,378.61	210,323.13
6	7.67	1,874.30	2,138.72	69,917.94
7	6.57	1,867.50	1,937.59	4,912.61
8	5.75	1,737.00	1,764.37	749.12
9	5.11	1,664.80	1,612.96	2,687.39
10	4.60	1,573.50	1,479.07	8,917.02
11	4.18	1,428.00	1,359.50	4,692.25
12	3.83	1,105.60	1,251.32	21,234.32
13	3.54	1,060.70	1,153.00	8,519.29
14	3.29	1,034.00	1,063.13	848.56
15	3.07	1,005.00	980.66	592.44
16	2.88	968.60	904.56	4,101.12
17	2.71	966.40	834.26	17,460.98
18	2.56	963.60	768.83	37,935.35
19	2.42	797.70	707.93	8,058.65
20	2.30	755.00	651.13	10,788.98
21	2.19	745.80	598.04	21,833.02
22	2.09	621.60	548.36	5,364.10
23	2.00	600.00	501.83	9,637.35
24	1.92	568.40	458.17	12,150.65
25	1.84	533.10	417.19	13,435.13
26	1.77	518.30	378.66	19,499.33
27	1.70	505.50	342.62	26,529.89
28	1.64	459.40	308.71	22,707.48
29	1.59	459.00	276.87	33,171.34
30	1.53	455.00	247.04	43,247.36
31	1.48	410.80	219.07	36,760.39
32	1.44	407.60	192.96	46,070.33
33	1.39	405.90	168.56	56,330.28
34	1.35	405.00	145.88	67,143.17
35	1.31	367.50	124.81	58,898.44
36	1.28	309.50	105.36	41,673.14
37	1.24	278.60	87.48	36,526.85
38	1.21	278.10	71.15	42,828.30
39	1.18	173.60	56.37	13,742.87
40	1.15	1.30	43.15	1,751.42
41	1.12	1.10	31.49	923.55
42	1.10	1.10	21.46	414.53
43	1.07	1.10	13.11	144.24
44	1.05	1.10	6.56	29.81
45	1.02	1.10	2.01	0.83

Parámetros estadísticos de la muestra:

$$\mu = 980.738 \quad \sigma = 1039.354 \quad \gamma = 1.951 \quad \chi = 7.114$$

Parámetros de la función:

$$\text{Alfa} = 1,169.445 \quad \text{Beta} = 0.5875$$

$$\text{Error estándar} = 185.112$$

**Tabla VI.11**

**SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO N  
(PARA CONDICIONES DE HUMEDAD PREVIA MEDIA)**

Uso de tierra	Condición de la cobertura vegetal de la superficie	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Bosques cultivados	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso, alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo, muy baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, muy alta transpiración	15	44	54	61
Descanso, sin cultivo	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surco en curva de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surco en curva de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas sembradas con maquinaria o al voleo	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surco en curva de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curva de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curva de nivel, normal	25	59	75	83
	Curva de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero permanente	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

**TABLA VI.12**

**HIDROGRAMAS PARA LA CUENCA DEL ARROYO JUQUIAQUIE**

T i e m p o	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años	500 años	1000 años	5000 años	10,000 años
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.00	3.57	9.55	14.77	21.25	26.13	37.65	42.73	54.68	60.18
0.72	6.35	22.60	60.49	93.52	134.60	165.52	238.44	270.63	346.32	381.13
0.97	10.36	36.88	98.69	152.59	219.61	270.06	389.03	441.56	565.05	621.85
1.45	22.05	78.52	210.11	324.87	467.56	574.96	828.27	940.09	1203.02	1323.94
1.69	27.39	97.55	261.05	403.63	580.90	714.34	1029.06	1167.99	1494.66	1644.90
1.93	31.07	110.64	296.07	457.78	658.83	810.17	1167.10	1324.67	1695.16	1865.55
2.17	33.07	117.77	315.17	487.31	701.33	862.44	1242.40	1410.14	1804.53	1985.91
2.42	33.41	118.96	318.36	492.23	708.42	871.15	1254.95	1424.38	1822.76	2005.97
2.66	33.07	117.77	315.17	487.31	701.33	862.44	1242.40	1410.14	1804.53	1985.91
2.90	31.07	110.64	296.07	457.78	658.83	810.17	1167.10	1324.67	1695.16	1865.55
3.14	28.73	102.31	273.79	423.32	609.24	749.19	1079.26	1224.97	1567.57	1725.14
3.62	22.72	80.89	216.48	334.72	481.72	592.38	853.37	968.58	1239.47	1364.06
4.11	15.37	54.72	146.44	226.43	325.87	400.73	577.28	655.21	838.47	922.75
4.59	11.02	39.26	105.06	162.44	233.78	287.48	414.13	470.05	601.51	661.97
5.31	7.02	24.98	66.85	103.37	148.77	182.94	263.54	299.12	382.78	421.25
6.28	3.67	13.09	35.02	54.15	77.93	95.83	138.04	156.68	200.50	220.66
7.73	1.34	4.76	12.73	19.69	28.34	34.85	50.20	56.98	72.91	80.24
12.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Gasto máximo</b>	33.41	118.96	318.36	492.23	708.42	871.15	1254.95	1424.38	1822.76	2005.97

TABLA VI.13

HIDROGRAMAS POR CUENCA PROPIA HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0	4,760.00	681.61	1,679.66	2,737.97	3,531.70	4,451.46	5,111.79	5,760.12	6,606.53	7,246.25
1	56.00	8.02	19.76	32.21	41.55	52.37	60.14	67.77	77.72	85.25
2	57.33	8.21	20.23	32.98	42.54	53.62	61.57	69.38	79.57	87.28
3	68.50	9.81	24.17	39.40	50.82	64.06	73.56	82.89	95.07	104.28
4	71.00	10.17	25.05	40.84	52.68	66.40	76.25	85.92	98.54	108.08
5	71.00	10.17	25.05	40.84	52.68	66.40	76.25	85.92	98.54	108.08
6	71.00	10.17	25.05	40.84	52.68	66.40	76.25	85.92	98.54	108.08
7	74.00	10.60	26.11	42.57	54.90	69.20	79.47	89.55	102.71	112.65
8	75.05	10.75	26.48	43.17	55.68	70.18	80.59	90.82	104.16	114.25
9	76.00	10.88	26.82	43.72	56.39	71.07	81.62	91.97	105.48	115.70
10	79.09	11.33	27.91	45.50	58.68	73.97	84.94	95.71	109.78	120.41
11	81.50	11.67	28.76	46.88	60.47	76.22	87.52	98.62	113.12	124.07
12	89.50	12.82	31.58	51.48	66.40	83.70	96.11	108.30	124.22	136.25
13	91.75	13.14	32.38	52.77	68.07	85.80	98.53	111.03	127.34	139.67
14	94.00	13.46	33.17	54.07	69.74	87.91	100.95	113.75	130.47	143.10
15	95.28	13.64	33.62	54.81	70.70	89.11	102.32	115.30	132.25	145.05
16	111.47	15.96	39.34	64.12	82.71	104.25	119.71	134.89	154.71	169.70
17	172.18	24.66	60.76	99.04	127.75	161.02	184.90	208.36	238.97	262.11
18	232.89	33.35	82.18	133.96	172.79	217.79	250.10	281.82	323.23	354.53
19	325.97	46.68	115.03	187.50	241.86	304.84	350.06	394.46	452.42	496.23
20	419.06	60.01	147.87	241.04	310.92	391.89	450.03	507.11	581.62	637.94
21	500.00	71.60	176.44	287.60	370.98	467.59	536.95	605.05	693.96	761.16
22	560.00	80.19	197.61	322.11	415.49	523.70	601.39	677.66	777.24	852.50
23	593.33	84.96	209.37	341.29	440.23	554.87	637.18	718.00	823.50	903.24
24	613.33	87.83	216.43	352.79	455.06	573.58	658.66	742.20	851.26	933.69
25	626.67	89.74	221.13	360.46	464.96	586.05	672.98	758.34	869.77	953.99
26	672.80	96.34	237.41	387.00	499.19	629.19	722.52	814.16	933.80	1,024.22
27	749.60	107.34	264.51	431.17	556.17	701.01	805.00	907.10	1,040.39	1,141.13
28	841.60	120.51	296.98	484.09	624.43	787.05	903.80	1,018.43	1,168.08	1,281.19
29	1,021.60	146.29	360.49	587.63	757.98	955.38	1,097.10	1,236.25	1,417.90	1,555.20
30	1,324.00	189.59	467.20	761.57	982.35	1,238.18	1,421.85	1,602.19	1,837.61	2,015.55
31	1,474.80	211.18	520.41	848.31	1,094.23	1,379.20	1,583.80	1,784.67	2,046.91	2,245.12
32	1,556.80	222.93	549.35	895.48	1,155.07	1,455.89	1,671.86	1,883.90	2,160.72	2,369.95
33	1,688.00	241.71	595.64	970.94	1,252.42	1,578.58	1,812.75	2,042.67	2,342.82	2,569.68
34	1,862.40	266.69	657.19	1,071.26	1,381.81	1,741.68	2,000.04	2,253.71	2,584.87	2,835.17
35	2,041.60	292.35	720.42	1,174.34	1,514.77	1,909.26	2,192.48	2,470.56	2,833.59	3,107.97
36	2,156.00	308.73	760.79	1,240.14	1,599.65	2,016.25	2,315.34	2,609.00	2,992.37	3,282.12
37	2,263.00	324.05	798.55	1,301.69	1,679.04	2,116.31	2,430.25	2,738.48	3,140.88	3,445.01
38	2,317.00	331.78	817.60	1,332.75	1,719.11	2,166.81	2,488.24	2,803.82	3,215.82	3,527.22
39	3,598.00	515.21	1,269.63	2,069.58	2,669.55	3,364.78	3,863.91	4,353.98	4,993.76	5,477.31
40	4,450.00	637.22	1,570.27	2,559.66	3,301.69	4,161.55	4,778.88	5,384.99	6,176.27	6,774.33
41	4,760.00	681.61	1,679.66	2,737.97	3,531.70	4,451.46	5,111.79	5,760.12	6,606.53	7,246.25
42	2,729.04	390.78	963.00	1,569.76	2,024.82	2,552.15	2,930.73	3,302.44	3,787.71	4,154.48
43	2,195.66	314.41	774.78	1,262.95	1,629.08	2,053.34	2,357.93	2,656.99	3,047.42	3,342.50
44	1,970.00	282.09	695.15	1,133.15	1,461.65	1,842.31	2,115.59	2,383.92	2,734.21	2,998.97
45	1,703.00	243.86	600.94	979.57	1,263.55	1,592.61	1,828.86	2,060.82	2,363.64	2,592.51
46	1,450.00	207.63	511.66	834.05	1,075.83	1,356.01	1,557.16	1,754.66	2,012.49	2,207.37
47	1,091.00	156.23	384.98	627.55	809.47	1,020.28	1,171.63	1,320.23	1,514.23	1,660.85
48	1,091.00	156.23	384.98	627.55	809.47	1,020.28	1,171.63	1,320.23	1,514.23	1,660.85
49	983.00	140.76	346.87	565.43	729.34	919.28	1,055.65	1,189.54	1,364.33	1,496.44
50	844.00	120.86	297.82	485.47	626.21	789.29	906.38	1,021.33	1,171.41	1,284.84
51	782.50	112.05	276.12	450.10	580.58	731.78	840.33	946.91	1,086.05	1,191.22
52	692.00	99.09	244.19	398.04	513.43	647.14	743.14	837.40	960.44	1,053.45
53	632.00	90.50	223.01	363.53	468.91	591.03	678.71	764.79	877.17	962.11
54	590.00	84.48	208.19	339.37	437.75	551.76	633.60	713.96	818.88	898.17
55	562.50	80.55	198.49	323.55	417.35	526.04	604.07	680.69	780.71	856.31
56	502.00	71.88	177.14	288.75	372.46	469.46	539.10	607.48	696.74	764.21



TABLA VI.13

HIDROGRAMAS POR CUENCA PROPIA HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
57	480.00	68.73	169.38	276.10	356.14	448.89	515.47	580.85	666.20	730.71
58	469.50	67.23	165.67	270.06	348.35	439.07	504.20	568.15	651.63	714.73
59	452.00	64.72	159.50	259.99	335.36	422.70	485.41	546.97	627.34	688.09
60	436.90	62.56	154.17	251.31	324.16	408.58	469.19	528.70	606.38	665.10
61	423.40	60.63	149.41	243.54	314.14	395.96	454.69	512.36	587.65	644.55
62	418.00	59.86	147.50	240.44	310.14	390.91	448.89	505.83	580.15	636.33
63	418.00	59.86	147.50	240.44	310.14	390.91	448.89	505.83	580.15	636.33
64	415.20	59.45	146.51	238.82	308.06	388.29	445.89	502.44	576.27	632.07
65	415.20	59.45	146.51	238.82	308.06	388.29	445.89	502.44	576.27	632.07
66	412.40	59.05	145.52	237.21	305.98	385.67	442.88	499.05	572.38	627.81
67	409.60	58.65	144.54	235.60	303.90	383.05	439.87	495.66	568.49	623.54
68	409.60	58.65	144.54	235.60	303.90	383.05	439.87	495.66	568.49	623.54
69	406.80	58.25	143.55	233.99	301.83	380.43	436.86	492.27	564.61	619.28
70	406.80	58.25	143.55	233.99	301.83	380.43	436.86	492.27	564.61	619.28
71	404.00	57.85	142.56	232.38	299.75	377.81	433.86	488.88	560.72	615.02
72	398.40	57.05	140.58	229.16	295.59	372.58	427.84	482.11	552.95	606.49
73	398.40	57.05	140.58	229.16	295.59	372.58	427.84	482.11	552.95	606.49
74	395.60	56.65	139.60	227.55	293.52	369.96	424.84	478.72	549.06	602.23
75	390.00	55.85	137.62	224.33	289.36	364.72	418.82	471.94	541.29	593.71
76	386.00	55.27	136.21	222.03	286.39	360.98	414.53	467.10	535.74	587.62
77	379.00	54.27	133.74	218.00	281.20	354.43	407.01	458.63	526.02	576.96
78	372.00	53.27	131.27	213.98	276.01	347.89	399.49	450.16	516.31	566.30
79	368.18	52.72	129.92	211.78	273.17	344.31	395.39	445.54	511.01	560.49
80	364.54	52.20	128.64	209.68	270.47	340.91	391.48	441.13	505.95	554.95
81	360.29	51.59	127.14	207.24	267.32	336.94	386.92	435.99	500.06	548.48
82	356.05	50.98	125.64	204.80	264.17	332.97	382.36	430.86	494.17	542.02
83	351.80	50.38	124.14	202.36	261.02	329.00	377.80	425.72	488.27	535.55
84	332.20	47.57	117.22	191.08	246.48	310.67	356.75	402.00	461.07	505.72
85	317.50	45.46	112.04	182.63	235.57	296.92	340.96	384.21	440.67	483.34
86	302.80	43.36	106.85	174.17	224.66	283.17	325.18	366.42	420.26	460.96
87	283.20	40.55	99.93	162.90	210.12	264.84	304.13	342.70	393.06	431.12
88	263.60	37.75	93.02	151.62	195.58	246.51	283.08	318.98	365.86	401.28
89	248.90	35.64	87.83	143.17	184.67	232.77	267.29	301.20	345.45	378.91
90	234.20	33.54	82.64	134.71	173.77	219.02	251.51	283.41	325.05	356.53
91	214.60	30.73	75.73	123.44	159.22	200.69	230.46	259.69	297.85	326.69
92	195.00	27.92	68.81	112.16	144.68	182.36	209.41	235.97	270.65	296.85
93	193.25	27.67	68.19	111.16	143.38	180.72	207.53	233.85	268.22	294.19
94	193.25	27.67	68.19	111.16	143.38	180.72	207.53	233.85	268.22	294.19
95	192.38	27.55	67.88	110.65	142.73	179.91	206.59	232.79	267.00	292.86
96	191.50	27.42	67.57	110.15	142.08	179.09	205.65	231.74	265.79	291.52
97	191.50	27.42	67.57	110.15	142.08	179.09	205.65	231.74	265.79	291.52
98	186.30	26.68	65.74	107.16	138.23	174.22	200.07	225.44	258.57	283.61
99	183.75	26.31	64.84	105.69	136.33	171.84	197.33	222.36	255.03	279.73
100	181.20	25.95	63.94	104.23	134.44	169.45	194.59	219.27	251.49	275.84
101	178.65	25.58	63.04	102.76	132.55	167.07	191.85	216.19	247.95	271.96
102	176.10	25.22	62.14	101.29	130.66	164.69	189.11	213.10	244.41	268.08
103	174.40	24.97	61.54	100.32	129.40	163.10	187.29	211.04	242.05	265.49
104	172.70	24.73	60.94	99.34	128.14	161.51	185.46	208.99	239.69	262.90
105	171.00	24.49	60.34	98.36	126.87	159.92	183.64	206.93	237.34	260.32
106	169.25	24.24	59.72	97.35	125.58	158.28	181.76	204.81	234.91	257.65
107	168.38	24.11	59.41	96.85	124.93	157.46	180.82	203.75	233.69	256.32
108	167.50	23.99	59.11	96.35	124.28	156.64	179.88	202.69	232.48	254.99
109	165.75	23.73	58.49	95.34	122.98	155.01	178.00	200.58	230.05	252.32
110	164.00	23.48	57.87	94.33	121.68	153.37	176.12	198.46	227.62	249.66
111	162.25	23.23	57.25	93.33	120.38	151.73	174.24	196.34	225.19	247.00
112	160.50	22.98	56.64	92.32	119.08	150.10	172.36	194.22	222.76	244.33
113	159.63	22.86	56.33	91.82	118.43	149.28	171.42	193.16	221.55	243.00

TABLA VI.13

HIDROGRAMAS POR CUENCA PROPIA HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
114	158.75	22.73	56.02	91.31	117.79	148.46	170.48	192.10	220.33	241.67
115	157.00	22.48	55.40	90.31	116.49	146.82	168.60	189.99	217.90	239.00
116	155.25	22.23	54.78	89.30	115.19	145.19	166.72	187.87	215.48	236.34
117	153.50	21.98	54.17	88.29	113.89	143.55	164.84	185.75	213.05	233.68
118	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
119	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
120	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
121	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
122	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
123	151.82	21.74	53.57	87.33	112.64	141.98	163.04	183.72	210.71	231.12
124	148.46	21.26	52.39	85.39	110.15	138.84	159.43	179.65	206.05	226.00
125	145.10	20.78	51.20	83.46	107.66	135.69	155.82	175.59	201.39	220.89
126	141.74	20.30	50.02	81.53	105.16	132.55	152.22	171.52	196.72	215.77
127	139.22	19.94	49.13	80.08	103.29	130.20	149.51	168.47	193.23	211.94
128	136.70	19.57	48.24	78.63	101.43	127.84	146.80	165.42	189.73	208.10
129	134.96	19.33	47.62	77.63	100.13	126.21	144.93	163.32	187.31	205.45
130	133.22	19.08	47.01	76.63	98.84	124.58	143.07	161.21	184.90	202.80
131	130.61	18.70	46.09	75.13	96.91	122.14	140.26	158.05	181.28	198.83
132	128.00	18.33	45.17	73.63	94.97	119.70	137.46	154.89	177.65	194.86
133	126.30	18.09	44.57	72.65	93.71	118.11	135.63	152.84	175.30	192.27
134	124.60	17.84	43.97	71.67	92.45	116.52	133.81	150.78	172.94	189.68
135	123.75	17.72	43.67	71.18	91.82	115.73	132.90	149.75	171.76	188.39
136	122.90	17.60	43.37	70.69	91.19	114.93	131.98	148.72	170.58	187.09
137	120.35	17.23	42.47	69.23	89.29	112.55	129.24	145.64	167.04	183.21
138	117.70	16.85	41.53	67.70	87.33	110.07	126.40	142.43	163.36	179.18
139	116.35	16.66	41.06	66.92	86.33	108.81	124.95	140.80	161.49	177.12
140	115.00	16.47	40.58	66.15	85.32	107.55	123.50	139.16	159.61	175.07
141	113.65	16.27	40.10	65.37	84.32	106.28	122.05	137.53	157.74	173.01
142	112.30	16.08	39.63	64.60	83.32	105.02	120.60	135.90	155.86	170.96
143	111.40	15.95	39.31	64.08	82.65	104.18	119.63	134.81	154.61	169.59
144	110.50	15.82	38.99	63.56	81.99	103.34	118.67	133.72	153.37	168.22
145	109.65	15.70	38.69	63.07	81.36	102.54	117.75	132.69	152.19	166.92
146	108.80	15.58	38.39	62.58	80.72	101.75	116.84	131.66	151.01	165.63
147	108.80	15.58	38.39	62.58	80.72	101.75	116.84	131.66	151.01	165.63
148	108.80	15.58	38.39	62.58	80.72	101.75	116.84	131.66	151.01	165.63
149	106.25	15.21	37.49	61.12	78.83	99.36	114.10	128.57	147.47	161.75
150	103.70	14.85	36.59	59.65	76.94	96.98	111.36	125.49	143.93	157.86
151	102.43	14.67	36.14	58.92	75.99	95.79	109.99	123.95	142.16	155.92
152	101.10	14.48	35.68	58.15	75.01	94.55	108.57	122.34	140.32	153.91
153	99.75	14.28	35.20	57.38	74.01	93.28	107.12	120.71	138.45	151.85
154	98.40	14.09	34.72	56.60	73.01	92.02	105.67	119.07	136.57	149.80
155	97.80	14.00	34.51	56.25	72.56	91.46	105.03	118.35	135.74	148.88
156	97.20	13.92	34.30	55.91	72.12	90.90	104.38	117.62	134.91	147.97
157	96.60	13.83	34.09	55.56	71.67	90.34	103.74	116.90	134.07	147.06
158	96.60	13.83	34.09	55.56	71.67	90.34	103.74	116.90	134.07	147.06
159	96.60	13.83	34.09	55.56	71.67	90.34	103.74	116.90	134.07	147.06
160	94.80	13.57	33.45	54.53	70.34	88.66	101.81	114.72	131.58	144.32
161	93.90	13.45	33.13	54.01	69.67	87.81	100.84	113.63	130.33	142.95
162	93.00	13.32	32.82	53.49	69.00	86.97	99.87	112.54	129.08	141.58
163	93.00	13.32	32.82	53.49	69.00	86.97	99.87	112.54	129.08	141.58
164	93.00	13.32	32.82	53.49	69.00	86.97	99.87	112.54	129.08	141.58
165	92.20	13.20	32.53	53.03	68.41	86.22	99.01	111.57	127.97	140.36
166	91.40	13.09	32.25	52.57	67.81	85.48	98.15	110.60	126.86	139.14
167	89.00	12.74	31.41	51.19	66.03	83.23	95.58	107.70	123.53	135.49
168	86.60	12.40	30.56	49.81	64.25	80.99	93.00	104.80	120.19	131.83



TABLA VI.14

IDROGRAMAS HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN, CONSIDERANDO SIMULTANEIDAD DE EVENTO

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0	4,760.00	720.74	1,776.10	2,895.17	3,734.47	4,707.04	5,405.28	6,090.84	6,985.84	7,662.29
1	56.00	8.48	20.90	34.06	43.93	55.38	63.59	71.66	82.19	90.14
2	57.33	8.68	21.39	34.87	44.98	56.70	65.11	73.36	84.14	92.29
3	68.50	10.37	25.56	41.66	53.74	67.74	77.79	87.65	100.53	110.27
4	71.00	10.75	26.49	43.18	55.70	70.21	80.63	90.85	104.20	114.29
5	71.00	10.75	26.49	43.18	55.70	70.21	80.63	90.85	104.20	114.29
6	71.00	10.75	26.49	43.18	55.70	70.21	80.63	90.85	104.20	114.29
7	74.00	11.20	27.61	45.01	58.06	73.18	84.03	94.69	108.60	119.12
8	75.05	11.36	28.00	45.65	58.88	74.21	85.22	96.03	110.14	120.81
9	76.00	11.51	28.36	46.23	59.63	75.15	86.30	97.25	111.54	122.34
10	79.09	11.98	29.51	48.11	62.05	78.21	89.82	101.21	116.08	127.32
11	81.50	12.34	30.41	49.57	63.94	80.59	92.55	104.29	119.61	131.19
12	89.50	13.55	33.40	54.44	70.22	88.50	101.63	114.52	131.35	144.07
13	91.75	13.89	34.23	55.81	71.98	90.73	104.19	117.40	134.65	147.69
14	94.00	14.23	35.07	57.17	73.75	92.95	106.74	120.28	137.96	151.31
15	95.28	14.43	35.55	57.95	74.75	94.22	108.20	121.92	139.84	153.38
16	111.47	16.88	41.59	67.80	87.46	110.23	126.58	142.64	163.60	179.44
17	172.18	26.07	64.25	104.72	135.08	170.26	195.52	220.32	252.69	277.16
18	232.89	35.26	86.90	141.65	182.71	230.30	264.46	298.00	341.79	374.88
19	325.97	49.36	121.63	198.27	255.74	322.35	370.16	417.11	478.40	524.73
20	419.06	63.45	156.36	254.88	328.77	414.39	475.87	536.22	615.01	674.57
21	500.00	75.71	186.57	304.11	392.28	494.44	567.78	639.79	733.81	804.86
22	560.00	84.79	208.95	340.61	439.35	553.77	635.92	716.57	821.86	901.45
23	593.33	89.84	221.39	360.88	465.50	586.73	673.77	759.22	870.78	955.10
24	613.33	92.87	228.85	373.05	481.19	606.51	696.48	784.81	900.14	987.30
25	626.67	94.89	233.83	381.16	491.65	619.69	711.62	801.88	919.71	1,008.76
26	672.80	101.87	251.04	409.22	527.85	665.31	764.01	860.91	987.41	1,083.02
27	749.60	113.50	279.70	455.93	588.10	741.26	851.22	959.18	1,100.12	1,206.65
28	841.60	127.43	314.03	511.89	660.28	832.24	955.69	1,076.90	1,235.14	1,354.75
29	1,021.60	154.69	381.19	621.37	801.50	1,010.23	1,160.09	1,307.23	1,499.31	1,644.50
30	1,324.00	200.48	494.02	805.30	1,038.75	1,309.27	1,503.49	1,694.18	1,943.12	2,131.28
31	1,474.80	223.31	550.29	897.02	1,157.06	1,458.39	1,674.73	1,887.14	2,164.44	2,374.02
32	1,556.80	235.72	580.89	946.89	1,221.39	1,539.48	1,767.85	1,992.06	2,284.78	2,506.02
33	1,688.00	255.59	629.84	1,026.69	1,324.33	1,669.22	1,916.83	2,159.95	2,477.33	2,717.22
34	1,862.40	282.00	694.92	1,132.77	1,461.15	1,841.68	2,114.87	2,383.11	2,733.28	2,997.95
35	2,041.60	309.13	761.78	1,241.76	1,601.74	2,018.89	2,318.37	2,612.41	2,996.28	3,286.42
36	2,156.00	326.45	804.47	1,311.34	1,691.50	2,132.01	2,448.28	2,758.79	3,164.18	3,470.57
37	2,263.00	342.65	844.39	1,376.42	1,775.44	2,237.82	2,569.78	2,895.71	3,321.21	3,642.81
38	2,317.00	350.83	864.54	1,409.27	1,817.81	2,291.22	2,631.10	2,964.81	3,400.46	3,729.73
39	3,598.00	544.80	1,342.52	2,188.41	2,822.82	3,557.97	4,085.76	4,603.96	5,280.48	5,791.79
40	4,450.00	673.80	1,660.43	2,706.62	3,491.26	4,400.49	5,053.26	5,694.17	6,530.88	7,163.28
41	4,760.00	720.74	1,776.10	2,895.17	3,734.47	4,707.04	5,405.28	6,090.84	6,985.84	7,662.29
42	2,729.04	413.22	1,018.29	1,659.88	2,141.08	2,698.68	3,099.00	3,492.05	4,005.18	4,393.01
43	2,195.66	332.46	819.27	1,335.47	1,722.61	2,171.23	2,493.31	2,809.54	3,222.38	3,534.41
44	1,970.00	298.29	735.07	1,198.21	1,545.57	1,948.08	2,237.06	2,520.79	2,891.20	3,171.16
45	1,703.00	257.86	635.44	1,035.81	1,336.09	1,684.05	1,933.86	2,179.14	2,499.35	2,741.36
46	1,450.00	219.55	541.04	881.93	1,137.60	1,433.87	1,646.57	1,855.40	2,128.04	2,334.10
47	1,091.00	165.20	407.09	663.58	855.95	1,078.86	1,238.90	1,396.03	1,601.17	1,756.21
48	1,091.00	165.20	407.09	663.58	855.95	1,078.86	1,238.90	1,396.03	1,601.17	1,756.21
49	983.00	148.84	366.79	597.89	771.22	972.06	1,116.26	1,257.84	1,442.66	1,582.36
50	844.00	127.80	314.92	513.35	662.16	834.61	958.42	1,079.97	1,238.67	1,358.61
51	782.50	118.48	291.97	475.94	613.91	773.79	888.58	1,001.28	1,148.41	1,259.61
52	692.00	104.78	258.21	420.89	542.91	684.30	785.81	885.48	1,015.59	1,113.93
53	632.00	95.70	235.82	384.40	495.84	624.97	717.68	808.70	927.53	1,017.35
54	590.00	89.34	220.15	358.86	462.89	583.44	669.98	754.96	865.89	949.74
55	562.50	85.17	209.89	342.13	441.31	556.24	638.75	719.77	825.53	905.47
56	502.00	76.01	187.31	305.33	393.85	496.41	570.05	642.35	736.74	808.08
57	480.00	72.68	179.10	291.95	376.59	474.66	545.07	614.20	704.45	772.67
58	469.50	71.09	175.18	285.56	368.35	464.28	533.15	600.77	689.04	755.77
59	452.00	68.44	168.65	274.92	354.62	446.97	513.27	578.37	663.36	727.60

TABLA VI.14

IDROGRAMAS HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN, CONSIDERANDO SIMULTANEIDAD DE EVENTO

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
60	436.90	66.15	163.02	265.74	342.77	432.04	496.13	559.05	641.20	703.29
61	423.40	64.11	157.98	257.52	332.18	418.69	480.80	541.78	621.39	681.56
62	418.00	63.29	155.97	254.24	327.94	413.35	474.67	534.87	613.46	672.87
63	418.00	63.29	155.97	254.24	327.94	413.35	474.67	534.87	613.46	672.87
64	415.20	62.87	154.92	252.54	325.75	410.58	471.49	531.29	609.35	668.36
65	415.20	62.87	154.92	252.54	325.75	410.58	471.49	531.29	609.35	668.36
66	412.40	62.44	153.88	250.83	323.55	407.81	468.31	527.70	605.24	663.85
67	409.60	62.02	152.83	249.13	321.35	405.04	465.13	524.12	601.13	659.34
68	409.60	62.02	152.83	249.13	321.35	405.04	465.13	524.12	601.13	659.34
69	406.80	61.60	151.79	247.43	319.16	402.27	461.95	520.54	597.03	654.84
70	406.80	61.60	151.79	247.43	319.16	402.27	461.95	520.54	597.03	654.84
71	404.00	61.17	150.74	245.72	316.96	399.51	458.77	516.95	592.92	650.33
72	398.40	60.32	148.66	242.32	312.57	393.97	452.41	509.79	584.70	641.31
73	398.40	60.32	148.66	242.32	312.57	393.97	452.41	509.79	584.70	641.31
74	395.60	59.90	147.61	240.62	310.37	391.20	449.23	506.21	580.59	636.81
75	390.00	59.05	145.52	237.21	305.98	385.66	442.87	499.04	572.37	627.79
76	386.00	58.45	144.03	234.78	302.84	381.71	438.33	493.92	566.50	621.35
77	379.00	57.39	141.42	230.52	297.35	374.78	430.38	484.96	556.23	610.09
78	372.00	56.33	138.80	226.26	291.85	367.86	422.43	476.01	545.95	598.82
79	368.18	55.75	137.38	223.94	288.86	364.08	418.09	471.12	540.35	592.67
80	364.54	55.20	136.02	221.72	286.00	360.48	413.96	466.46	535.00	586.81
81	360.29	54.55	134.44	219.14	282.67	356.28	409.14	461.03	528.77	579.97
82	356.05	53.91	132.85	216.56	279.34	352.09	404.31	455.59	522.54	573.14
83	351.80	53.27	131.27	213.98	276.01	347.89	399.49	450.16	516.31	566.30
84	332.20	50.30	123.95	202.05	260.63	328.50	377.23	425.08	487.54	534.75
85	317.50	48.07	118.47	193.11	249.10	313.97	360.54	406.27	465.97	511.09
86	302.80	45.85	112.98	184.17	237.56	299.43	343.85	387.46	444.39	487.42
87	283.20	42.88	105.67	172.25	222.19	280.05	321.59	362.38	415.63	455.87
88	263.60	39.91	98.36	160.33	206.81	260.67	299.33	337.30	386.86	424.32
89	248.90	37.69	92.87	151.39	195.28	246.13	282.64	318.49	365.29	400.66
90	234.20	35.46	87.39	142.45	183.74	231.59	265.95	299.68	343.72	377.00
91	214.60	32.49	80.07	130.53	168.37	212.21	243.69	274.60	314.95	345.45
92	195.00	29.53	72.76	118.60	152.99	192.83	221.43	249.52	286.18	313.90
93	193.25	29.26	72.11	117.54	151.61	191.10	219.45	247.28	283.62	311.08
94	193.25	29.26	72.11	117.54	151.61	191.10	219.45	247.28	283.62	311.08
95	192.38	29.13	71.78	117.01	150.93	190.23	218.45	246.16	282.33	309.67
96	191.50	29.00	71.45	116.48	150.24	189.37	217.46	245.04	281.05	308.26
97	191.50	29.00	71.45	116.48	150.24	189.37	217.46	245.04	281.05	308.26
98	186.30	28.21	69.51	113.31	146.16	184.23	211.56	238.39	273.42	299.89
99	183.75	27.82	68.56	111.76	144.16	181.71	208.66	235.12	269.67	295.79
100	181.20	27.44	67.61	110.21	142.16	179.18	205.76	231.86	265.93	291.68
101	178.65	27.05	66.66	108.66	140.16	176.66	202.87	228.60	262.19	287.58
102	176.10	26.66	65.71	107.11	138.16	174.14	199.97	225.34	258.45	283.47
103	174.40	26.41	65.07	106.08	136.83	172.46	198.04	223.16	255.95	280.74
104	172.70	26.15	64.44	105.04	135.49	170.78	196.11	220.98	253.46	278.00
105	171.00	25.89	63.81	104.01	134.16	169.10	194.18	218.81	250.96	275.26
106	169.25	25.63	63.15	102.94	132.79	167.37	192.19	216.57	248.39	272.45
107	168.38	25.49	62.83	102.41	132.10	166.50	191.20	215.45	247.11	271.04
108	167.50	25.36	62.50	101.88	131.41	165.64	190.21	214.33	245.83	269.63
109	165.75	25.10	61.85	100.81	130.04	163.91	188.22	212.09	243.26	266.81
110	164.00	24.83	61.19	99.75	128.67	162.18	186.23	209.85	240.69	264.00
111	162.25	24.57	60.54	98.69	127.29	160.44	184.25	207.61	238.12	261.18
112	160.50	24.30	59.89	97.62	125.92	158.71	182.26	205.37	235.55	258.36
113	159.63	24.17	59.56	97.09	125.23	157.85	181.26	204.25	234.27	256.95
114	158.75	24.04	59.23	96.56	124.55	156.98	180.27	203.13	232.98	255.54
115	157.00	23.77	58.58	95.49	123.17	155.25	178.28	200.90	230.42	252.73
116	155.25	23.51	57.93	94.43	121.80	153.52	176.30	198.66	227.85	249.91
117	153.50	23.24	57.28	93.36	120.43	151.79	174.31	196.42	225.28	247.09
118	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39
119	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39

TABLA VI.14

IDROGRAMAS HASTA EL SITIO DE PROYECTO RÍO TECPAN, CONSIDERANDO SIMULTANEIDAD DE EVENTO

Tiempo (horas)	AV. DE 1976 Qp (m³/s)	PERÍODO DE RETORNO (Tr en años)								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
120	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39
121	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39
122	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39
123	151.82	22.99	56.65	92.34	119.11	150.13	172.40	194.27	222.81	244.39
124	148.46	22.48	55.39	90.30	116.47	146.81	168.59	189.97	217.88	238.98
125	145.10	21.97	54.14	88.25	113.84	143.49	164.77	185.67	212.95	233.57
126	141.74	21.46	52.89	86.21	111.20	140.16	160.95	181.37	208.02	228.16
127	139.22	21.08	51.95	84.68	109.23	137.67	158.09	178.14	204.32	224.11
128	136.70	20.70	51.01	83.14	107.25	135.18	155.23	174.92	200.62	220.05
129	134.96	20.44	50.36	82.09	105.88	133.46	153.26	172.69	198.07	217.25
130	133.22	20.17	49.71	81.03	104.52	131.74	151.28	170.47	195.52	214.45
131	130.61	19.78	48.73	79.44	102.47	129.16	148.32	167.13	191.69	210.25
132	128.00	19.38	47.76	77.85	100.42	126.58	145.35	163.79	187.85	206.04
133	126.30	19.12	47.13	76.82	99.09	124.89	143.42	161.61	185.36	203.31
134	124.60	18.87	46.49	75.79	97.76	123.21	141.49	159.44	182.86	200.57
135	123.75	18.74	46.17	75.27	97.09	122.37	140.53	158.35	181.62	199.20
136	122.90	18.61	45.86	74.75	96.42	121.53	139.56	157.26	180.37	197.84
137	120.35	18.22	44.91	73.20	94.42	119.01	136.67	154.00	176.63	193.73
138	117.70	17.82	43.92	71.59	92.34	116.39	133.66	150.61	172.74	189.46
139	116.35	17.62	43.41	70.77	91.28	115.06	132.12	148.88	170.76	187.29
140	115.00	17.41	42.91	69.95	90.22	113.72	130.59	147.15	168.78	185.12
141	113.65	17.21	42.41	69.13	89.16	112.39	129.06	145.43	166.79	182.95
142	112.30	17.00	41.90	68.30	88.11	111.05	127.52	143.70	164.81	180.77
143	111.40	16.87	41.57	67.76	87.40	110.16	126.50	142.55	163.49	179.32
144	110.50	16.73	41.23	67.21	86.69	109.27	125.48	141.39	162.17	177.87
145	109.65	16.60	40.91	66.69	86.03	108.43	124.51	140.31	160.92	176.51
146	108.80	16.47	40.60	66.18	85.36	107.59	123.55	139.22	159.68	175.14
147	108.80	16.47	40.60	66.18	85.36	107.59	123.55	139.22	159.68	175.14
148	108.80	16.47	40.60	66.18	85.36	107.59	123.55	139.22	159.68	175.14
149	106.25	16.09	39.65	64.62	83.36	105.07	120.65	135.96	155.93	171.03
150	103.70	15.70	38.69	63.07	81.36	102.55	117.76	132.69	152.19	166.93
151	102.43	15.51	38.22	62.30	80.36	101.29	116.31	131.06	150.32	164.88
152	101.10	15.31	37.72	61.49	79.32	99.98	114.81	129.37	148.38	162.74
153	99.75	15.10	37.22	60.67	78.26	98.64	113.27	127.64	146.39	160.57
154	98.40	14.90	36.72	59.85	77.20	97.31	111.74	125.91	144.41	158.40
155	97.80	14.81	36.49	59.48	76.73	96.71	111.06	125.14	143.53	157.43
156	97.20	14.72	36.27	59.12	76.26	96.12	110.38	124.38	142.65	156.47
157	96.60	14.63	36.04	58.75	75.79	95.53	109.70	123.61	141.77	155.50
158	96.60	14.63	36.04	58.75	75.79	95.53	109.70	123.61	141.77	155.50
159	96.60	14.63	36.04	58.75	75.79	95.53	109.70	123.61	141.77	155.50
160	94.80	14.35	35.37	57.66	74.38	93.75	107.65	121.31	139.13	152.60
161	93.90	14.22	35.04	57.11	73.67	92.86	106.63	120.15	137.81	151.15
162	93.00	14.08	34.70	56.57	72.96	91.97	105.61	119.00	136.49	149.70
163	93.00	14.08	34.70	56.57	72.96	91.97	105.61	119.00	136.49	149.70
164	93.00	14.08	34.70	56.57	72.96	91.97	105.61	119.00	136.49	149.70
165	92.20	13.96	34.40	56.08	72.34	91.17	104.70	117.98	135.31	148.42
166	91.40	13.84	34.10	55.59	71.71	90.38	103.79	116.95	134.14	147.13
167	89.00	13.48	33.21	54.13	69.83	88.01	101.07	113.88	130.62	143.27
168	86.60	13.11	32.31	52.67	67.94	85.64	98.34	110.81	127.10	139.40



# TABLA VI.15

## PROYECTO RÍO TECPAN

### ANÁLISIS HIDRÁULICO EN CONDICIONES NATURALES

Para un gasto de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030

Cadenamiento secciones (Km)	Distancia entre secc. (m)	Elevación por el fondo (m)	Elevación del agua (m)	Tirante del agua (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Área hidráulica ( $\text{m}^2$ )	Espejo del agua (m)	Perímetro Mojado (m)	Número de Froude
8+200.00		6.23	7.01	0.78	2.21	90.63	186.04	186.23	1.01
8+000.00	200.00	6.08	7.69	1.61	0.96	208.28	232.75	233.05	0.32
7+800.00	200.00	6.57	7.91	1.34	1.10	182.37	225.43	225.67	0.39
7+600.00	200.00	6.67	8.21	1.54	1.29	154.78	171.39	171.89	0.43
7+400.00	200.00	7.07	8.52	1.45	1.20	166.70	162.73	163.15	0.38
7+200.00	200.00	7.13	8.74	1.61	1.18	170.07	141.53	141.92	0.34
7+000.00	200.00	7.67	8.97	1.30	1.55	129.11	120.17	120.95	0.48
6+800.00	200.00	7.95	9.35	1.40	1.19	167.85	171.74	172.38	0.38
6+600.00	200.00	8.20	9.62	1.42	1.10	182.44	204.52	204.90	0.37
6+400.00	200.00	8.28	9.86	1.58	1.18	169.20	166.26	166.72	0.37
6+200.00	200.00	8.45	10.14	1.69	1.39	143.37	150.49	150.89	0.46
6+000.00	200.00	9.12	10.54	1.42	1.38	144.98	170.49	170.50	0.48
5+800.00	200.00	9.31	10.88	1.57	1.07	187.76	193.36	193.60	0.35
5+600.00	200.00	9.46	11.12	1.66	1.44	139.19	139.35	139.86	0.46
5+400.00	200.00	9.63	11.43	1.80	1.40	142.87	112.33	112.87	0.40
5+200.00	200.00	9.95	11.69	1.74	1.29	155.44	121.40	121.86	0.36
5+000.00	200.00	10.20	11.88	1.68	1.21	165.06	114.32	114.92	0.32
4+800.00	200.00	10.82	12.08	1.26	1.01	198.75	188.98	189.34	0.31
4+600.00	200.00	10.91	12.30	1.39	1.43	139.51	162.86	164.01	0.49
4+400.00	200.00	11.18	12.67	1.49	1.23	162.17	156.00	156.35	0.39
4+200.00	200.00	10.93	12.90	1.97	1.06	188.16	163.27	163.65	0.32
4+000.00	200.00	11.31	13.13	1.82	1.49	134.36	161.56	162.54	0.52
3+800.00	200.00	11.57	13.58	2.01	1.61	124.37	112.26	113.04	0.49
3+600.00	200.00	12.18	13.97	1.78	1.55	129.22	108.50	109.24	0.45
3+400.00	200.00	12.10	14.28	2.18	1.38	145.30	111.79	112.68	0.39
3+200.00	200.00	12.58	14.53	1.95	1.06	189.00	176.81	170.14	0.32
3+000.00	200.00	12.46	14.74	2.28	1.24	161.45	170.78	171.40	0.41
2+800.00	200.00	13.49	15.11	1.61	1.98	101.03	103.84	104.43	0.64
2+600.00	200.00	13.71	15.64	1.93	1.34	149.35	127.47	128.43	0.39
2+400.00	200.00	14.83	16.05	1.22	1.77	113.02	174.26	174.47	0.70
2+200.00	200.00	16.36	17.25	0.89	1.99	100.56	178.61	178.71	0.85
2+000.00	200.00	17.02	18.14	1.12	1.46	136.55	159.41	159.55	0.51
1+800.00	200.00	16.86	18.49	1.63	1.18	169.84	158.01	158.08	0.36
1+600.00	200.00	16.40	18.69	2.29	1.72	115.99	71.59	72.06	0.43
1+400.00	200.00	16.39	18.96	2.57	1.71	116.96	66.74	67.27	0.41
1+200.00	200.00	16.96	19.23	2.27	1.42	140.51	85.28	85.71	0.35
1+000.00	200.00	17.15	19.42	2.27	1.31	152.74	90.67	91.53	0.32
0+800.00	200.00	17.77	19.63	1.86	3.48	57.44	46.38	46.71	1.00
0+600.00	200.00	17.75	20.83	3.08	2.68	74.66	40.60	41.34	0.63
0+400.00	200.00	21.55	22.44	0.89	2.38	83.95	145.98	146.22	1.00
0+200.00	200.00	21.77	23.30	1.53	1.55	128.82	104.31	104.66	0.45
0+000.00	200.00	21.70	23.59	1.89	1.52	131.57	88.67	89.12	0.40

# TABLA VI.16

## PROYECTO RÍO TECPAN

### ANÁLISIS HIDRÁULICO EN CONDICIONES NATURALES

Para un gasto de 1000 m<sup>3</sup>/s y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030

Cadenamiento secciones (Km)	Distancia entre secc. (m)	Elevación por el fondo (m)	Elevación del agua (m)	Tirante del agua (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Área hidráulica (m <sup>2</sup> )	Espejo del agua (m)	Perímetro Mojado (m)	Número de Froude
8+200.00		6.23	7.95	1.72	3.73	268.16	189.43	190.11	1.00
8+000.00	200.00	6.08	9.02	2.94	1.91	524.27	264.02	242.63	0.41
7+800.00	200.00	6.57	9.26	2.69	2.01	498.25	242.35	238.15	0.44
7+600.00	200.00	6.67	9.52	2.85	2.40	436.59	219.10	179.26	0.52
7+400.00	200.00	7.07	9.89	2.82	2.28	475.47	263.28	167.34	0.47
7+200.00	200.00	7.13	10.17	3.04	2.37	465.92	249.16	146.32	0.47
7+000.00	200.00	7.67	10.44	2.77	2.85	387.10	194.78	126.16	0.58
6+800.00	200.00	7.95	10.95	3.00	2.04	522.11	270.23	192.18	0.42
6+600.00	200.00	8.20	11.19	2.99	1.90	543.48	281.64	222.77	0.40
6+400.00	200.00	8.28	11.39	3.11	2.10	531.28	278.50	168.99	0.42
6+200.00	200.00	8.45	11.62	3.17	2.44	444.09	221.81	154.77	0.50
6+000.00	200.00	9.12	11.98	2.86	2.33	447.07	224.42	188.29	0.51
5+800.00	200.00	9.31	12.32	3.01	2.11	473.08	200.39	201.65	0.44
5+600.00	200.00	9.46	12.54	3.08	2.82	363.87	164.47	146.08	0.59
5+400.00	200.00	9.63	12.95	3.32	3.00	346.05	136.91	117.94	0.58
5+200.00	200.00	9.95	13.45	3.50	2.41	437.61	180.21	131.30	0.45
5+000.00	200.00	10.20	13.70	3.50	2.40	438.07	185.04	134.74	0.44
4+800.00	200.00	10.82	14.03	3.21	1.66	619.26	265.02	219.47	0.32
4+600.00	200.00	10.91	14.16	3.25	1.98	511.30	237.33	214.15	0.41
4+400.00	200.00	11.18	14.39	3.21	2.16	463.83	209.32	209.90	0.46
4+200.00	200.00	10.93	14.71	3.78	1.67	605.49	303.18	264.80	0.36
4+000.00	200.00	11.31	14.92	3.61	1.87	535.50	327.40	329.50	0.47
3+800.00	200.00	11.57	15.30	3.73	2.18	461.01	360.56	345.04	0.60
3+600.00	200.00	12.18	15.85	3.67	1.89	530.87	375.38	271.03	0.50
3+400.00	200.00	12.10	16.24	4.14	2.05	487.73	306.23	307.72	0.52
3+200.00	200.00	12.58	16.59	4.01	1.36	754.44	406.63	354.62	0.31
3+000.00	200.00	12.46	16.75	4.29	1.57	647.51	420.10	394.67	0.40
2+800.00	200.00	13.49	16.94	3.45	2.59	386.47	206.40	208.29	0.60
2+600.00	200.00	13.71	17.50	3.79	2.26	442.80	244.29	246.66	0.54
2+400.00	200.00	14.83	17.94	3.11	1.85	541.35	306.77	307.39	0.44
2+200.00	200.00	16.36	18.16	1.80	3.66	275.34	208.94	197.55	1.00
2+000.00	200.00	17.02	19.41	2.39	2.52	397.08	224.60	226.03	0.60
1+800.00	200.00	16.86	19.91	3.05	2.25	444.98	217.53	218.49	0.50
1+600.00	200.00	16.40	19.85	3.45	4.88	204.90	81.98	82.72	0.99
1+400.00	200.00	16.39	21.27	4.88	3.27	306.09	98.20	99.58	0.59
1+200.00	200.00	16.96	21.89	4.93	2.24	447.37	154.57	155.66	0.42
1+000.00	200.00	17.15	22.06	4.91	2.36	438.44	149.41	110.88	0.38
0+800.00	200.00	17.77	22.00	4.23	5.56	179.92	57.13	58.50	1.00
0+600.00	200.00	17.75	24.01	6.26	2.10	509.08	256.91	192.38	0.45
0+400.00	200.00	21.55	24.24	2.69	2.77	361.08	165.16	166.02	0.60
0+200.00	200.00	21.77	24.65	2.88	3.60	278.04	116.74	117.52	0.74
0+000.00	200.00	21.70	25.34	3.64	3.38	295.97	100.94	101.95	0.63

**TABLA VI.17**

**PROYECTO RÍO TECPAN**

**ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA GASTOS ASOCIADOS A PERÍODOS DE RETORNO**

**ALTERNATIVA N° 1, GASTO DE 4707 m<sup>3</sup>/s, Tr = 50 años, Plantilla B = 50 m y coef. Rugosidad de n = 0.030**

Caden. secciones (Km)	Distancia entre secc. (m)	Elevación del fondo (m)	Elevación del agua (m)	Tirante del agua (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Área hidráulica (m <sup>2</sup> )	Espejo del agua (m)	Perímetro Mojado (m)	# de Froude
8+200.00		6.20	10.31	4.11	5.78	887.53	276.36	192.18	0.95
8+000.00	200.00	6.08	11.79	5.71	3.67	1334.80	289.34	245.58	0.53
7+800.00	200.00	6.57	12.04	5.47	3.88	1252.49	271.00	241.02	0.56
7+600.00	200.00	6.67	12.29	5.62	4.44	1146.40	254.16	181.27	0.64
7+400.00	200.00	7.07	12.80	5.73	4.18	1247.11	263.28	168.24	0.58
7+200.00	200.00	7.13	13.10	5.97	4.43	1194.36	249.16	147.25	0.60
7+000.00	200.00	7.65	13.39	5.74	4.90	1110.44	239.07	126.89	0.67
6+800.00	200.00	7.90	14.13	6.23	3.68	1387.96	270.23	194.66	0.49
6+600.00	200.00	8.14	14.42	6.28	3.41	1462.82	281.64	224.05	0.46
6+400.00	200.00	8.28	14.62	6.34	3.64	1442.05	278.50	172.43	0.48
6+200.00	200.00	8.45	14.65	6.20	4.57	1124.15	221.81	156.66	0.62
6+000.00	200.00	8.87	15.15	6.28	4.10	1196.67	228.86	197.42	0.56
5+800.00	200.00	9.11	15.55	6.44	3.82	1308.29	260.28	206.00	0.51
5+600.00	200.00	9.35	15.58	6.23	4.98	1055.67	228.23	147.80	0.68
5+400.00	200.00	9.59	15.78	6.19	5.92	899.92	195.51	120.70	0.79
5+200.00	200.00	9.83	16.89	7.06	4.59	1134.47	199.40	134.36	0.58
5+000.00	200.00	10.08	17.29	7.21	4.33	1220.68	216.27	136.28	0.54
4+800.00	200.00	10.32	17.94	7.62	2.92	1690.53	266.66	225.23	0.36
4+600.00	200.00	10.56	18.02	7.46	3.14	1563.33	261.90	224.85	0.40
4+400.00	200.00	10.80	18.07	7.27	3.59	1321.10	226.63	226.35	0.47
4+200.00	200.00	10.93	18.56	7.63	2.66	1845.29	319.60	269.32	0.34
4+000.00	200.00	11.29	18.84	7.55	1.83	2628.81	543.99	497.89	0.26
3+800.00	200.00	11.53	18.91	7.38	1.89	2572.30	574.94	511.19	0.28
3+600.00	200.00	11.77	18.96	7.19	2.22	2191.99	532.13	430.56	0.35
3+400.00	200.00	12.02	19.10	7.08	2.11	2230.70	624.26	633.01	0.36
3+200.00	200.00	12.26	19.27	7.01	1.88	2544.45	690.08	644.87	0.31
3+000.00	200.00	12.46	19.37	6.91	1.92	2483.73	711.27	681.09	0.33
2+800.00	200.00	12.94	19.40	6.46	2.79	1710.82	698.09	673.43	0.56
2+600.00	200.00	13.38	19.67	6.29	2.97	1623.87	632.23	583.03	0.58
2+400.00	200.00	13.83	19.93	6.10	3.24	1498.95	480.44	421.56	0.56
2+200.00	200.00	14.27	19.97	5.70	5.57	921.23	306.37	212.08	0.92
2+000.00	200.00	14.71	20.68	5.97	5.82	808.64	224.60	229.67	0.98
1+800.00	200.00	15.15	21.99	6.84	4.65	1011.22	224.65	230.44	0.70
1+600.00	200.00	15.59	23.42	7.83	7.40	673.28	125.70	101.06	0.96
1+400.00	200.00	16.03	24.92	8.89	6.10	792.26	124.87	114.43	0.75
1+200.00	200.00	16.48	26.49	10.01	3.69	1315.61	201.01	175.76	0.43
1+000.00	200.00	16.92	26.62	9.70	4.03	1296.83	186.66	122.17	0.45
0+800.00	200.00	17.36	26.95	9.59	3.64	1380.32	240.93	176.16	0.47
0+600.00	200.00	17.75	27.24	9.49	3.36	1489.36	262.07	199.24	0.43
0+400.00	200.00	21.55	26.94	5.39	5.39	932.00	223.37	169.02	0.78
0+200.00	200.00	21.77	27.65	5.88	6.65	750.97	174.51	134.20	0.95
0+000.00	200.00	21.70	28.71	7.01	6.39	818.66	171.26	108.95	0.83

**TABLA VI.18**  
**PROYECTO RÍO TECPAN**

**ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA GASTOS ASOCIADOS A PERÍODOS DE RETORNO**

**ALTERNATIVA N° 2, GASTO DE 4707 m<sup>3</sup>/s, Tr = 50 años, Plantilla B = 60 m y coef. Rugosidad de n = 0.030**

Caden. secciones (Km)	Distancia entre secc. (m)	Elevación del fondo (m)	Elevación del agua (m)	Tirante del agua (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Área hidráulica (m <sup>2</sup> )	Espejo del agua (m)	Perímetro Mojado (m)	# de Froude
8+200.00		6.20	10.30	4.10	5.78	887.82	276.36	192.20	0.95
8+000.00	200.00	6.08	11.78	5.70	3.67	1335.21	289.34	245.57	0.53
7+800.00	200.00	6.57	12.03	5.46	3.88	1251.80	271.00	241.04	0.56
7+600.00	200.00	6.67	12.27	5.60	4.44	1145.25	254.16	179.42	0.64
7+400.00	200.00	7.07	12.78	5.71	4.17	1245.90	263.28	167.49	0.58
7+200.00	200.00	7.13	13.07	5.94	4.43	1188.07	249.16	146.35	0.60
7+000.00	200.00	7.65	13.35	5.70	4.91	1104.12	239.07	126.39	0.67
6+800.00	200.00	7.90	14.09	6.19	3.70	1379.96	270.23	192.29	0.50
6+600.00	200.00	8.14	14.39	6.25	3.43	1455.38	281.64	222.92	0.46
6+400.00	200.00	8.28	14.58	6.30	3.65	1436.30	278.50	169.87	0.48
6+200.00	200.00	8.45	14.60	6.15	4.57	1118.83	221.81	155.01	0.62
6+000.00	200.00	8.87	15.09	6.22	4.11	1190.63	228.86	195.83	0.57
5+800.00	200.00	9.11	15.49	6.38	3.85	1297.06	260.28	205.96	0.52
5+600.00	200.00	9.35	15.52	6.17	5.01	1048.42	228.23	146.37	0.68
5+400.00	200.00	9.59	15.71	6.12	5.96	892.66	195.51	118.69	0.80
5+200.00	200.00	9.83	16.83	7.00	4.62	1127.26	199.40	132.17	0.58
5+000.00	200.00	10.08	17.23	7.15	4.37	1209.97	216.27	134.91	0.54
4+800.00	200.00	10.32	17.89	7.57	2.92	1684.08	266.66	225.19	0.36
4+600.00	200.00	10.56	17.98	7.42	3.12	1572.79	261.90	224.50	0.39
4+400.00	200.00	10.80	18.02	7.22	3.59	1321.60	226.63	226.51	0.47
4+200.00	200.00	10.93	18.50	7.57	2.68	1835.18	319.60	269.42	0.35
4+000.00	200.00	11.29	18.79	7.50	1.85	2610.68	543.99	497.91	0.26
3+800.00	200.00	11.53	18.85	7.32	1.89	2562.45	574.94	508.01	0.28
3+600.00	200.00	11.77	18.91	7.14	2.18	2190.67	532.13	428.65	0.35
3+400.00	200.00	12.02	19.05	7.03	2.12	2217.68	624.26	631.55	0.36
3+200.00	200.00	12.26	19.22	6.96	1.90	2519.47	690.08	638.56	0.32
3+000.00	200.00	12.46	19.32	6.86	1.92	2473.52	711.27	679.42	0.33
2+800.00	200.00	12.94	19.34	6.40	2.80	1704.00	697.99	673.43	0.57
2+600.00	200.00	13.38	19.61	6.23	2.99	1612.74	632.18	582.95	0.59
2+400.00	200.00	13.83	19.87	6.04	3.27	1488.26	480.44	421.55	0.57
2+200.00	200.00	14.27	19.88	5.60	5.58	917.53	306.37	212.10	0.92
2+000.00	200.00	14.71	20.56	5.85	5.84	806.50	224.60	229.45	0.98
1+800.00	200.00	15.15	21.86	6.71	4.70	1001.36	224.65	230.20	0.71
1+600.00	200.00	15.59	23.24	7.65	7.39	673.17	125.26	100.77	0.95
1+400.00	200.00	16.03	24.94	8.91	5.69	849.17	129.91	119.63	0.69
1+200.00	200.00	16.48	26.18	9.70	3.82	1266.79	201.01	175.51	0.45
1+000.00	200.00	16.92	26.33	9.41	4.19	1250.67	185.88	121.43	0.47
0+800.00	200.00	17.36	26.70	9.34	3.73	1352.79	240.41	175.73	0.48
0+600.00	200.00	17.75	27.00	9.25	3.46	1448.57	261.69	198.81	0.45
0+400.00	200.00	21.55	26.57	5.02	5.89	850.86	223.37	169.02	0.89
0+200.00	200.00	21.77	27.65	5.88	6.65	750.97	174.51	134.20	0.95
0+000.00	200.00	21.70	28.71	7.01	6.39	818.66	171.26	108.95	0.83

TABLA VI.19

## PERFIL RÍO TECPAN

CAD. (KM)	ELEV. FONDO (M)	ELEV. MI (M)	ELEV. MD (M)
600	17.75	23.52	30.45
800	17.45	22.73	29.79
1000	17.15	22.09	29.07
1250	16.99	21.69	28.97
1500	16.83	21.42	28.86
1800	16.54	20.25	24.45
2100	16.24	19.04	20.06
2300	15.32	19.43	19.21
2500	14.40	19.87	18.33
2750	13.43	18.62	18.56
3000	12.46	17.48	18.78
3250	12.35	16.99	18.12
3500	12.23	16.46	17.35
3750	11.99	16.07	16.82
4000	12.20	15.72	16.05
4250	11.57	15.06	15.08
4500	10.93	14.49	14.02
4750	10.57	13.54	13.98
5000	10.20	12.76	13.95
5250	9.83	12.18	13.76
5500	9.45	11.48	13.58
5750	9.29	11.52	12.87
6000	9.12	11.54	12.35
6250	8.62	11.26	11.98
6500	8.11	10.99	11.51
6750	7.89	10.52	11.15
7000	7.67	10.13	10.77
7250	7.31	9.75	10.19
7500	6.95	9.58	9.47
7750	6.52	9.13	9.22
8000	6.08	8.79	9.05
8250	5.68	8.39	8.63
8500	5.28	7.91	7.80
8750	4.89	7.56	7.62
9000	4.49	7.20	7.46
9250	4.09	6.78	6.84
9500	3.69	6.32	6.21
9750	3.30	6.03	6.05
10000	2.90	5.61	5.87
10250	2.50	5.50	5.50



TABLA VI.20. ARCHIVO DE DATOS.

TRANSITO DE AVENIDA RIO TECPAN.

CONDICIONES INICIALES.

225.,12.0,20,8,0,1,1,0,1,0

20 1 0 19  
 19 1 20 18  
 18 1 19 17  
 17 1 18 16  
 16 1 17 15  
 15 1 16 14  
 14 1 15 13  
 13 1 14 12  
 12 1 13 11  
 11 1 12 10  
 10 1 11 9  
 9 1 10 8  
 8 1 9 7  
 7 1 8 6  
 6 1 7 5  
 5 1 6 4  
 4 1 5 3  
 3 1 4 2  
 2 1 3 1  
 1 2 2 0

20	17.45	400.	.030	1.0	1.0
19	16.99	500.	.030	1.0	1.0
18	16.54	600.	.030	1.0	1.0
17	15.32	400.	.030	1.0	1.0
16	13.43	500.	.030	1.0	1.0
15	12.35	500.	.030	1.0	1.0
14	11.99	500.	.030	1.0	1.0
13	11.57	500.	.030	1.0	1.0
12	10.57	500.	.030	1.0	1.0
11	9.83	500.	.030	1.5	1.0
10	9.29	500.	.030	1.5	1.0
9	8.62	500.	.030	1.5	1.0
8	7.89	500.	.030	1.5	1.0
7	7.31	500.	.030	1.5	1.0
6	6.52	500.	.030	1.9	1.0
5	5.68	500.	.030	2.0	1.0
4	4.89	500.	.030	2.2	1.0
3	4.09	500.	.030	2.5	1.0
2	3.30	500.	.030	2.8	1.0
1	2.50	500.	.030	3.0	1.0

20 12 17.75

27.24,23.52,51.16,23.48,80.58,23.10,112.89,22.28,142.82,21.75,174.03,20.76,  
 185.43,18.78,197.85,17.75,208.61,18.90,214.99,22.13,228.30,30.45,241.14,30.83

19 12 17.15

-26.77,21.74,-10.47,21.81, 0.00,22.09,14.85,21.53, 41.43,21.54, 60.99,18.89,

81.76,17.75,121.09,17.15,146.24,18.69,151.25,23.34,166.32,29.07,190.66,28.95  
18 9 16.83  
-42.40,21.02, -10.12,21.42, 0.00,19.41, 8.83,18.19, 12.22,17.41, 45.67,16.83,  
74.87,17.46, 76.91,18.19, 94.59,28.86  
17 10 16.24  
-42.52,19.04, 0.00,18.64, 14.56,17.59, 17.27,16.81, 43.21,16.24, 83.30,16.62,  
138.61,16.73, 166.09,17.41, 188.34,19.12, 277.06,20.06  
16 15 14.40  
125.87,18.72,163.58,18.75,190.46,18.83,224.84,18.71,257.08,19.74,268.67,18.69,  
278.95,19.87,294.09,18.69,315.15,16.48,353.85,16.24,380.09,15.17,415.29,14.40,  
451.90,15.16, 488.92,14.62, 496.94,18.33  
15 14 12.46  
488.56,17.45,520.93,17.48,561.48,16.10,571.56,13.03,581.22,12.46,595.79,13.01,  
628.23,13.80,636.83,13.16,647.33,13.81,651.35,14.76,660.42,17.45,665.18,17.24,  
676.65,18.71, 684.14,18.78  
14 15 12.23  
388.21,16.46,391.39,16.25,396.52,15.10,400.77,15.21,404.98,14.30,409.14,14.29,  
411.20,15.12,415.16,15.07,427.35,12.67,453.16,12.23,480.15,12.66,485.18,16.27,  
491.31,17.22, 498.70,17.13, 514.75,17.35  
13 15 12.20  
203.73,15.72,236.43,15.03,256.64,13.70,270.21,12.66,277.02,12.45,309.44,12.20,  
350.09,12.47,363.13,12.76,372.09,13.45,377.46,13.89,387.60,12.68,389.24,13.68,  
390.92,14.66, 436.34,15.41, 488.52,16.05  
12 13 10.93  
-68.29,14.49, -59.70,12.98, -33.35,12.76, -30.65,11.44, 0.00,10.93, 37.12,11.46,  
42.99,11.85, 62.82,11.61, 85.71,11.99, 94.66,12.92, 105.34,12.53, 127.67,13.24,  
142.75,14.02  
11 10 10.20  
-34.42,12.76, 0.00,12.61, 7.22,12.08, 16.06,12.07, 19.22,10.59, 78.97,10.20,  
128.30,10.61, 133.72,13.39, 164.44,13.95, 181.85,13.95  
10 10 9.45  
-101.63,11.48, -79.67,11.12, -59.93,10.49, -19.88,10.35, -6.54,10.17, 0.00,9.67,  
25.56,9.45, 55.11,10.20, 60.61,13.24, 115.85,13.58  
9 9 9.12  
-158.71,11.54, -122.11,10.94, -120.36,9.71, -86.01,9.12, -50.86,9.67, 0.00,9.68,  
9.00,9.89, 47.57,10.45, 70.15,12.35  
8 11 8.11  
-110.84,10.99, -75.91,10.45, -72.82,10.03, -71.62,9.02, 0.00,8.89, 44.37,8.64,  
78.84,8.11, 115.00,8.62, 123.97,8.75, 129.62,11.19, 170.50,11.51  
7 9 7.67  
-63.30,10.13, 0.00,9.49, 6.67,9.57, 8.65,8.11, 67.68,7.67, 127.14,8.10,  
127.84,9.29, 131.60,10.48, 175.77,10.77  
6 9 6.95  
-101.83,9.58, -67.02,8.78, -43.00,7.35, 0.00,7.31, 52.84,7.14, 84.13,6.95,  
110.29,7.47, 112.04,9.09, 169.16,9.47  
5 11 6.08  
-113.16,8.79, -101.21,6.91, -77.64,6.88, -30.18,6.87, 0.00,6.94, 44.53,7.02,  
94.10,6.08, 125.60,7.01, 128.47,9.05, 147.69,8.98, 176.18,9.08  
4 9 5.28  
-101.83,7.91, -67.02,7.11, -43.00,5.68, 0.00,5.64, 52.84,5.47, 84.13,5.28,  
110.29,5.80, 112.04,7.42, 169.16,7.80  
3 11 4.49  
-113.16,7.20, -101.21,5.32, -77.64,5.29, -30.18,5.28, 0.00,5.35, 44.53,5.43,  
94.10,4.49, 125.60,5.42, 128.47,7.46, 147.69,7.39, 176.18,7.49  
2 9 3.69  
-101.29,6.32, -67.02,5.52, -43.00,4.09, 0.00,4.05, 52.84,3.88, 84.13,3.69,  
110.29,4.21, 112.04,5.83, 169.16,6.21  
1 11 2.90  
-113.16,5.61, -101.21,3.73, -77.64,3.70, -30.18,3.69, 0.00,3.76, 44.53,3.84,  
94.10,2.90, 125.60,3.83, 128.47,5.87, 147.69,5.80, 176.18,5.90

20 2  
0.0 200.0 12.0 200.0  
1 2  
0.0 5.5 12.0 5.5

TABLA VI.21. TIRANTES Y VELOCIDADES

CALCULADAS COMO CONDICIONES INICIALES.

TRAMO	TIRANTE	VELOCIDAD
20	2.104	4.951
19	2.393	1.383
18	2.323	1.454
17	1.053	1.874
16	1.804	1.644
15	2.461	1.362
14	2.164	1.681
13	1.432	1.606
12	1.493	1.522
11	1.826	1.231
10	1.813	1.177
9	1.305	1.428
8	1.562	1.016
7	1.274	1.484
6	1.539	1.124
5	1.233	1.248
4	1.459	1.147
3	1.564	1.083
2	2.233	.737
1	3.000	.449

TABLA VI.22. ARCHIVO DE RESULTADOS.

DETERMINACION DE CONDICIONES INICIALES.

TRANSITO DE AVENIDA RIO TECPAN.

DT 225.00 N TRAMOS 20 INT SIMULAR 192 INT IMPRIME 8 NUM GASTO LATERAL 0

IDATOS	IGEOM	ILEECI	IMPRCF	NSEC
1	1	0	1	0
	TRAMO	ANTECESOR	SUCESOR	KTIPO
	20	0	19	1
	19	20	18	1
	18	19	17	1
	17	18	16	1
	16	17	15	1
	15	16	14	1
	14	15	13	1
	13	14	12	1
	12	13	11	1
	11	12	10	1
	10	11	9	1
	9	10	8	1
	8	9	7	1
	7	8	6	1
	6	7	5	1
	5	6	4	1
	4	5	3	1
	3	4	2	1
	2	3	1	1
	1	2	0	2

COTA FONDO CENTRO TRAMO	LONGITUD TRAMO	N DE MANNING	TIRANTE INICIAL	VELOCIDAD INICIAL
17.45	400.00	.030	1.00	1.00
16.99	500.00	.030	1.00	1.00
16.54	600.00	.030	1.00	1.00
15.32	400.00	.030	1.00	1.00
13.43	500.00	.030	1.00	1.00
12.35	500.00	.030	1.00	1.00
11.99	500.00	.030	1.00	1.00
11.57	500.00	.030	1.00	1.00
10.57	500.00	.030	1.00	1.00
9.83	500.00	.030	1.50	1.00
9.29	500.00	.030	1.50	1.00
8.62	500.00	.030	1.50	1.00
7.89	500.00	.030	1.50	1.00
7.31	500.00	.030	1.50	1.00
6.52	500.00	.030	1.90	1.00
5.68	500.00	.030	2.00	1.00
4.89	500.00	.030	2.20	1.00
4.09	500.00	.030	2.50	1.00
3.30	500.00	.030	2.80	1.00
2.50	500.00	.030	3.00	1.00

SECCION NATURAL

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
20	12		17.750		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
27.24	23.52	51.16	23.48	80.58	23.10
112.89	22.28	142.82	21.75	174.03	20.76
185.43	18.78	197.85	17.75	208.61	18.90
214.99	22.13	228.30	30.45	241.14	30.83

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
19	12		17.150		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-26.77	21.74	-10.47	21.81	.00	22.09
14.85	21.53	41.43	21.54	60.99	18.89
81.76	17.75	121.09	17.15	146.24	18.69
151.25	23.34	166.32	29.07	190.66	28.95

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
18	9		16.830		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-42.40	21.02	-10.12	21.42	.00	19.41
8.83	18.19	12.22	17.41	45.67	16.83
74.87	17.46	76.91	18.19	94.59	28.86

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
17	10		16.240		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-42.52	19.04	.00	18.64	14.56	17.59
17.27	16.81	43.21	16.24	83.30	16.62
138.61	16.73	166.09	17.41	188.34	19.12
277.06	20.06				

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
16	15		14.400		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
125.87	18.72	163.58	18.75	190.46	18.83
224.84	18.71	257.08	19.74	268.67	18.69
278.95	19.87	294.09	18.69	315.15	16.48
353.85	16.24	380.09	15.17	415.29	14.40
451.90	15.16	488.92	14.62	496.94	18.33

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
15	14		12.460		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
488.56	17.45	520.93	17.48	561.48	16.10
571.56	13.03	581.22	12.46	595.79	13.01
628.23	13.80	636.83	13.16	647.33	13.81
651.35	14.76	660.42	17.45	665.18	17.24
676.65	18.71	684.14	18.78		

SECCION	PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL		ELEVACION MAS BAJA (M)		
14	15		12.230		
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
388.21	16.46	391.39	16.25	396.52	15.10
400.77	15.21	404.98	14.30	409.14	14.29
411.20	15.12	415.16	15.07	427.35	12.67
453.16	12.23	480.15	12.66	485.18	16.27
491.31	17.22	498.70	17.13	514.75	17.35

SECCION PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL ELEVACION MAS BAJA (M)

13		15		12.200	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
203.73	15.72	236.43	15.03	256.64	13.70
270.21	12.66	277.02	12.45	309.44	12.20
350.09	12.47	363.13	12.76	372.09	13.45
377.46	13.89	387.60	12.68	389.24	13.68
390.92	14.66	436.34	15.41	488.52	16.05

SECCION 12		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 13		ELEVACION MAS BAJA (M) 10.930	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-68.29	14.49	-59.70	12.98	-33.35	12.76
-30.65	11.44	.00	10.93	37.12	11.46
42.99	11.85	62.82	11.61	85.71	11.99
94.66	12.92	105.34	12.53	127.67	13.24
142.75	14.02				

SECCION 11		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 10		ELEVACION MAS BAJA (M) 10.200	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-34.42	12.76	.00	12.61	7.22	12.08
16.06	12.07	19.22	10.59	78.97	10.20
128.30	10.61	133.72	13.39	164.44	13.95
181.85	13.95				

SECCION 10		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 10		ELEVACION MAS BAJA (M) 9.450	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-101.63	11.48	-79.67	11.12	-59.93	10.49
-19.88	10.35	-6.54	10.17	.00	9.67
25.56	9.45	55.11	10.20	60.61	13.24
115.85	13.58				

SECCION 9		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 9		ELEVACION MAS BAJA (M) 9.120	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-158.71	11.54	-122.11	10.94	-120.36	9.71
-86.01	9.12	-50.86	9.67	.00	9.68
9.00	9.89	47.57	10.45	70.15	12.35

SECCION 8		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 11		ELEVACION MAS BAJA (M) 8.110	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-110.84	10.99	-75.91	10.45	-72.82	10.03
-71.62	9.02	.00	8.89	44.37	8.64
78.84	8.11	115.00	8.62	123.97	8.75
129.62	11.19	170.50	11.51		

SECCION 7		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 9		ELEVACION MAS BAJA (M) 7.670	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-63.30	10.13	.00	9.49	6.67	9.57
8.65	8.11	67.68	7.67	127.14	8.10
127.84	9.29	131.60	10.48	175.77	10.77

SECCION 6		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 9		ELEVACION MAS BAJA (M) 6.950	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-101.83	9.58	-67.02	8.78	-43.00	7.35
.00	7.31	52.84	7.14	84.13	6.95

110.29            7.47            112.04            9.09            169.16            9.47

SECCION 5		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 11		ELEVACION MAS BAJA (M) 6.080	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-113.16	8.79	-101.21	6.91	-77.64	6.88
-30.18	6.87	.00	6.94	44.53	7.02
94.10	6.08	125.60	7.01	128.47	9.05
147.69	8.98	176.18	9.08		

SECCION 4		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 9		ELEVACION MAS BAJA (M) 5.280	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-101.83	7.91	-67.02	7.11	-43.00	5.68
.00	5.64	52.84	5.47	84.13	5.28
110.29	5.80	112.04	7.42	169.16	7.80

SECCION 3		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 11		ELEVACION MAS BAJA (M) 4.490	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-113.16	7.20	-101.21	5.32	-77.64	5.29
-30.18	5.28	.00	5.35	44.53	5.43
94.10	4.49	125.60	5.42	128.47	7.46
147.69	7.39	176.18	7.49		

SECCION 2		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 9		ELEVACION MAS BAJA (M) 3.690	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-101.29	6.32	-67.02	5.52	-43.00	4.09
.00	4.05	52.84	3.88	84.13	3.69
110.29	4.21	112.04	5.83	169.16	6.21

SECCION 1		PUNTOS DE LA SEC TRANSVERSAL 11		ELEVACION MAS BAJA (M) 2.900	
ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION	ABSCISA	ELEVACION
-113.16	5.61	-101.21	3.73	-77.64	3.70
-30.18	3.69	.00	3.76	44.53	3.84
94.10	2.90	125.60	3.83	128.47	5.87
147.69	5.80	176.18	5.90		

HIDROGRAMA

TRAMO DONDE CONECTA	20	NUM PUNTOS	2
TIEMPO	GASTO	TIEMPO	GASTO
.0	200.0	12.0	200.0

VARIACION DEL NIVEL AGUA ABAJO (MAREA)

NUMERO PUNTOS 1		NUM ELEM NIV CONOCIDO 2	
TIEMPO	NIVEL	TIEMPO	NIVEL
.0	5.5	12.0	5.5

TIEMPO= .50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.018	19.468	5.135	38.951	200.000
19	2.242	19.232	1.458	140.128	204.252
18	1.848	18.388	1.744	127.478	222.264
17	1.595	16.915	1.772	168.812	299.121



16	2.336	15.766	1.985	191.060	379.249
15	2.509	14.859	2.125	123.537	262.462
14	2.009	13.999	1.835	81.828	150.181
13	1.035	12.605	1.336	62.783	83.874
12	.603	11.173	1.044	44.421	46.395
11	.990	10.820	.629	64.937	40.873
10	1.226	10.516	.586	75.914	44.477
9	.756	9.376	.867	55.916	48.502
8	.993	8.883	.626	94.981	59.456
7	.863	8.173	.957	82.844	79.284
6	1.298	7.818	.753	129.295	97.346
5	.948	6.628	.962	108.584	104.441
4	1.288	6.178	.904	145.135	131.174
3	1.494	5.584	.916	166.460	152.469
2	2.211	5.511	.633	266.593	168.802
1	3.000	5.500	.386	443.666	171.277

TIEMPO= 1.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.772	41.908	200.000
19	2.404	19.394	1.364	150.498	205.244
18	2.280	18.820	1.504	145.836	219.381
17	1.381	16.701	2.014	135.722	273.304
16	1.838	15.268	1.972	126.118	248.718
15	2.302	14.652	1.532	124.211	190.289
14	1.975	13.965	1.648	100.107	164.974
13	1.247	12.817	1.458	104.265	152.028
12	1.511	12.081	1.332	135.331	180.259
11	1.934	11.764	1.184	180.756	213.925
10	1.980	11.270	1.156	202.948	234.678
9	1.487	10.107	1.608	162.690	261.650
8	1.426	9.316	1.254	157.861	197.894
7	.802	8.112	1.299	75.027	97.476
6	1.313	7.833	.601	107.259	64.513
5	.605	6.285	.758	59.828	45.335
4	.986	5.876	.631	87.650	55.348
3	1.420	5.510	.581	117.164	68.046
2	2.201	5.501	.272	255.638	69.449
1	3.000	5.500	.158	441.873	69.613

TIEMPO= 1.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.119	19.569	4.843	41.293	200.000
19	2.424	19.414	1.360	148.085	201.412
18	2.371	18.911	1.429	143.513	205.063
17	1.160	16.480	1.952	114.473	223.434
16	1.736	15.166	1.748	114.612	200.361
15	2.348	14.698	1.360	134.682	183.119
14	2.053	14.043	1.616	110.600	178.745
13	1.379	12.949	1.512	119.094	180.127
12	1.525	12.095	1.455	137.127	199.461
11	1.883	11.713	1.234	170.889	210.801

10	1.869	11.159	1.206	178.637	215.411
9	1.310	9.930	1.483	141.197	209.375
8	1.530	9.420	1.034	190.220	196.601
7	1.249	8.559	1.454	132.858	193.240
6	1.525	8.045	1.110	184.328	204.537
5	1.399	7.079	1.258	190.966	240.156
4	1.563	6.453	1.316	193.946	255.153
3	1.596	5.686	1.189	185.967	221.204
2	2.251	5.551	.734	270.289	198.259
1	3.000	5.500	.432	446.581	193.008

TIEMPO= 2.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.115	19.565	4.905	40.774	200.000
19	2.414	19.404	1.370	146.025	200.113
18	2.367	18.907	1.426	140.312	200.118
17	1.067	16.387	1.903	106.726	203.129
16	1.746	15.176	1.656	115.284	190.927
15	2.399	14.749	1.331	141.715	188.639
14	2.114	14.104	1.640	116.290	190.683
13	1.433	13.003	1.561	125.133	195.367
12	1.524	12.094	1.508	136.346	205.610
11	1.858	11.688	1.253	166.356	208.401
10	1.835	11.125	1.198	172.625	206.825
9	1.301	9.921	1.447	139.331	201.636
8	1.546	9.436	1.016	193.629	196.718
7	1.266	8.576	1.467	133.808	196.334
6	1.542	8.062	1.112	179.048	199.136
5	1.239	6.919	1.255	161.838	203.102
4	1.458	6.348	1.155	173.959	200.868
3	1.561	5.651	1.082	183.226	198.222
2	2.233	5.533	.729	270.544	197.149
1	3.000	5.500	.441	445.507	196.479

TIEMPO= 2.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.109	19.559	4.938	40.498	200.000
19	2.402	19.392	1.378	144.949	199.809
18	2.346	18.886	1.439	138.362	199.069
17	1.040	16.360	1.879	105.002	197.340
16	1.775	15.205	1.631	118.312	192.926
15	2.438	14.788	1.339	145.621	194.923
14	2.150	14.140	1.663	118.877	197.699
13	1.446	13.016	1.593	126.378	201.354
12	1.510	12.080	1.528	133.973	204.710
11	1.838	11.668	1.247	163.557	203.959
10	1.817	11.107	1.187	169.907	201.701
9	1.298	9.918	1.430	138.761	198.374
8	1.553	9.443	1.010	195.328	197.304
7	1.271	8.581	1.475	134.582	198.475
6	1.540	8.060	1.121	178.656	200.296
5	1.241	6.921	1.252	161.724	202.431

4	1.463	6.353	1.154	175.217	202.157
3	1.565	5.655	1.088	184.960	201.256
2	2.234	5.534	.740	271.289	200.666
1	3.000	5.500	.450	445.787	200.469

TIEMPO= 3.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.105	19.555	4.951	40.394	200.000
19	2.395	19.385	1.382	144.559	199.832
18	2.330	18.870	1.448	137.576	199.276
17	1.041	16.361	1.872	105.418	197.328
16	1.795	15.225	1.631	120.516	196.578
15	2.457	14.807	1.351	147.020	198.602
14	2.164	14.154	1.676	119.499	200.277
13	1.443	13.013	1.606	125.770	202.001
12	1.499	12.069	1.529	132.278	202.273
11	1.828	11.658	1.238	162.480	201.208
10	1.811	11.101	1.180	169.349	199.824
9	1.301	9.921	1.425	139.294	198.488
8	1.559	9.449	1.011	196.628	198.871
7	1.275	8.585	1.481	135.005	199.980
6	1.542	8.062	1.124	178.590	200.800
5	1.236	6.916	1.252	160.847	201.374
4	1.459	6.349	1.150	174.369	200.487
3	1.563	5.653	1.084	184.320	199.728
2	2.233	5.533	.736	271.105	199.404
1	3.000	5.500	.447	445.732	199.279

TIEMPO= 3.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.954	40.372	200.000
19	2.393	19.383	1.384	144.489	199.915
18	2.324	18.864	1.453	137.400	199.654
17	1.047	16.367	1.871	106.107	198.565
16	1.803	15.233	1.637	121.529	198.945
15	2.463	14.813	1.359	147.230	200.046
14	2.167	14.157	1.681	119.401	200.706
13	1.437	13.007	1.609	125.038	201.199
12	1.494	12.064	1.526	131.508	200.671
11	1.825	11.655	1.233	162.280	200.062
10	1.810	11.100	1.177	169.546	199.530
9	1.304	9.924	1.425	139.785	199.258
8	1.562	9.452	1.014	197.066	199.765
7	1.276	8.586	1.484	134.976	200.316
6	1.540	8.060	1.125	178.199	200.498
5	1.234	6.914	1.250	160.315	200.372
4	1.458	6.348	1.147	174.237	199.885
3	1.563	5.653	1.083	184.408	199.659
2	2.233	5.533	.736	271.175	199.641
1	3.000	5.500	.448	445.749	199.619

TIEMPO= 4.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.103	19.553	4.953	40.378	200.000
19	2.392	19.382	1.384	144.520	199.972
18	2.322	18.862	1.454	137.436	199.896
17	1.051	16.371	1.873	106.536	199.501
16	1.805	15.235	1.641	121.815	199.948
15	2.463	14.813	1.362	147.083	200.336
14	2.166	14.156	1.682	119.192	200.468
13	1.433	13.003	1.609	124.625	200.469
12	1.493	12.063	1.523	131.296	200.021
11	1.825	11.655	1.231	162.359	199.783
10	1.811	11.101	1.176	169.810	199.704
9	1.305	9.925	1.427	140.025	199.792
8	1.562	9.452	1.015	197.094	200.069
7	1.275	8.585	1.485	134.865	200.231
6	1.539	8.059	1.125	177.975	200.195
5	1.233	6.913	1.249	160.179	199.998
4	1.458	6.348	1.147	174.301	199.840
3	1.564	5.654	1.083	184.527	199.835
2	2.233	5.533	.737	271.226	199.884
1	3.000	5.500	.448	445.766	199.892

TIEMPO= 4.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.103	19.553	4.952	40.387	200.000
19	2.393	19.383	1.384	144.558	199.997
18	2.322	18.862	1.455	137.500	199.996
17	1.053	16.373	1.874	106.709	199.933
16	1.805	15.235	1.643	121.811	200.185
15	2.462	14.812	1.363	146.927	200.240
14	2.165	14.155	1.682	119.056	200.198
13	1.432	13.002	1.607	124.479	200.091
12	1.493	12.063	1.522	131.313	199.881
11	1.826	11.656	1.230	162.457	199.841
10	1.812	11.102	1.176	169.946	199.884
9	1.305	9.925	1.428	140.088	199.995
8	1.562	9.452	1.016	197.024	200.093
7	1.274	8.584	1.484	134.794	200.101
6	1.539	8.059	1.124	177.896	200.040
5	1.233	6.913	1.248	160.183	199.928
4	1.458	6.348	1.147	174.363	199.914
3	1.564	5.654	1.083	184.586	199.954
2	2.233	5.533	.737	271.245	199.992
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.003

TIEMPO= 5.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.392	200.000

19	2.393	19.383	1.383	144.580	200.004
18	2.322	18.862	1.454	137.541	200.020
17	1.053	16.373	1.874	106.746	200.057
16	1.805	15.235	1.644	121.746	200.148
15	2.462	14.812	1.363	146.843	200.107
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.048
13	1.431	13.001	1.607	124.456	199.968
12	1.493	12.063	1.522	131.362	199.907
11	1.826	11.656	1.230	162.508	199.927
10	1.813	11.103	1.176	169.993	199.975
9	1.305	9.925	1.428	140.087	200.039
8	1.562	9.452	1.016	196.972	200.055
7	1.274	8.584	1.484	134.766	200.029
6	1.539	8.059	1.124	177.885	199.993
5	1.233	6.913	1.248	160.212	199.951
4	1.458	6.348	1.147	174.392	199.971
3	1.564	5.654	1.083	184.602	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.248	200.017
1	3.000	5.500	.449	445.774	200.023

TIEMPO= 5.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.003
18	2.322	18.862	1.454	137.557	200.015
17	1.053	16.373	1.874	106.737	200.055
16	1.804	15.234	1.644	121.699	200.070
15	2.461	14.811	1.362	146.814	200.028
14	2.163	14.153	1.681	118.988	199.993
13	1.431	13.001	1.606	124.470	199.957
12	1.493	12.063	1.522	131.395	199.957
11	1.826	11.656	1.230	162.527	199.980
10	1.813	11.103	1.177	170.000	200.007
9	1.305	9.925	1.428	140.074	200.030
8	1.562	9.452	1.016	196.946	200.021
7	1.274	8.584	1.484	134.758	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.890	199.985
5	1.233	6.913	1.248	160.229	199.977
4	1.459	6.349	1.147	174.400	199.995
3	1.564	5.654	1.083	184.603	200.010
2	2.233	5.533	.737	271.247	200.015
1	3.000	5.500	.449	445.774	200.017

TIEMPO= 6.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.589	200.002
18	2.323	18.863	1.454	137.561	200.007
17	1.053	16.373	1.874	106.722	200.029
16	1.804	15.234	1.644	121.678	200.020
15	2.461	14.811	1.362	146.810	199.997
14	2.163	14.153	1.681	118.991	199.984

13	1.432	13.002	1.606	124.485	199.975
12	1.493	12.063	1.522	131.409	199.987
11	1.826	11.656	1.231	162.530	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.995	200.010
9	1.305	9.925	1.428	140.065	200.014
8	1.562	9.452	1.016	196.938	200.004
7	1.274	8.584	1.484	134.759	199.994
6	1.539	8.059	1.124	177.898	199.991
5	1.233	6.913	1.248	160.237	199.994
4	1.459	6.349	1.147	174.401	200.003
3	1.564	5.654	1.083	184.599	200.007
2	2.233	5.533	.737	271.245	200.007
1	3.000	5.500	.449	445.774	200.008

TIEMPO= 6.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.588	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.559	200.002
17	1.053	16.373	1.874	106.713	200.009
16	1.804	15.234	1.644	121.673	200.000
15	2.461	14.811	1.362	146.813	199.992
14	2.163	14.153	1.681	118.995	199.990
13	1.432	13.002	1.606	124.494	199.990
12	1.493	12.063	1.522	131.413	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.528	200.005
10	1.813	11.103	1.177	169.990	200.006
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.004
8	1.562	9.452	1.016	196.937	199.998
7	1.274	8.584	1.484	134.761	199.995
6	1.539	8.059	1.124	177.902	199.996
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.399	200.003
3	1.564	5.654	1.083	184.597	200.003
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.002
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.002

TIEMPO= 7.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.588	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.558	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.001
16	1.804	15.234	1.644	121.674	199.996
15	2.461	14.811	1.362	146.817	199.996
14	2.164	14.154	1.681	118.998	199.996
13	1.432	13.002	1.606	124.496	199.998
12	1.493	12.063	1.522	131.412	200.002
11	1.826	11.656	1.231	162.525	200.002
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.001
9	1.305	9.925	1.428	140.058	199.998
8	1.562	9.452	1.016	196.938	199.997

7	1.274	8.584	1.484	134.762	199.997
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.240	200.001
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.002
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.243	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 7.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.709	199.998
16	1.804	15.234	1.644	121.675	199.997
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.412	200.002
11	1.826	11.656	1.231	162.525	200.002
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.001
9	1.305	9.925	1.428	140.059	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.939	199.999
7	1.274	8.584	1.484	134.763	199.999
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.998
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.998

TIEMPO= 8.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.586	199.999
18	2.323	18.863	1.454	137.557	199.999
17	1.053	16.373	1.874	106.710	199.998
16	1.804	15.234	1.644	121.676	199.999
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.000
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.001
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.002
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.001
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.059	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.001
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.244	199.999



1 3.000 5.500 .449 445.773 199.999

TIEMPO= 8.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	199.999
18	2.323	18.863	1.454	137.557	199.999
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.001
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.001
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.001
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 9.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.676	199.999
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	118.999	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.496	199.999
12	1.493	12.063	1.522	131.410	199.999
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	199.999
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.941	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 9.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO TIRANTE COTA AGUA VELOCIDAD AREA GASTO ENTRADA



	M	M	M/S	M2	AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.676	200.000
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.000
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.000
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.001
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.238	199.999
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 10.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.675	199.998
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	118.999	199.999
13	1.432	13.002	1.606	124.496	200.000
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 10.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000

16	1.804	15.234	1.644	121.676	199.999
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.000
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.001
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.059	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.940	199.999
7	1.274	8.584	1.484	134.763	199.999
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 11.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.675	199.998
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	118.999	199.999
13	1.432	13.002	1.606	124.496	199.999
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.941	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	199.999
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 11.50 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	199.999
16	1.804	15.234	1.644	121.676	199.999
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.002
11	1.826	11.656	1.231	162.525	200.001

10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.001
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.001
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.238	199.999
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 12.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	199.998
16	1.804	15.234	1.644	121.676	199.999
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.000
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.001
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.001
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.001
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.001
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.001
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

RESUMEN DE MAXIMOS

TRAMO	GASTO	TIEMPO	COTA DEL AGUA	TIEMPO
20	200.0	.06	19.75	.13
19	235.9	.19	19.56	.31
18	239.7	.44	19.27	.25
17	350.5	.44	17.20	.44
16	379.2	.50	15.77	.50
15	314.0	.56	15.27	.56
14	287.3	.63	14.54	.63
13	297.2	.69	13.52	.69
12	290.6	.75	12.33	.81
11	260.8	.81	11.87	.88
10	243.3	.94	11.34	.94
9	261.7	1.00	10.13	1.06
8	252.8	.06	9.66	1.13
7	243.5	1.19	8.74	1.25
6	296.7	.06	8.35	1.25
5	450.1	.06	7.50	.06
4	534.6	.06	6.93	.06
3	610.2	.06	6.40	.06
2	719.1	.06	5.83	.06
1	872.1	.06	5.50	.06

TABLA VI.23

PERFIL RÍO TECPAN

CAD. (KM)	ELEV. FONDO (M)	ELEV. MI (M)	ELEV. MD (M)	Q=200 M3/S	Q=200 M3/S	Q=200 M3/S	Q=200 M3/S	Q=200 M3/S
				H=2.2 M	H=2.5 M	H=3.0 M	H=4.0 M	H=4.5 M
				ELEV. AGUA (M)	ELEV. AGUA (M)	ELEV. AGUA (M)	ELEV. AGUA (M)	ELEV. AGUA (M)
600	17.75	23.52	30.45	19.854	19.854	19.854	19.854	19.854
800	17.45	22.73	29.79	19.554	19.554	19.554	19.554	19.554
1000	17.15	22.09	29.07	19.543	19.543	19.543	19.543	19.543
1250	16.99	21.69	28.97	19.383	19.383	19.383	19.383	19.383
1500	16.83	21.42	28.86	19.153	19.153	19.153	19.153	19.153
1800	16.54	20.25	24.45	18.863	18.863	18.863	18.863	18.863
2100	16.24	19.04	20.06	17.293	17.293	17.293	17.293	17.293
2300	15.32	19.43	19.21	16.373	16.373	16.373	16.373	16.373
2500	14.40	19.87	18.33	16.204	16.204	16.204	16.204	16.204
2750	13.43	18.62	18.56	15.234	15.234	15.234	15.234	15.234
3000	12.46	17.48	18.78	14.921	14.921	14.921	14.921	14.921
3250	12.35	16.99	18.12	14.811	14.811	14.811	14.811	14.811
3500	12.23	16.46	17.35	14.394	14.394	14.394	14.394	14.394
3750	11.99	16.07	16.82	14.154	14.154	14.154	14.154	14.154
4000	12.20	15.72	16.05	13.632	13.632	13.632	13.632	13.632
4250	11.57	15.06	15.08	13.002	13.002	13.002	13.002	13.002
4500	10.93	14.49	14.02	12.423	12.423	12.423	12.423	12.423
4750	10.57	13.54	13.98	12.063	12.063	12.063	12.063	12.063
5000	10.20	12.76	13.95	12.026	12.026	12.026	12.026	12.026
5250	9.83	12.18	13.76	11.656	11.656	11.656	11.656	11.656
5500	9.45	11.48	13.58	11.263	11.263	11.263	11.263	11.262
5750	9.29	11.52	12.87	11.103	11.103	11.103	11.103	11.102
6000	9.12	11.54	12.35	10.425	10.425	10.425	10.425	10.426
6250	8.62	11.26	11.98	9.925	9.925	9.925	9.925	9.926
6500	8.11	10.99	11.51	9.672	9.672	9.672	9.673	9.675
6750	7.89	10.52	11.15	9.452	9.452	9.452	9.453	9.455
7000	7.67	10.13	10.77	8.943	8.943	8.944	8.941	8.935
7250	7.31	9.75	10.19	8.583	8.583	8.584	8.581	8.575
7500	6.95	9.58	9.47	8.478	8.481	8.489	8.465	8.380
7750	6.52	9.13	9.22	8.048	8.051	8.059	8.035	7.950
8000	6.08	8.79	9.05	7.333	7.327	7.313	7.359	7.590
8250	5.68	8.39	8.63	6.933	6.927	6.913	6.959	7.190
8500	5.28	7.91	7.80	6.856	6.828	6.739	6.795	7.114
8750	4.89	7.56	7.62	6.466	6.438	6.349	6.635	7.053
9000	4.49	7.20	7.46	5.728	5.787	6.054	6.582	7.031
9250	4.09	6.78	6.84	5.328	5.387	5.654	6.538	7.018
9500	3.69	6.32	6.21	5.274	5.250	5.600	6.521	7.011
9750	3.30	6.03	6.05	4.884	5.092	5.533	6.509	7.005
10000	2.90	5.61	5.87	4.800	5.050	5.520	6.504	7.003
10250	2.50	5.50	5.50	4.700	5.000	5.500	6.500	7.000

TABLA VI.24. ARCHIVO DE DATOS MODIFICADOS.

TRANSITO DE AVENIDA RIO TECPAN.

225.,30.0,20,16,0,0,1,1,0,3

1  
20, 13, 5

20 1 0 19  
 19 1 20 18  
 18 1 19 17  
 17 1 18 16  
 16 1 17 15  
 15 1 16 14  
 14 1 15 13  
 13 1 14 12  
 12 1 13 11  
 11 1 12 10  
 10 1 11 9  
 9 1 10 8  
 8 1 9 7  
 7 1 8 6  
 6 1 7 5  
 5 1 6 4  
 4 1 5 3  
 3 1 4 2  
 2 1 3 1  
 1 2 2 0

20	17.45	400.	.030	1.0	1.0
19	16.99	500.	.030	1.0	1.0
18	16.54	600.	.030	1.0	1.0
17	15.32	400.	.030	1.0	1.0
16	13.43	500.	.030	1.0	1.0
15	12.35	500.	.030	1.0	1.0
14	11.99	500.	.030	1.0	1.0
13	11.57	500.	.030	1.0	1.0
12	10.57	500.	.030	1.0	1.0
11	9.83	500.	.030	1.5	1.0
10	9.29	500.	.030	1.5	1.0
9	8.62	500.	.030	1.5	1.0
8	7.89	500.	.030	1.5	1.0
7	7.31	500.	.030	1.5	1.0
6	6.52	500.	.030	1.9	1.0
5	5.68	500.	.030	2.0	1.0
4	4.89	500.	.030	2.2	1.0
3	4.09	500.	.030	2.5	1.0
2	3.30	500.	.030	2.8	1.0
1	2.50	500.	.030	3.0	1.0

20 12 17.75

27.24,23.52,51.16,23.48,80.58,23.10,112.89,22.28,142.82,21.75,174.03,20.76,  
 185.43,18.78,197.85,17.75,208.61,18.90,214.99,22.13,228.30,30.45,241.14,30.83

19 12 17.15

-26.77,21.74, -10.47,21.81, 0.00,22.09,14.85,21.53,41.43,21.54,60.99,18.89,  
 81.76,17.75,121.09,17.15,146.24,18.69,151.25,23.34,166.32,29.07,190.66,28.95

18 9 16.83

-42.40,21.02, -10.12,21.42, 0.00,19.41, 8.83,18.19, 12.22,17.41, 45.67,16.83,  
74.87,17.46, 76.91,18.19, 94.59,28.86  
17 10 16.24  
-42.52,19.04, 0.00,18.64, 14.56,17.59, 17.27,16.81, 43.21,16.24, 83.30,16.62,  
138.61,16.73, 166.09,17.41, 188.34,19.12, 277.06,20.06  
16 15 14.40  
125.87,18.72,163.58,18.75,190.46,18.83,224.84,18.71,257.08,19.74,268.67,18.69,  
278.95,19.87,294.09,18.69,315.15,16.48,353.85,16.24,380.09,15.17,415.29,14.40,  
451.90,15.16, 488.92,14.62, 496.94,18.33  
15 14 12.46  
488.56,17.45,520.93,17.48,561.48,16.10,571.56,13.03,581.22,12.46,595.79,13.01,  
628.23,13.80,636.83,13.16,647.33,13.81,651.35,14.76,660.42,17.45,665.18,17.24,  
676.65,18.71, 684.14,18.78  
14 15 12.23  
388.21,16.46,391.39,16.25,396.52,15.10,400.77,15.21,404.98,14.30,409.14,14.29,  
411.20,15.12,415.16,15.07,427.35,12.67,453.16,12.23,480.15,12.66,485.18,16.27,  
491.31,17.22, 498.70,17.13, 514.75,17.35  
13 15 12.20  
203.73,15.72,236.43,15.03,256.64,13.70,270.21,12.66,277.02,12.45,309.44,12.20,  
350.09,12.47,363.13,12.76,372.09,13.45,377.46,13.89,387.60,12.68,389.24,13.68,  
390.92,14.66, 436.34,15.41, 488.52,16.05  
12 13 10.93  
-68.29,14.49, -59.70,12.98, -33.35,12.76, -30.65,11.44, 0.00,10.93, 37.12,11.46,  
42.99,11.85, 62.82,11.61, 85.71,11.99, 94.66,12.92, 105.34,12.53, 127.67,13.24,  
142.75,14.02  
11 10 10.20  
-34.42,12.76, 0.00,12.61, 7.22,12.08, 16.06,12.07, 19.22,10.59, 78.97,10.20,  
128.30,10.61, 133.72,13.39, 164.44,13.95, 181.85,13.95  
10 10 9.45  
-101.63,11.48, -79.67,11.12, -59.93,10.49, -19.88,10.35, -6.54,10.17, 0.00,9.67,  
25.56,9.45, 55.11,10.20, 60.61,13.24, 115.85,13.58  
9 9 9.12  
-158.71,11.54, -122.11,10.94, -120.36,9.71, -86.01,9.12, -50.86,9.67, 0.00,9.68,  
9.00,9.89, 47.57,10.45, 70.15,12.35  
8 11 8.11  
-110.84,10.99, -75.91,10.45, -72.82,10.03, -71.62,9.02, 0.00,8.89, 44.37,8.64,  
78.84,8.11, 115.00,8.62, 123.97,8.75, 129.62,11.19, 170.50,11.51  
7 9 7.67  
-63.30,10.13, 0.00,9.49, 6.67,9.57, 8.65,8.11, 67.68,7.67, 127.14,8.10,  
127.84,9.29, 131.60,10.48, 175.77,10.77  
6 9 6.95  
-101.83,9.58, -67.02,8.78, -43.00,7.35, 0.00,7.31, 52.84,7.14, 84.13,6.95,  
110.29,7.47, 112.04,9.09, 169.16,9.47  
5 11 6.08  
-113.16,8.79, -101.21,6.91, -77.64,6.88, -30.18,6.87, 0.00,6.94, 44.53,7.02,  
94.10,6.08, 125.60,7.01, 128.47,9.05, 147.69,8.98, 176.18,9.08  
4 9 5.28  
-101.83,7.91, -67.02,7.11, -43.00,5.68, 0.00,5.64, 52.84,5.47, 84.13,5.28,  
110.29,5.80, 112.04,7.42, 169.16,7.80  
3 11 4.49  
-113.16,7.20, -101.21,5.32, -77.64,5.29, -30.18,5.28, 0.00,5.35, 44.53,5.43,  
94.10,4.49, 125.60,5.42, 128.47,7.46, 147.69,7.39, 176.18,7.49  
2 9 3.69  
-101.29,6.32, -67.02,5.52, -43.00,4.09, 0.00,4.05, 52.84,3.88, 84.13,3.69,  
110.29,4.21, 112.04,5.83, 169.16,6.21  
1 11 2.90  
-113.16,5.61, -101.21,3.73, -77.64,3.70, -30.18,3.69, 0.00,3.76, 44.53,3.84,  
94.10,2.90, 125.60,3.83, 128.47,5.87, 147.69,5.80, 176.18,5.90

0.0 200.0 1.0 200.0 6.0 309.0 9.0 351.0 10.0 545.0 11.0 674.0  
12.0 721.0 13.0 413.0 14.0 332.0 17.0 220.0 18.0 200.0 30.0 200.0  
1 2  
0.0 5.5 12.0 5.5

TABLA VI.25. RESULTADOS DEL TRANSITO.

TRANSITO DE AVENIDA RIO TECPAN.

DT 225.00 N TRAMOS 20 INT SIMULAR 480 INT IMPRIME 16 NUM GASTO LATERAL 0

IDATOS 0 IGEOM 1 ILEECI 1 IMPRCF 0 NSEC 3

TIEMPO= 1.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.586	199.999
18	2.323	18.863	1.454	137.556	199.996
17	1.053	16.373	1.874	106.703	199.983
16	1.804	15.234	1.644	121.673	199.986
15	2.461	14.811	1.362	146.823	199.999
14	2.164	14.154	1.681	119.004	200.007
13	1.432	13.002	1.606	124.503	200.014
12	1.493	12.063	1.522	131.413	200.010
11	1.826	11.656	1.231	162.522	200.002
10	1.813	11.103	1.177	169.981	199.996
9	1.305	9.925	1.428	140.056	199.991
8	1.562	9.452	1.016	196.940	199.995
7	1.274	8.584	1.484	134.765	200.002
6	1.539	8.059	1.124	177.906	200.007
5	1.233	6.913	1.248	160.246	200.012
4	1.459	6.349	1.147	174.408	200.018
3	1.564	5.654	1.084	184.607	200.022
2	2.233	5.533	.737	271.248	200.024
1	3.000	5.500	.449	445.774	200.025

TIEMPO= 2.00 HORAS; GASTO= 221.800 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.188	19.638	5.172	42.887	221.800
19	2.480	19.470	1.457	151.862	221.236
18	2.362	18.902	1.548	142.285	220.250
17	1.108	16.428	1.935	113.556	219.743
16	1.895	15.325	1.681	130.123	218.730
15	2.543	14.893	1.410	153.703	216.794
14	2.213	14.203	1.749	123.217	215.490
13	1.490	13.060	1.641	130.682	214.496
12	1.543	12.113	1.549	137.566	213.036
11	1.867	11.697	1.266	167.148	211.654
10	1.839	11.129	1.204	174.560	210.252
9	1.331	9.951	1.454	143.825	209.160
8	1.585	9.475	1.032	200.884	207.339
7	1.290	8.600	1.505	136.594	205.578
6	1.548	8.068	1.138	179.485	204.281
5	1.241	6.921	1.257	161.605	203.146



4	1.463	6.353	1.153	175.058	201.920
3	1.565	5.655	1.087	185.012	201.187
2	2.234	5.534	.740	271.354	200.877
1	3.000	5.500	.450	445.805	200.791

TIEMPO= 3.00 HORAS; GASTO= 243.600 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.270	19.720	5.349	45.542	243.600
19	2.565	19.555	1.524	159.527	243.048
18	2.396	18.936	1.646	147.087	242.072
17	1.163	16.483	2.002	120.638	241.477
16	2.006	15.436	1.709	140.714	240.543
15	2.648	14.998	1.463	163.318	238.857
14	2.279	14.269	1.837	129.381	237.720
13	1.576	13.146	1.687	140.425	236.830
12	1.631	12.201	1.581	148.913	235.379
11	1.945	11.775	1.324	176.630	233.929
10	1.888	11.178	1.260	184.500	232.496
9	1.398	10.018	1.505	153.713	231.376
8	1.661	9.551	1.068	215.072	229.671
7	1.356	8.666	1.571	145.127	228.037
6	1.585	8.105	1.204	188.319	226.747
5	1.310	6.990	1.300	173.727	225.779
4	1.517	6.407	1.208	185.334	223.880
3	1.596	5.686	1.143	194.515	222.317
2	2.241	5.541	.806	274.661	221.336
1	3.000	5.500	.495	446.668	221.092

TIEMPO= 4.00 HORAS; GASTO= 265.400 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.348	19.798	5.517	48.107	265.400
19	2.646	19.636	1.587	166.859	264.869
18	2.426	18.966	1.741	151.616	263.928
17	1.220	16.540	2.063	127.655	263.374
16	2.112	15.542	1.735	151.244	262.461
15	2.748	15.098	1.512	172.482	260.846
14	2.343	14.333	1.920	135.324	259.757
13	1.656	13.226	1.728	149.770	258.870
12	1.713	12.283	1.609	159.981	257.427
11	2.018	11.848	1.379	185.589	256.001
10	1.935	11.225	1.311	194.190	254.629
9	1.462	10.082	1.552	163.331	253.539
8	1.733	9.623	1.101	228.688	251.895
7	1.418	8.728	1.634	153.227	250.332
6	1.620	8.140	1.266	196.731	249.100
5	1.376	7.056	1.338	185.470	248.104
4	1.571	6.461	1.259	195.591	246.302
3	1.630	5.720	1.196	204.703	244.847
2	2.250	5.550	.875	278.576	243.836
1	3.000	5.500	.544	447.693	243.574

TIEMPO= 5.00 HORAS; GASTO= 287.200 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.422	19.872	5.676	50.596	287.200
19	2.724	19.714	1.649	173.905	286.687
18	2.453	18.993	1.833	155.910	285.781
17	1.277	16.597	2.120	134.572	285.277
16	2.213	15.643	1.759	161.624	284.349
15	2.839	15.189	1.562	181.080	282.802
14	2.398	14.388	2.003	140.709	281.787
13	1.774	13.344	1.743	161.175	280.992
12	1.823	12.393	1.577	176.840	278.818
11	2.085	11.915	1.411	196.507	277.260
10	1.980	11.270	1.357	203.375	275.897
9	1.523	10.143	1.594	172.390	274.852
8	1.799	9.689	1.132	241.412	273.299
7	1.475	8.785	1.691	160.718	271.823
6	1.655	8.175	1.322	204.724	270.626
5	1.436	7.116	1.373	196.384	269.614
4	1.618	6.508	1.306	204.685	267.408
3	1.663	5.753	1.242	213.804	265.563
2	2.258	5.558	.936	282.275	264.221
1	3.000	5.500	.588	448.692	263.843

TIEMPO= 6.00 HORAS; GASTO= 309.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.493	19.943	5.829	53.012	309.000
19	2.798	19.788	1.707	180.683	308.498
18	2.479	19.019	1.923	160.001	307.606
17	1.336	16.656	2.171	141.401	307.018
16	2.308	15.738	1.778	171.941	305.679
15	2.925	15.275	1.608	189.388	304.522
14	2.449	14.439	2.081	145.917	303.648
13	1.867	13.437	1.770	171.139	302.934
12	1.902	12.472	1.575	191.333	301.296
11	2.153	11.983	1.457	205.683	299.743
10	2.026	11.316	1.402	212.896	298.420
9	1.585	10.205	1.636	181.727	297.356
8	1.867	9.757	1.163	254.298	295.727
7	1.532	8.842	1.749	168.209	294.197
6	1.691	8.211	1.377	212.717	293.015
5	1.496	7.176	1.406	207.637	291.957
4	1.667	6.557	1.354	214.401	290.243
3	1.701	5.791	1.289	224.152	288.886
2	2.269	5.569	1.003	286.832	287.790
1	3.000	5.500	.639	449.959	287.477

TIEMPO= 7.00 HORAS; GASTO= 323.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.531	19.981	5.939	54.389	323.000

19	2.832	19.822	1.751	184.323	322.733
18	2.458	18.998	2.002	160.989	322.322
17	1.416	16.736	2.183	147.805	322.724
16	2.379	15.809	1.757	183.022	321.534
15	2.988	15.338	1.639	195.481	320.370
14	2.488	14.478	2.134	149.768	319.649
13	1.912	13.482	1.802	177.068	319.043
12	1.959	12.529	1.584	200.888	318.247
11	2.203	12.033	1.491	212.767	317.305
10	2.061	11.351	1.436	220.514	316.579
9	1.637	10.257	1.667	189.619	316.074
8	1.925	9.815	1.187	265.732	315.306
7	1.582	8.892	1.798	174.973	314.558
6	1.724	8.244	1.426	220.198	313.912
5	1.552	7.232	1.436	218.181	313.300
4	1.711	6.601	1.397	223.270	311.989
3	1.738	5.828	1.330	233.722	310.869
2	2.279	5.579	1.064	291.249	309.853
1	3.000	5.500	.686	451.227	309.550

TIEMPO= 8.00 HORAS; GASTO= 337.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.571	20.021	6.044	55.755	337.000
19	2.871	19.861	1.791	187.982	336.714
18	2.451	18.991	2.071	162.349	336.237
17	1.476	16.796	2.198	153.032	336.305
16	2.439	15.869	1.741	192.606	335.276
15	3.042	15.392	1.665	200.751	334.229
14	2.522	14.512	2.178	153.185	333.613
13	1.943	13.513	1.834	181.616	333.108
12	2.005	12.575	1.600	207.794	332.453
11	2.243	12.073	1.520	218.155	331.500
10	2.089	11.379	1.461	226.293	330.690
9	1.675	10.295	1.691	195.213	330.012
8	1.964	9.854	1.204	273.275	329.023
7	1.614	8.924	1.831	179.257	328.131
6	1.745	8.265	1.456	224.869	327.456
5	1.586	7.266	1.454	224.742	326.830
4	1.739	6.629	1.424	228.828	325.881
3	1.762	5.852	1.355	239.966	325.128
2	2.287	5.587	1.102	294.291	324.440
1	3.000	5.500	.717	452.121	324.230

TIEMPO= 9.00 HORAS; GASTO= 351.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.611	20.061	6.142	57.148	351.000
19	2.911	19.901	1.829	191.745	350.713
18	2.450	18.990	2.136	164.002	350.227
17	1.532	16.852	2.214	158.198	350.219
16	2.499	15.929	1.727	202.214	349.242
15	3.095	15.445	1.691	205.905	348.163
14	2.556	14.546	2.220	156.521	347.549

13	1.973	13.543	1.866	186.030	347.045
12	2.048	12.618	1.615	214.491	346.377
11	2.280	12.110	1.547	223.362	345.443
10	2.116	11.406	1.486	231.986	344.655
9	1.712	10.332	1.713	200.841	343.996
8	2.003	9.893	1.221	280.960	343.033
7	1.647	8.957	1.863	183.622	342.164
6	1.768	8.288	1.487	229.711	341.500
5	1.620	7.300	1.473	231.369	340.860
4	1.766	6.656	1.451	234.228	339.892
3	1.786	5.876	1.379	245.922	339.123
2	2.294	5.594	1.139	297.213	338.417
1	3.000	5.500	.747	452.997	338.195

TIEMPO= 10.00 HORAS; GASTO= 545.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	3.115	20.565	7.278	74.882	545.000
19	3.464	20.454	2.255	240.028	541.382
18	2.697	19.237	2.734	195.745	535.140
17	1.929	17.249	2.537	209.403	531.186
16	3.151	16.581	1.814	288.271	522.820
15	3.667	16.017	1.956	260.183	508.805
14	2.903	14.893	2.596	193.331	501.914
13	2.286	13.856	2.162	229.332	495.816
12	2.471	13.041	1.759	276.408	486.131
11	2.572	12.402	1.749	265.567	464.445
10	2.362	11.652	1.637	277.958	455.061
9	1.983	10.603	1.845	242.698	447.737
8	2.311	10.201	1.304	331.088	431.786
7	1.800	9.110	1.980	208.205	412.333
6	1.868	8.388	1.616	247.883	400.503
5	1.733	7.413	1.554	252.363	392.221
4	1.847	6.737	1.541	248.822	383.369
3	1.847	5.937	1.450	259.993	377.050
2	2.313	5.613	1.224	303.581	371.635
1	3.000	5.500	.813	454.948	369.835

TIEMPO= 11.00 HORAS; GASTO= 674.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	3.428	20.878	7.504	89.822	674.000
19	3.772	20.762	2.465	272.361	671.385
18	2.801	19.341	3.115	214.363	667.641
17	2.238	17.558	2.673	248.959	665.417
16	3.613	17.043	1.829	360.654	659.460
15	4.022	16.372	2.132	305.517	651.225
14	3.160	15.150	2.916	221.873	646.883
13	2.597	14.167	2.362	272.248	643.146
12	3.038	13.608	1.729	368.370	636.837
11	2.910	12.740	1.728	362.311	626.253
10	2.676	11.966	1.790	345.125	617.737
9	2.443	11.063	1.892	322.629	610.375
8	2.796	10.686	1.372	437.542	600.278

7	2.169	9.479	2.095	282.042	591.012
6	2.146	8.666	1.888	309.217	583.946
5	2.131	7.811	1.737	332.578	577.646
4	2.160	7.050	1.810	314.234	568.829
3	2.216	6.306	1.657	338.777	561.309
2	2.432	5.732	1.562	351.758	549.594
1	3.000	5.500	1.164	468.716	545.433

TIEMPO= 12.00 HORAS; GASTO= 721.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	3.548	20.998	7.437	96.943	721.000
19	3.876	20.866	2.525	285.117	720.009
18	2.827	19.367	3.255	220.792	718.686
17	2.366	17.686	2.703	265.613	717.863
16	3.788	17.218	1.829	391.381	715.681
15	4.165	16.515	2.188	325.731	712.812
14	3.303	15.293	3.015	235.874	711.229
13	2.725	14.295	2.409	294.502	709.434
12	3.201	13.771	1.764	401.083	707.348
11	3.059	12.889	1.720	409.194	703.973
10	2.827	12.117	1.844	380.110	700.858
9	2.647	11.267	1.913	365.018	698.313
8	3.002	10.892	1.419	489.864	695.222
7	2.432	9.742	2.090	331.221	692.350
6	2.308	8.828	1.938	355.279	688.557
5	2.424	8.104	1.764	388.722	685.781
4	2.340	7.230	1.855	367.015	680.736
3	2.458	6.548	1.729	391.577	676.926
2	2.529	5.829	1.700	394.912	671.375
1	3.000	5.500	1.391	480.824	668.812

TIEMPO= 13.00 HORAS; GASTO= 413.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.815	20.265	6.211	66.497	413.000
19	3.115	20.105	1.935	216.637	419.159
18	2.502	19.042	2.415	177.999	429.907
17	1.723	17.043	2.349	185.653	436.123
16	2.980	16.410	1.665	270.187	449.980
15	3.552	15.902	1.843	255.854	471.495
14	2.829	14.819	2.519	191.402	482.204
13	2.303	13.873	2.097	234.573	491.947
12	2.749	13.319	1.573	323.119	508.199
11	2.741	12.571	1.654	322.994	534.223
10	2.559	11.849	1.693	326.147	552.148
9	2.406	11.026	1.788	318.298	569.047
8	2.789	10.679	1.321	446.684	589.866
7	2.255	9.565	2.021	301.501	609.203
6	2.218	8.738	1.879	335.269	629.897
5	2.358	8.038	1.698	378.863	643.237
4	2.316	7.206	1.812	364.410	660.282
3	2.464	6.554	1.694	395.738	670.488
2	2.537	5.837	1.691	401.793	679.438

1 3.000 5.500 1.415 483.263 683.636

TIEMPO= 14.00 HORAS; GASTO= 332.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.560	20.010	5.930	55.984	332.000
19	2.852	19.842	1.772	188.322	333.730
18	2.410	18.950	2.091	161.073	336.834
17	1.502	16.822	2.179	155.467	338.756
16	2.503	15.933	1.692	203.767	344.763
15	3.107	15.457	1.682	208.674	351.004
14	2.566	14.556	2.232	158.649	354.058
13	1.989	13.559	1.878	189.985	356.781
12	2.107	12.677	1.611	224.752	362.120
11	2.339	12.169	1.578	233.120	367.769
10	2.159	11.449	1.529	243.286	372.072
9	1.836	10.456	1.724	217.851	375.641
8	2.189	10.079	1.208	316.013	381.728
7	1.753	9.063	1.903	204.438	389.014
6	1.841	8.361	1.587	247.867	393.417
5	1.761	7.441	1.528	260.388	397.926
4	1.886	6.776	1.561	261.023	407.438
3	1.937	6.027	1.467	283.162	415.374
2	2.345	5.645	1.337	319.974	427.921
1	3.000	5.500	.938	460.130	431.780

TIEMPO= 15.00 HORAS; GASTO= 294.667 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.454	19.904	5.664	52.023	294.667
19	2.755	19.745	1.661	177.788	295.325
18	2.462	19.002	1.877	157.828	296.250
17	1.295	16.615	2.141	137.477	294.337
16	2.283	15.713	1.746	169.551	296.118
15	2.911	15.261	1.587	189.437	300.557
14	2.442	14.432	2.073	146.201	303.012
13	1.877	13.447	1.764	172.861	304.846
12	1.931	12.501	1.559	196.944	307.109
11	2.184	12.014	1.469	211.020	309.906
10	2.048	11.338	1.425	219.067	312.120
9	1.636	10.256	1.656	189.509	313.789
8	1.929	9.819	1.181	267.480	316.011
7	1.591	8.901	1.801	176.627	318.019
6	1.728	8.248	1.438	222.305	319.590
5	1.575	7.255	1.440	222.870	320.872
4	1.734	6.624	1.415	228.679	323.523
3	1.766	5.856	1.349	241.547	325.870
2	2.288	5.588	1.112	295.713	328.727
1	3.000	5.500	.728	452.522	329.607

TIEMPO= 16.00 HORAS; GASTO= 257.333 M3/S

TRAMO	TIRANTE	COTA AGUA	VELOCIDAD	AREA	GASTO ENTRADA
-------	---------	-----------	-----------	------	---------------

	M	M	M/S	M2	AL TRAMO M3/S
20	2.327	19.777	5.380	47.832	257.333
19	2.624	19.614	1.555	166.043	258.232
18	2.416	18.956	1.721	150.996	259.793
17	1.205	16.525	2.053	126.897	260.514
16	2.125	15.555	1.717	152.740	262.191
15	2.764	15.114	1.512	175.284	265.027
14	2.348	14.338	1.947	137.070	266.885
13	1.730	13.300	1.712	156.728	268.342
12	1.808	12.378	1.558	174.549	271.893
11	2.080	11.910	1.395	196.687	274.377
10	1.975	11.265	1.355	204.083	276.583
9	1.539	10.159	1.591	174.937	278.371
8	1.826	9.716	1.134	247.771	281.011
7	1.506	8.816	1.714	165.400	283.421
6	1.673	8.193	1.357	210.193	285.234
5	1.487	7.167	1.391	206.260	286.825
4	1.665	6.555	1.346	214.890	289.181
3	1.706	5.796	1.287	226.062	291.002
2	2.270	5.570	1.015	288.115	292.535
1	3.000	5.500	.651	450.297	292.974

TIEMPO= 17.00 HORAS; GASTO= 220.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.190	19.640	5.068	43.412	220.000
19	2.483	19.473	1.440	153.418	220.976
18	2.365	18.905	1.554	143.337	222.676
17	1.108	16.428	1.947	114.931	223.713
16	1.947	15.377	1.669	134.960	225.255
15	2.601	14.951	1.424	160.208	228.122
14	2.251	14.241	1.802	127.692	230.079
13	1.559	13.129	1.667	139.007	231.678
12	1.635	12.205	1.563	149.765	234.018
11	1.957	11.787	1.320	178.971	236.274
10	1.893	11.183	1.273	187.425	238.538
9	1.432	10.052	1.513	158.923	240.465
8	1.713	9.603	1.078	226.406	244.129
7	1.413	8.723	1.616	153.251	247.604
6	1.615	8.135	1.267	197.362	250.085
5	1.393	7.073	1.335	188.752	252.051
4	1.591	6.481	1.271	200.355	254.674
3	1.650	5.740	1.217	210.922	256.668
2	2.255	5.555	.917	281.473	258.164
1	3.000	5.500	.577	448.431	258.564

TIEMPO= 18.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.107	19.557	4.917	40.677	200.000
19	2.398	19.388	1.379	145.456	200.571
18	2.326	18.866	1.458	138.225	201.595
17	1.056	16.376	1.882	107.614	202.496



16	1.827	15.257	1.643	123.735	203.248
15	2.486	14.836	1.370	149.414	204.687
14	2.178	14.168	1.704	120.705	205.684
13	1.459	13.029	1.617	127.684	206.438
12	1.530	12.100	1.528	136.098	207.917
11	1.863	11.693	1.252	167.267	209.351
10	1.835	11.125	1.204	175.079	210.761
9	1.343	9.963	1.453	145.741	211.809
8	1.609	9.499	1.035	206.137	213.260
7	1.319	8.629	1.525	140.738	214.653
6	1.560	8.080	1.173	183.993	215.801
5	1.288	6.968	1.276	169.783	216.562
4	1.507	6.397	1.188	183.954	218.622
3	1.594	5.684	1.134	194.465	220.426
2	2.240	5.540	.806	274.903	221.648
1	3.000	5.500	.497	446.677	221.949

TIEMPO= 19.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.400	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.609	200.014
18	2.323	18.863	1.454	137.594	200.055
17	1.054	16.374	1.875	106.803	200.234
16	1.804	15.234	1.645	121.673	200.124
15	2.461	14.811	1.363	146.739	199.949
14	2.163	14.153	1.681	118.929	199.863
13	1.431	13.001	1.606	124.427	199.813
12	1.493	12.063	1.521	131.441	199.953
11	1.827	11.657	1.230	162.604	200.074
10	1.813	11.103	1.177	170.090	200.157
9	1.306	9.926	1.429	140.118	200.169
8	1.562	9.452	1.016	196.948	200.072
7	1.274	8.584	1.484	134.784	200.023
6	1.537	8.057	1.125	177.811	200.099
5	1.234	6.914	1.247	160.360	199.995
4	1.461	6.351	1.147	174.959	200.663
3	1.566	5.656	1.086	185.437	201.422
2	2.234	5.534	.744	271.581	201.937
1	3.000	5.500	.453	445.840	202.052

TIEMPO= 20.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.396	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.591	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.566	199.998
17	1.053	16.373	1.874	106.705	199.999
16	1.804	15.234	1.644	121.651	199.957
15	2.461	14.811	1.362	146.803	199.957
14	2.163	14.153	1.681	118.993	199.972
13	1.432	13.002	1.606	124.504	199.995
12	1.493	12.063	1.522	131.429	200.027
11	1.826	11.656	1.231	162.534	200.029



10	1.813	11.103	1.177	169.990	200.017
9	1.305	9.925	1.428	140.053	199.995
8	1.562	9.452	1.016	196.927	199.982
7	1.274	8.584	1.484	134.760	199.985
6	1.539	8.059	1.124	177.906	199.997
5	1.233	6.913	1.248	160.246	200.013
4	1.459	6.349	1.147	174.400	200.009
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.002
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.997
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.996

TIEMPO= 21.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.586	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	199.997
17	1.053	16.373	1.874	106.706	199.991
16	1.804	15.234	1.644	121.674	199.992
15	2.461	14.811	1.362	146.821	199.998
14	2.164	14.154	1.681	119.002	200.004
13	1.432	13.002	1.606	124.500	200.008
12	1.493	12.063	1.522	131.412	200.006
11	1.826	11.656	1.231	162.523	200.002
10	1.813	11.103	1.177	169.983	199.997
9	1.305	9.925	1.428	140.057	199.994
8	1.562	9.452	1.016	196.940	199.997
7	1.274	8.584	1.484	134.764	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.905	200.003
5	1.233	6.913	1.248	160.240	200.003
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.594	199.998
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.998
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.998

TIEMPO= 22.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.586	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	199.998
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.000
15	2.461	14.811	1.362	146.820	200.002
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.002
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.410	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	199.999
10	1.813	11.103	1.177	169.986	199.999
9	1.305	9.925	1.428	140.059	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.940	199.999
7	1.274	8.584	1.484	134.763	199.999
6	1.539	8.059	1.124	177.902	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.237	199.998

4	1.459	6.349	1.147	174.397	199.999
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 23.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.001
17	1.053	16.373	1.874	106.711	200.001
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.002
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.000
14	2.164	14.154	1.681	118.999	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.496	200.000
12	1.493	12.063	1.522	131.410	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	199.999
6	1.539	8.059	1.124	177.903	199.999
5	1.233	6.913	1.248	160.238	199.999
4	1.459	6.349	1.147	174.397	199.999
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.998

TIEMPO= 24.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.001
17	1.053	16.373	1.874	106.711	200.002
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.003
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.001
14	2.164	14.154	1.681	118.999	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.496	199.999
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.001
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.001

TIEMPO= 25.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	199.999
16	1.804	15.234	1.644	121.675	199.998
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.411	200.001
11	1.826	11.656	1.231	162.525	200.001
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.001
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.001
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 26.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.709	199.998
16	1.804	15.234	1.644	121.675	199.998
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.000
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.412	200.002
11	1.826	11.656	1.231	162.525	200.002
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.002
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.001
8	1.562	9.452	1.016	196.941	200.001
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.001
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.001
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.001
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.001
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.001

TIEMPO= 27.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000

19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.001
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.001
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.001
13	1.432	13.002	1.606	124.496	200.000
12	1.493	12.063	1.522	131.410	199.999
11	1.826	11.656	1.231	162.524	200.000
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	199.999
3	1.564	5.654	1.083	184.595	199.999
2	2.233	5.533	.737	271.243	199.999
1	3.000	5.500	.449	445.773	199.999

TIEMPO= 28.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.395	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.001
17	1.053	16.373	1.874	106.711	200.001
16	1.804	15.234	1.644	121.676	200.000
15	2.461	14.811	1.362	146.819	199.999
14	2.164	14.154	1.681	118.999	199.999
13	1.432	13.002	1.606	124.496	199.999
12	1.493	12.063	1.522	131.410	199.999
11	1.826	11.656	1.231	162.524	199.999
10	1.813	11.103	1.177	169.986	200.000
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.238	199.999
4	1.459	6.349	1.147	174.397	199.999
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 29.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.001
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.001
15	2.461	14.811	1.362	146.819	200.001
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.001

13	1.432	13.002	1.606	124.496	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.410	199.999
11	1.826	11.656	1.231	162.524	199.999
10	1.813	11.103	1.177	169.986	199.999
9	1.305	9.925	1.428	140.060	200.000
8	1.562	9.452	1.016	196.940	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.000
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.000
4	1.459	6.349	1.147	174.397	200.000
3	1.564	5.654	1.083	184.595	200.000
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.000
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

TIEMPO= 30.00 HORAS; GASTO= 200.000 M3/S

TRAMO	TIRANTE M	COTA AGUA M	VELOCIDAD M/S	AREA M2	GASTO ENTRADA AL TRAMO M3/S
20	2.104	19.554	4.951	40.394	200.000
19	2.393	19.383	1.383	144.587	200.000
18	2.323	18.863	1.454	137.557	200.000
17	1.053	16.373	1.874	106.710	200.000
16	1.804	15.234	1.644	121.677	200.000
15	2.461	14.811	1.362	146.820	200.001
14	2.164	14.154	1.681	119.000	200.001
13	1.432	13.002	1.606	124.497	200.001
12	1.493	12.063	1.522	131.410	200.000
11	1.826	11.656	1.231	162.524	199.999
10	1.813	11.103	1.177	169.985	199.999
9	1.305	9.925	1.428	140.060	199.999
8	1.562	9.452	1.016	196.941	200.000
7	1.274	8.584	1.484	134.763	200.000
6	1.539	8.059	1.124	177.903	200.001
5	1.233	6.913	1.248	160.239	200.001
4	1.459	6.349	1.147	174.398	200.001
3	1.564	5.654	1.083	184.596	200.001
2	2.233	5.533	.737	271.244	200.001
1	3.000	5.500	.449	445.773	200.000

RESUMEN DE MAXIMOS

TRAMO	GASTO	TIEMPO	COTA DEL AGUA	TIEMPO
20	721.0	12.00	21.00	12.00
19	720.0	12.00	20.87	12.00
18	718.7	12.00	19.37	12.00
17	718.7	12.06	17.69	12.06
16	717.7	12.06	17.22	12.06
15	715.6	12.13	16.52	12.06
14	715.6	12.13	15.30	12.13
13	714.6	12.13	14.31	12.19
12	714.2	12.19	13.79	12.19
11	712.8	12.25	12.91	12.25
10	711.5	12.25	12.14	12.31
9	711.0	12.31	11.30	12.38
8	709.7	12.38	10.92	12.38
7	709.1	12.44	9.78	12.44
6	708.0	12.50	8.86	12.50
5	707.4	12.50	8.16	12.56
4	706.5	12.56	7.27	12.63

3	706.2	12.63	6.60	12.63
2	705.8	12.69	5.86	12.69
1	705.5	12.69	5.50	.06

TABLA VI.26. RESULTADOS DE LOS HIDROGRAMAS.

TIEMPO	H-20	Q-20	H-13	Q-13	H-5	Q-5
.00	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
.06	19.55	200.00	13.00	200.13	6.91	200.07
.13	19.55	200.00	13.00	199.97	6.91	199.99
.19	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.02
.25	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	199.99
.31	19.55	200.00	13.00	200.02	6.91	200.01
.38	19.55	200.00	13.00	200.03	6.91	200.00
.44	19.55	200.00	13.00	200.03	6.91	200.02
.50	19.55	200.00	13.00	200.02	6.91	200.02
.56	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.03
.63	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.03
.69	19.55	200.00	13.00	199.98	6.91	200.03
.75	19.55	200.00	13.00	199.98	6.91	200.03
.81	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.02
.88	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.02
.94	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.02
1.00	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.01
1.06	19.56	201.36	13.00	200.01	6.91	200.01
1.13	19.56	202.73	13.00	200.00	6.91	200.00
1.19	19.57	204.09	13.00	200.02	6.91	200.00
1.25	19.57	205.45	13.00	200.13	6.91	199.99
1.31	19.58	206.81	13.00	200.46	6.91	199.99
1.38	19.58	208.18	13.01	201.13	6.91	200.00
1.44	19.59	209.54	13.01	202.17	6.91	200.00
1.50	19.59	210.90	13.01	203.55	6.91	200.01
1.56	19.60	212.26	13.02	205.13	6.91	200.03
1.63	19.61	213.63	13.03	206.72	6.91	200.08
1.69	19.61	214.99	13.03	208.20	6.91	200.19
1.75	19.62	216.35	13.04	209.52	6.91	200.39
1.81	19.62	217.71	13.05	210.72	6.91	200.75
1.88	19.63	219.07	13.05	211.90	6.92	201.31
1.94	19.63	220.44	13.06	213.14	6.92	202.11
2.00	19.64	221.80	13.06	214.50	6.92	203.15
2.06	19.64	223.16	13.07	215.95	6.92	204.40
2.13	19.65	224.52	13.07	217.48	6.93	205.81
2.19	19.65	225.89	13.08	219.00	6.93	207.30
2.25	19.66	227.25	13.08	220.46	6.94	208.81
2.31	19.66	228.61	13.09	221.84	6.94	210.30
2.38	19.67	229.98	13.09	223.15	6.95	211.73
2.44	19.67	231.34	13.10	224.44	6.95	213.11
2.50	19.68	232.70	13.10	225.76	6.96	214.48
2.56	19.68	234.06	13.11	227.13	6.96	215.86
2.63	19.69	235.43	13.11	228.55	6.96	217.25
2.69	19.69	236.79	13.12	229.98	6.97	218.68
2.75	19.70	238.15	13.13	231.41	6.97	220.12
2.81	19.70	239.51	13.13	232.80	6.98	221.55
2.88	19.71	240.87	13.14	234.15	6.98	222.98
2.94	19.72	242.24	13.14	235.49	6.99	224.39
3.00	19.72	243.60	13.15	236.83	6.99	225.78
3.06	19.73	244.96	13.15	238.19	6.99	227.17
3.13	19.73	246.32	13.16	239.57	7.00	228.55
3.19	19.73	247.69	13.16	240.97	7.00	229.95
3.25	19.74	249.05	13.17	242.37	7.01	231.35
3.31	19.74	250.41	13.17	243.76	7.01	232.76
3.38	19.75	251.78	13.18	245.13	7.02	234.16
3.44	19.75	253.14	13.18	246.50	7.02	235.55



3.50	19.76	254.50	13.19	247.86	7.02	236.94
3.56	19.76	255.86	13.19	249.23	7.03	238.33
3.63	19.77	257.23	13.20	250.60	7.03	239.72
3.69	19.77	258.59	13.20	251.99	7.04	241.12
3.75	19.78	259.95	13.21	253.37	7.04	242.52
3.81	19.78	261.31	13.21	254.75	7.04	243.92
3.88	19.79	262.67	13.22	256.13	7.05	245.31
3.94	19.79	264.04	13.22	257.50	7.05	246.71
4.00	19.80	265.40	13.23	258.87	7.06	248.10
4.06	19.80	266.76	13.23	260.24	7.06	249.50
4.13	19.81	268.13	13.24	261.60	7.06	250.89
4.19	19.81	269.49	13.24	262.71	7.07	252.28
4.25	19.82	270.85	13.25	264.44	7.07	253.66
4.31	19.82	272.21	13.26	266.13	7.08	254.98
4.38	19.83	273.58	13.27	267.53	7.08	256.11
4.44	19.83	274.94	13.28	268.89	7.08	256.96
4.50	19.84	276.30	13.29	270.19	7.08	257.59
4.56	19.84	277.66	13.30	271.50	7.09	258.27
4.63	19.84	279.02	13.30	272.82	7.09	259.21
4.69	19.85	280.39	13.31	274.16	7.09	260.53
4.75	19.85	281.75	13.32	275.52	7.10	262.21
4.81	19.86	283.11	13.32	276.89	7.10	264.11
4.88	19.86	284.48	13.33	278.26	7.11	266.06
4.94	19.87	285.84	13.34	279.63	7.11	267.92
5.00	19.87	287.20	13.34	280.99	7.12	269.61
5.06	19.88	288.56	13.35	282.36	7.12	271.14
5.13	19.88	289.92	13.36	283.72	7.12	272.55
5.19	19.89	291.29	13.36	285.09	7.13	273.87
5.25	19.89	292.65	13.37	286.46	7.13	275.18
5.31	19.89	294.01	13.38	287.83	7.14	276.50
5.38	19.90	295.38	13.38	289.21	7.14	277.85
5.44	19.90	296.74	13.39	290.69	7.14	279.23
5.50	19.91	298.10	13.39	292.07	7.15	280.62
5.56	19.91	299.46	13.40	293.45	7.15	282.03
5.63	19.92	300.83	13.41	294.81	7.15	283.43
5.69	19.92	302.19	13.41	296.21	7.16	284.84
5.75	19.93	303.55	13.42	297.53	7.16	286.25
5.81	19.93	304.91	13.42	298.89	7.16	287.66
5.88	19.93	306.27	13.43	300.24	7.17	289.08
5.94	19.94	307.64	13.43	301.60	7.17	290.51
6.00	19.94	309.00	13.44	302.93	7.18	291.96
6.06	19.95	309.88	13.44	304.18	7.18	293.41
6.13	19.95	310.75	13.45	305.32	7.18	294.85
6.19	19.95	311.63	13.45	306.52	7.19	296.29
6.25	19.95	312.50	13.45	307.85	7.19	297.72
6.31	19.95	313.38	13.46	309.25	7.20	299.12
6.38	19.96	314.25	13.46	310.63	7.20	300.49
6.44	19.96	315.13	13.47	311.89	7.20	301.83
6.50	19.96	316.00	13.47	313.03	7.21	303.14
6.56	19.96	316.88	13.47	313.74	7.21	304.42
6.63	19.97	317.75	13.47	314.40	7.21	305.71
6.69	19.97	318.63	13.47	314.96	7.22	307.01
6.75	19.97	319.50	13.47	315.59	7.22	308.35
6.81	19.97	320.38	13.48	316.30	7.22	309.69
6.88	19.98	321.25	13.48	317.13	7.23	311.01
6.94	19.98	322.13	13.48	318.06	7.23	312.22
7.00	19.98	323.00	13.48	319.04	7.23	313.30
7.06	19.98	323.88	13.48	320.04	7.23	314.22
7.13	19.99	324.75	13.49	321.00	7.24	315.00
7.19	19.99	325.63	13.49	321.92	7.24	315.71



7.25	19.99	326.50	13.49	322.78	7.24	316.40
7.31	19.99	327.38	13.49	323.61	7.24	317.13
7.38	20.00	328.25	13.49	324.42	7.24	317.92
7.44	20.00	329.13	13.50	325.24	7.25	318.79
7.50	20.00	330.00	13.50	326.08	7.25	319.71
7.56	20.00	330.88	13.50	326.94	7.25	320.67
7.63	20.01	331.75	13.50	327.82	7.25	321.62
7.69	20.01	332.63	13.50	328.72	7.26	322.54
7.75	20.01	333.50	13.51	329.61	7.26	323.44
7.81	20.01	334.38	13.51	330.50	7.26	324.30
7.88	20.02	335.25	13.51	331.38	7.26	325.15
7.94	20.02	336.13	13.51	332.25	7.26	325.99
8.00	20.02	337.00	13.51	333.11	7.27	326.83
8.06	20.02	337.88	13.51	333.97	7.27	327.69
8.13	20.03	338.75	13.52	334.83	7.27	328.56
8.19	20.03	339.63	13.52	335.70	7.27	329.45
8.25	20.03	340.50	13.52	336.57	7.27	330.34
8.31	20.03	341.38	13.52	337.44	7.28	331.23
8.38	20.04	342.25	13.52	338.32	7.28	332.11
8.44	20.04	343.13	13.53	339.20	7.28	332.99
8.50	20.04	344.00	13.53	340.07	7.28	333.86
8.56	20.04	344.88	13.53	340.94	7.29	334.73
8.63	20.05	345.75	13.53	341.81	7.29	335.60
8.69	20.05	346.63	13.53	342.68	7.29	336.48
8.75	20.05	347.50	13.54	343.55	7.29	337.35
8.81	20.05	348.38	13.54	344.43	7.29	338.23
8.88	20.06	349.25	13.54	345.30	7.30	339.10
8.94	20.06	350.13	13.54	346.17	7.30	339.98
9.00	20.06	351.00	13.54	347.04	7.30	340.86
9.06	20.08	363.13	13.54	347.92	7.30	341.74
9.13	20.12	375.25	13.55	348.88	7.30	342.61
9.19	20.15	387.38	13.55	350.29	7.31	343.49
9.25	20.19	399.50	13.56	353.06	7.31	344.37
9.31	20.22	411.63	13.57	358.62	7.31	345.25
9.38	20.25	423.75	13.59	368.46	7.31	346.15
9.44	20.29	435.88	13.62	380.49	7.32	347.13
9.50	20.32	448.00	13.64	389.77	7.32	348.31
9.56	20.35	460.13	13.66	401.72	7.32	349.99
9.63	20.39	472.25	13.69	415.90	7.33	352.61
9.69	20.42	484.38	13.72	430.18	7.34	356.69
9.75	20.45	496.50	13.75	445.09	7.35	362.57
9.81	20.48	508.63	13.78	458.24	7.36	369.71
9.88	20.51	520.75	13.80	470.57	7.38	376.38
9.94	20.54	532.88	13.83	482.01	7.39	383.09
10.00	20.56	545.00	13.86	495.82	7.41	392.22
10.06	20.59	553.06	13.88	507.71	7.44	403.90
10.13	20.61	561.13	13.91	520.62	7.47	418.05
10.19	20.63	569.19	13.93	532.49	7.50	431.36
10.25	20.65	577.25	13.96	543.57	7.53	444.06
10.31	20.67	585.31	13.98	553.32	7.55	455.99
10.38	20.69	593.38	14.00	562.02	7.58	467.39
10.44	20.71	601.44	14.02	570.20	7.61	478.82
10.50	20.72	609.50	14.03	578.14	7.63	490.45
10.56	20.74	617.56	14.05	586.11	7.66	502.26
10.63	20.76	625.63	14.07	594.20	7.68	514.18
10.69	20.78	633.69	14.08	602.34	7.71	525.92
10.75	20.80	641.75	14.10	610.53	7.73	537.31
10.81	20.82	649.81	14.12	618.70	7.75	548.19
10.88	20.84	657.88	14.13	626.86	7.77	558.51
10.94	20.86	665.94	14.15	635.01	7.79	568.30

11.00	20.88	674.00	14.17	643.15	7.81	577.65
11.06	20.89	676.94	14.18	651.27	7.83	586.04
11.13	20.90	679.88	14.20	657.62	7.86	594.91
11.19	20.91	682.81	14.21	664.91	7.88	602.97
11.25	20.91	685.75	14.22	671.20	7.90	609.56
11.31	20.92	688.69	14.23	676.08	7.92	617.30
11.38	20.93	691.63	14.24	680.08	7.94	624.87
11.44	20.94	694.56	14.25	683.30	7.96	632.81
11.50	20.94	697.50	14.25	686.17	7.98	640.65
11.56	20.95	700.44	14.26	688.96	8.00	648.27
11.63	20.96	703.38	14.26	691.77	8.02	655.47
11.69	20.96	706.31	14.27	694.64	8.04	662.09
11.75	20.97	709.25	14.27	697.57	8.06	668.06
11.81	20.98	712.19	14.28	700.52	8.07	673.35
11.88	20.98	715.13	14.28	703.49	8.08	678.00
11.94	20.99	718.06	14.29	706.46	8.09	682.11
12.00	21.00	721.00	14.30	709.43	8.10	685.78
12.06	20.97	701.75	14.30	712.32	8.11	689.14
12.13	20.93	682.50	14.30	714.64	8.12	692.28
12.19	20.89	663.25	14.31	714.47	8.13	695.29
12.25	20.84	644.00	14.30	709.11	8.13	698.24
12.31	20.80	624.75	14.28	698.00	8.14	701.11
12.38	20.75	605.50	14.26	683.00	8.15	703.82
12.44	20.70	586.25	14.23	665.56	8.15	706.05
12.50	20.66	567.00	14.20	646.69	8.16	707.41
12.56	20.61	547.75	14.16	627.30	8.16	707.31
12.63	20.56	528.50	14.12	603.43	8.16	705.23
12.69	20.51	509.25	14.08	584.53	8.15	700.75
12.75	20.47	490.00	14.04	566.11	8.14	693.69
12.81	20.42	470.75	14.00	547.28	8.12	684.09
12.88	20.37	451.50	13.96	529.07	8.10	672.19
12.94	20.32	432.25	13.92	510.51	8.07	658.40
13.00	20.27	413.00	13.87	491.95	8.04	643.24
13.06	20.24	407.94	13.83	473.44	8.00	627.16
13.13	20.22	402.88	13.78	455.05	7.96	610.46
13.19	20.21	397.81	13.74	437.35	7.92	592.39
13.25	20.19	392.75	13.70	421.35	7.87	571.38
13.31	20.18	387.69	13.66	409.42	7.81	550.41
13.38	20.16	382.63	13.64	402.68	7.75	531.99
13.44	20.15	377.56	13.63	398.18	7.70	512.73
13.50	20.13	372.50	13.62	393.78	7.66	495.61
13.56	20.12	367.44	13.62	391.06	7.63	481.00
13.63	20.10	362.38	13.62	387.05	7.60	466.81
13.69	20.09	357.31	13.61	382.45	7.57	453.33
13.75	20.07	352.25	13.61	378.23	7.54	440.19
13.81	20.06	347.19	13.60	375.00	7.51	427.70
13.88	20.04	342.13	13.59	369.41	7.49	416.21
13.94	20.03	337.06	13.57	363.30	7.46	406.09
14.00	20.01	332.00	13.56	356.78	7.44	397.93
14.06	20.00	329.67	13.55	351.97	7.42	391.24
14.13	19.99	327.33	13.54	346.89	7.41	385.80
14.19	19.99	325.00	13.53	341.69	7.40	381.91
14.25	19.98	322.67	13.51	336.70	7.39	378.53
14.31	19.98	320.33	13.50	331.95	7.38	374.81
14.38	19.97	318.00	13.50	327.99	7.38	370.87
14.44	19.96	315.67	13.49	324.81	7.36	365.93
14.50	19.96	313.33	13.48	322.40	7.35	358.93
14.56	19.95	311.00	13.48	320.47	7.33	350.67
14.63	19.94	308.67	13.48	318.76	7.32	343.67
14.69	19.93	306.33	13.47	316.99	7.30	337.43

14.75	19.93	304.00	13.47	315.01	7.29	332.55
14.81	19.92	301.67	13.47	312.76	7.28	328.68
14.88	19.92	299.33	13.46	310.27	7.27	325.59
14.94	19.91	297.00	13.45	307.63	7.26	323.06
15.00	19.90	294.67	13.45	304.85	7.25	320.87
15.06	19.90	292.33	13.44	301.92	7.25	318.89
15.13	19.89	290.00	13.43	298.64	7.24	316.98
15.19	19.88	287.67	13.42	296.20	7.24	315.04
15.25	19.87	285.33	13.41	294.47	7.23	313.01
15.31	19.86	283.00	13.41	293.03	7.23	310.85
15.38	19.86	280.67	13.40	291.54	7.22	308.57
15.44	19.85	278.33	13.39	289.60	7.22	306.18
15.50	19.84	276.00	13.39	287.20	7.21	303.73
15.56	19.83	273.67	13.38	284.65	7.21	301.30
15.63	19.83	271.33	13.37	282.02	7.20	298.95
15.69	19.82	269.00	13.35	279.49	7.19	296.73
15.75	19.81	266.67	13.34	277.14	7.19	294.66
15.81	19.80	264.33	13.33	274.95	7.18	292.69
15.88	19.79	262.00	13.32	272.80	7.18	290.78
15.94	19.79	259.67	13.31	270.62	7.17	288.84
16.00	19.78	257.33	13.30	268.34	7.17	286.83
16.06	19.77	255.00	13.29	265.97	7.16	284.71
16.13	19.76	252.67	13.28	263.56	7.16	282.52
16.19	19.75	250.33	13.26	261.16	7.15	280.27
16.25	19.74	248.00	13.25	258.80	7.14	278.00
16.31	19.74	245.67	13.24	256.50	7.14	275.73
16.38	19.73	243.33	13.23	254.22	7.13	273.48
16.44	19.72	241.00	13.21	251.95	7.13	271.25
16.50	19.71	238.67	13.20	249.65	7.12	269.02
16.56	19.70	236.33	13.19	247.19	7.11	266.79
16.63	19.69	234.00	13.17	245.09	7.11	264.56
16.69	19.68	231.67	13.16	242.35	7.10	262.32
16.75	19.68	229.33	13.16	240.30	7.10	260.13
16.81	19.67	227.00	13.15	238.26	7.09	258.06
16.88	19.66	224.67	13.14	236.14	7.08	256.14
16.94	19.65	222.33	13.14	233.97	7.08	254.22
17.00	19.64	220.00	13.13	231.68	7.07	252.05
17.06	19.63	218.75	13.12	229.37	7.07	249.55
17.13	19.63	217.50	13.11	227.03	7.06	246.76
17.19	19.62	216.25	13.10	224.72	7.05	243.83
17.25	19.62	215.00	13.09	222.51	7.04	240.94
17.31	19.61	213.75	13.09	220.52	7.03	238.22
17.38	19.61	212.50	13.08	218.83	7.03	235.72
17.44	19.60	211.25	13.07	217.47	7.02	233.41
17.50	19.60	210.00	13.07	216.34	7.01	231.26
17.56	19.59	208.75	13.06	215.32	7.01	229.18
17.63	19.59	207.50	13.06	214.27	7.00	227.13
17.69	19.58	206.25	13.06	213.10	7.00	225.11
17.75	19.58	205.00	13.05	211.79	6.99	223.15
17.81	19.57	203.75	13.05	210.41	6.98	221.27
17.88	19.57	202.50	13.04	209.02	6.98	219.53
17.94	19.56	201.25	13.03	207.69	6.97	217.96
18.00	19.56	200.00	13.03	206.44	6.97	216.56
18.06	19.56	200.00	13.02	205.26	6.96	215.30
18.13	19.55	200.00	13.02	204.12	6.96	214.13
18.19	19.55	200.00	13.01	202.99	6.96	213.00
18.25	19.55	200.00	13.01	201.89	6.95	211.87
18.31	19.55	200.00	13.01	200.93	6.95	210.70
18.38	19.55	200.00	13.00	200.23	6.95	209.48
18.44	19.55	200.00	13.00	199.87	6.94	208.25

18.50	19.55	200.00	13.00	199.84	6.94	207.00
18.56	19.55	200.00	13.00	200.01	6.93	205.77
18.63	19.55	200.00	13.00	200.23	6.93	204.58
18.69	19.55	200.00	13.00	200.38	6.93	203.46
18.75	19.55	200.00	13.00	200.37	6.92	202.45
18.81	19.55	200.00	13.00	200.24	6.92	201.56
18.88	19.55	200.00	13.00	200.05	6.92	200.85
18.94	19.55	200.00	13.00	199.88	6.92	200.32
19.00	19.55	200.00	13.00	199.81	6.91	199.99
19.06	19.55	200.00	13.00	199.85	6.91	199.85
19.13	19.55	200.00	13.00	199.95	6.91	199.83
19.19	19.55	200.00	13.00	200.06	6.91	199.90
19.25	19.55	200.00	13.00	200.12	6.91	200.00
19.31	19.55	200.00	13.00	200.13	6.91	200.08
19.38	19.55	200.00	13.00	200.07	6.91	200.11
19.44	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.10
19.50	19.55	200.00	13.00	199.94	6.91	200.06
19.56	19.55	200.00	13.00	199.92	6.91	200.02
19.63	19.55	200.00	13.00	199.94	6.91	199.99
19.69	19.55	200.00	13.00	199.98	6.91	199.98
19.75	19.55	200.00	13.00	200.03	6.91	199.98
19.81	19.55	200.00	13.00	200.05	6.91	200.00
19.88	19.55	200.00	13.00	200.05	6.91	200.01
19.94	19.55	200.00	13.00	200.03	6.91	200.02
20.00	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.01
20.06	19.55	200.00	13.00	199.97	6.91	200.00
20.13	19.55	200.00	13.00	199.96	6.91	199.99
20.19	19.55	200.00	13.00	199.97	6.91	199.99
20.25	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	199.99
20.31	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.00
20.38	19.55	200.00	13.00	200.02	6.91	200.00
20.44	19.55	200.00	13.00	200.02	6.91	200.01
20.50	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.01
20.56	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.01
20.63	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.00
20.69	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.00
20.75	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	199.99
20.81	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
20.88	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.00
20.94	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.00
21.00	19.55	200.00	13.00	200.01	6.91	200.00
21.06	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.13	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.19	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.25	19.55	200.00	13.00	199.99	6.91	200.00
21.31	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.38	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.44	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.50	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.56	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.63	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.69	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.75	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.81	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.88	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
21.94	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
22.00	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
22.06	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
22.13	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
22.19	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00







29.75	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
29.81	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
29.88	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
29.94	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00
30.00	19.55	200.00	13.00	200.00	6.91	200.00

**TABLA VI.27**

**CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN**

CONSIDERANDO SUELOS HOMOGÉNEOS Y GRANULARES, PARA UN GASTO DE 4707 M<sup>3</sup>/S

Estación (Km)	Pendiente del cauce So	Tirante hidráulico do (m)	Área Hidráulic del cauce m <sup>2</sup>	Ancho efectivo Be (m)	Diámetro medio del material Dm (mm)	Velocidad media en l secció Vm (m/s)	Coefficiente de ontracció μ (m)	Coefficient de flujo β (m)	Exponente de variable 1/1+x	Coefficiente de distribución α	Profundidad de Socavación ds	Profundidad real ds-do
8+200	0.00121154	4.23	787.60	211.00	10.899	6.13	0.99	0.97	0.75	2.50873	10.00	5.77
8+000	0.00121154	6.14	1316.88	248.00	10.899	3.61	0.99	0.97	0.75	1.18622	9.09	2.95
7+000	0.00121154	5.80	949.26	190.00	10.899	5.44	0.99	0.97	0.75	1.71384	11.15	5.35
6+000	0.00121154	6.58	1313.94	238.00	0.773	3.74	0.99	0.97	0.71	1.15842	14.59	8.01
5+000	0.00121154	6.95	1124.01	200.00	8.635	4.62	0.99	0.97	0.74	1.33817	11.80	4.85
4+000	0.00121154	7.41	1858.80	370.00	0.427	2.53	0.99	0.97	0.71	0.87201	15.45	8.04
3+000	0.00121154	7.09	2435.91	689.00	0.601	1.94	0.99	0.97	0.71	0.84105	13.35	6.26
2+000	0.00220830	6.08	843.48	230.00	0.780	5.66	0.99	0.97	0.71	1.02065	12.13	6.05
1+000	0.00220830	10.19	1315.78	175.15	12.339	3.91	0.99	0.97	0.75	0.94206	14.03	3.84
0+000	0.00220830	6.62	680.20	132.00	5.993	7.26	0.99	0.97	0.74	1.54326	13.32	6.70

CONSIDERANDO SUELOS HOMOGÉNEOS Y GRANULARES, PARA UN GASTO DE 200 M<sup>3</sup>/S

Estación (Km)	Pendiente del cauce So	Tirante hidráulico do (m)	Área Hidráulic del cauce m <sup>2</sup>	Ancho efectivo Be (m)	Diámetro medio del material Dm (mm)	Velocidad media en l secció Vm (m/s)	Coefficiente de ontracció μ (m)	Coefficient de flujo β (m)	Exponente de variable 1/1+x	Coefficiente de distribución α	Profundidad de Socavación ds	Profundidad real ds-do
8+200	0.00056900	0.78	90.63	186.04	10.899	2.21	1.00	0.82	0.75	3.56435	1.78	1.00
8+000	0.00056900	1.61	208.28	232.75	10.899	0.96	1.00	0.82	0.75	1.03406	1.75	0.14
7+000	0.00056900	1.30	129.11	120.17	10.899	1.55	1.00	0.82	0.75	1.47671	1.75	0.45
6+000	0.00056900	1.42	144.98	170.49	0.773	1.38	1.00	0.82	0.71	1.53691	3.27	1.85
5+000	0.00136500	1.68	165.06	114.32	8.635	1.21	1.00	0.82	0.74	0.94851	1.80	0.12
4+000	0.00136500	1.82	134.36	161.56	0.427	1.49	1.00	0.82	0.71	1.68320	5.27	3.45
3+000	0.00136500	2.28	161.45	170.78	0.601	1.24	1.00	0.82	0.71	1.28605	5.31	3.03
2+000	0.00136500	1.12	136.55	159.41	0.780	1.46	1.00	0.82	0.71	1.03869	1.87	0.75
1+000	0.001439	2.27	152.74	90.67	12.339	1.31	1.00	0.82	0.75	0.92488	2.40	0.13
0+000	0.001439	1.89	131.57	88.67	5.993	1.52	1.00	0.82	0.74	1.16848	2.62	0.73



**TABLA VI.28**

**CÁLCULO DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN**

ALTERNATIVA N°1 (ANCHO DEL CAUCE PILOTO DE B = 50 m)

Tramo	Caden. (Km)	Área Izq. (m <sup>2</sup> )	Área Centro (m <sup>2</sup> )	Área Der. (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Volumen Izq. (m <sup>3</sup> )	Volumen C. (m <sup>3</sup> )	Volumen Der. (m <sup>3</sup> )	Volumen T. (m <sup>3</sup> )
76	0+600	0	143	0	143	0	28,590	0	28,590
74	0+800	0	143	0	143	0	16,987	0	16,987
72	1+000	0	27	0	27	0	7,076	0	7,076
70	1+200	0	44	0	44	0	12,858	1,637	14,496
68	1+400	0	85	16	101	0	15,294	1,637	16,931
66	1+600	0	68	0	68	0	16,695	0	16,695
64	1+800	0	99	0	99	0	22,518	0	22,518
62	2+000	0	126	0	126	0	26,027	0	26,027
60	2+200	0	134	0	134	0	22,479	0	22,479
58	2+400	0	91	0	91	0	18,912	0	18,912
56	2+600	0	98	0	98	0	22,377	0	22,377
54	2+800	0	125	0	125	0	27,769	0	27,769
52	3+000	0	152	0	152	0	19,095	0	19,095
50	3+200	0	39	0	39	0	11,562	0	11,562
48	3+400	0	77	0	77	0	13,179	0	13,179
46	3+600	0	55	0	55	0	14,513	0	14,513
44	3+800	0	90	0	90	0	14,390	0	14,390
42	4+000	0	54	0	54	0	6,993	0	6,993
40	4+200	0	16	0	16	0	4,198	0	4,198
38	4+400	0	26	0	26	0	7,407	0	7,407
36	4+600	0	48	0	48	0	7,793	0	7,793
34	4+800	0	29	0	29	0	4,034	0	4,034
32	5+000	0	11	0	11	0	2,543	0	2,543
30	5+200	0	15	0	15	0	2,961	0	2,961
28	5+400	0	15	0	15	0	3,159	0	3,159
26	5+600	0	17	0	17	0	3,448	0	3,448
24	5+800	0	18	0	18	0	4,197	0	4,197
22	6+000	0	24	0	24	0	3,159	0	3,159
20	6+200	0	8	0	8	0	2,018	0	2,018
18	6+400	0	13	0	13	0	2,172	0	2,172
16	6+600	0	9	0	9	0	1,537	0	1,537
14	6+800	0	6	0	6	0	1,196	0	1,196
12	7+000	0	6	0	6	0	580	0	580
10	7+200	0	0	0	0	0	603	0	603
8	7+400	0	6	0	6	0	906	0	906
6	7+600	0	3	0	3	0	703	0	703
4	7+800	0	4	0	4	0	1,282	0	1,282
2	8+000	0	9	0	9	0	1,623	0	1,623
0	8+200	0	7	0	7	0	0	0	0
<b>Total</b>		0	1,940	16	1,956	0	372,833	3,274	376,108

**TABLA VI.29**

**CÁLCULO DEL VOLUMEN DE EXCAVACIÓN**

ALTERNATIVA N°2 (ANCHO DEL CAUCE PILOTO DE B = 60 m)

Tramo	Caden. (Km)	Área Izq. (m <sup>2</sup> )	Área Centro (m <sup>2</sup> )	Área Der. (m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Volumen Izq. (m <sup>3</sup> )	Volumen C. (m <sup>3</sup> )	Volumen Der. (m <sup>3</sup> )	Volumen T. (m <sup>3</sup> )
76	0+600	0	164	0	164	0	33,815	0	33,815
74	0+800	0	174	0	174	0	20,993	0	20,993
72	1+000	0	36	0	36	0	9,231	0	9,231
70	1+200	0	56	0	56	0	19,514	4,934	24,449
68	1+400	0	139	49	188	0	22,880	4,934	27,814
66	1+600	0	90	0	90	0	20,915	0	20,915
64	1+800	0	119	0	119	0	26,845	0	26,845
62	2+000	0	149	0	149	0	30,903	0	30,903
60	2+200	0	160	0	160	0	27,025	0	27,025
58	2+400	0	111	0	111	0	23,607	0	23,607
56	2+600	0	125	0	125	0	28,117	0	28,117
54	2+800	0	156	0	156	0	33,376	0	33,376
52	3+000	0	178	0	178	0	22,666	0	22,666
50	3+200	0	49	0	49	0	14,361	0	14,361
48	3+400	0	95	0	95	0	17,404	0	17,404
46	3+600	0	79	0	79	0	19,145	0	19,145
44	3+800	0	112	0	112	0	17,825	0	17,825
42	4+000	0	66	0	66	0	9,089	0	9,089
40	4+200	0	25	0	25	0	6,319	0	6,319
38	4+400	0	38	0	38	0	10,815	0	10,815
36	4+600	0	70	0	70	0	10,609	0	10,609
34	4+800	0	36	0	36	0	5,031	0	5,031
32	5+000	0	14	0	14	0	3,305	0	3,305
30	5+200	0	19	0	19	0	3,999	0	3,999
28	5+400	0	21	0	21	0	4,355	0	4,355
26	5+600	0	22	0	22	0	4,563	0	4,563
24	5+800	0	23	0	23	0	5,439	0	5,439
22	6+000	0	31	0	31	0	4,364	0	4,364
20	6+200	0	12	0	12	0	3,062	12	3,074
18	6+400	0	18	0	18	0	3,031	12	3,043
16	6+600	0	12	0	12	0	2,056	0	2,056
14	6+800	0	8	0	8	0	1,637	0	1,637
12	7+000	0	8	0	8	0	853	0	853
10	7+200	0	1	0	1	0	965	0	965
8	7+400	0	9	0	9	0	1,449	0	1,449
6	7+600	0	5	0	5	0	1,160	0	1,160
4	7+800	0	6	0	6	0	1,799	0	1,799
2	8+000	0	12	0	12	0	2,122	0	2,122
0	8+200	0	9	0	9	0	0	0	0
<b>Total</b>						0	474,643	9,892	484,535

**TABLA VI.30**

**VOLUMEN DEL BORDO IZQUIERDO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 50 AÑOS Y B = 50 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
0+000.000		28.71	26.60	29.71	3.11	33.339			
0+200.000	200.000	27.65	25.30	28.65	3.35	37.520	35.430	7.085.92	7.085.92
0+400.000	200.000	26.94	24.40	27.94	3.54	40.993	39.257	7.851.32	14.937.24
0+600.000	200.000	27.24	23.00	28.24	5.24	78.495	59.744	11.948.84	26.886.08
0+800.000	200.000	26.95	22.40	27.95	5.55	86.580	82.538	16.507.52	43.393.60
1+000.000	200.000	26.62	22.00	27.62	5.62	88.459	87.519	17.503.88	60.897.48
1+200.000	200.000	26.49	20.80	27.49	6.69	119.617	104.038	20.807.60	81.705.08
1+400.000	200.000	24.92	21.50	25.92	4.42	58.963	89.290	17.858.00	99.563.08
1+600.000	200.000	23.42	20.90	24.42	3.52	40.621	49.792	9.958.36	109.521.44
1+800.000	200.000	21.99	18.00	22.99	4.99	72.255	56.438	11.287.60	120.809.04
2+000.000	200.000	20.68	18.70	21.68	2.98	31.171	51.713	10.342.60	131.151.64
2+200.000	200.000	19.97	18.80	20.97	2.17	19.183	25.177	5.035.36	136.187.00
2+400.000	200.000	19.93	18.35	20.93	2.58	24.923	22.053	4.410.56	140.597.56
2+600.000	200.000	19.67	18.00	20.67	2.67	26.273	25.598	5.119.56	145.717.12
2+800.000	200.000	19.40	17.50	20.40	2.90	29.870	28.071	5.614.28	151.331.40
3+000.000	200.000	19.37	16.00	20.37	4.37	57.859	43.864	8.772.88	160.104.28
3+200.000	200.000	19.27	15.10	20.27	5.17	76.723	67.291	13.458.16	173.562.44
3+400.000	200.000	19.10	15.50	20.10	4.60	63.020	69.871	13.974.28	187.536.72
3+600.000	200.000	18.96	14.00	19.96	5.96	97.863	80.442	16.088.32	203.625.04
3+800.000	200.000	18.91	14.10	19.91	5.81	93.657	95.760	19.152.04	222.777.08
4+000.000	200.000	18.84	13.00	19.84	6.84	124.351	109.004	21.800.84	244.577.92
4+200.000	200.000	18.56	14.00	19.56	5.56	86.847	105.599	21,119.84	265.697.76
4+400.000	200.000	18.07	15.00	19.07	4.07	51.445	69.146	13,829.20	279,526.96
4+600.000	200.000	18.02	14.50	19.02	4.52	61.201	56.323	11,264.56	290,791.52
4+800.000	200.000	17.94	13.30	18.94	5.64	88.999	75.100	15,020.00	305,811.52
5+000.000	200.000	17.29	12.80	18.29	5.49	84.985	86.992	17,398.44	323,209.96
5+200.000	200.000	16.89	12.00	17.89	5.89	95.889	90.437	18,087.44	341,297.40
5+400.000	200.000	15.78	11.70	16.78	5.08	74.473	85.181	17,036.20	358,333.60
5+600.000	200.000	15.58	11.60	16.58	4.98	72.011	73.242	14,648.36	372,981.96
5+800.000	200.000	15.55	11.00	16.55	5.55	86.580	79.295	15,859.08	388,841.04
6+000.000	200.000	15.15	10.40	16.15	5.75	92.000	89.290	17,858.00	406,699.04
6+200.000	200.000	14.65	10.40	15.65	5.25	78.750	85.375	17,075.00	423,774.04
6+400.000	200.000	14.62	10.30	15.62	5.32	80.545	79.647	15,929.48	439,703.52
6+600.000	200.000	14.42	10.70	15.42	4.72	65.797	73.171	14,634.16	454,337.68
6+800.000	200.000	14.13	10.00	15.13	5.13	75.719	70.758	14,151.56	468,489.24
7+000.000	200.000	13.39	9.20	14.39	5.19	77.227	76.473	15,294.60	483,783.84
7+200.000	200.000	13.10	8.80	14.10	5.30	80.030	78.629	15,725.72	499,509.56
7+400.000	200.000	12.80	8.50	13.80	5.30	80.030	80.030	16,006.00	515,515.56
7+600.000	200.000	12.29	8.20	13.29	5.09	74.721	77.376	15,475.12	530,990.68
7+800.000	200.000	12.04	8.50	13.04	4.54	61.653	68.187	13,637.44	544,628.12
8+000.000	200.000	11.79	8.00	12.79	4.79	67.443	64.548	12,909.64	557,537.76
8+119.027	119.027	10.31	8.50	11.31	2.81	28.437	47.940	5,706.18	563,243.94
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>563,243.94</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

**TABLA VI.31**

**VOLUMEN DEL BORDO DERECHO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 50 AÑOS Y B = 50 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO	
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)	
0+000.000		28.71	25.90	29.71	3.81	46.177				
0+200.000	200.000	27.65	26.00	28.65	2.65	25.970	36.074	7,214.72	7,214.72	
0+400.000	200.000	26.94	26.20	27.94	1.74	13.885	19.928	3,985.52	11,200.24	
0+600.000	200.000	27.24	28.24	28.24	0.00	0.000	6.943	1,388.52	12,588.76	
0+800.000	200.000	26.95	27.95	27.95	0.00	0.000	0.000	0.00	12,588.76	
1+000.000	200.000	26.62	27.62	27.62	0.00	0.000	0.000	0.00	12,588.76	
1+200.000	200.000	26.49	24.20	27.49	3.29	36.453	18.227	3,645.32	16,234.08	
1+400.000	200.000	24.92	25.92	25.92	0.00	0.000	18.227	3,645.32	19,879.40	
1+600.000	200.000	23.42	24.42	24.42	0.00	0.000	0.000	0.00	19,879.40	
1+800.000	200.000	21.99	20.00	22.99	2.99	31.335	15.668	3,133.52	23,012.92	
2+000.000	200.000	20.68	19.00	21.68	2.68	26.425	28.880	5,776.00	28,788.92	
2+200.000	200.000	19.97	18.60	20.97	2.37	21.899	24.162	4,832.36	33,621.28	
2+400.000	200.000	19.93	18.50	20.93	2.43	22.745	22.322	4,464.36	38,085.64	
2+600.000	200.000	19.67	20.67	20.67	0.00	0.000	11.372	2,274.48	40,360.12	
2+800.000	200.000	19.40	20.40	20.40	0.00	0.000	0.000	0.00	40,360.12	
3+000.000	200.000	19.37	18.80	20.37	1.57	11.995	5.997	1,199.48	41,559.60	
3+200.000	200.000	19.27	14.50	20.27	5.77	92.551	52.273	10,454.56	52,014.16	
3+400.000	200.000	19.10	15.30	20.10	4.80	67.680	80.115	16,023.08	68,037.24	
3+600.000	200.000	18.96	15.50	19.96	4.46	59.853	63.767	12,753.32	80,790.56	
3+800.000	200.000	18.91	15.90	19.91	4.01	50.205	55.029	11,005.84	91,796.40	
4+000.000	200.000	18.84	14.70	19.84	5.14	75.969	63.087	12,617.44	104,413.84	
4+200.000	200.000	18.56	14.40	19.56	5.16	76.471	76.220	15,244.04	119,657.88	
4+400.000	200.000	18.07	14.20	19.07	4.87	69.349	72.910	14,582.00	134,239.88	
4+600.000	200.000	18.02	13.50	19.02	5.52	85.781	77.565	15,512.96	149,752.84	
4+800.000	200.000	17.94	13.80	18.94	5.14	75.969	80.875	16,175.00	165,927.84	
5+000.000	200.000	17.29	12.80	18.29	5.49	84.985	80.477	16,095.44	182,023.28	
5+200.000	200.000	16.89	13.60	17.89	4.29	56.113	70.549	14,109.84	196,133.12	
5+400.000	200.000	15.78	13.20	16.78	3.58	41.743	48.928	9,785.60	205,918.72	
5+600.000	200.000	15.58	12.60	16.58	3.98	49.591	45.667	9,133.36	215,052.08	
5+800.000	200.000	15.55	12.70	16.55	3.85	46.970	48.280	9,656.08	224,708.16	
6+000.000	200.000	15.15	12.00	16.15	4.15	53.120	50.045	10,009.00	234,717.16	
6+200.000	200.000	14.65	11.00	15.65	4.65	64.170	58.645	11,729.00	246,446.16	
6+400.000	200.000	14.62	10.00	15.62	5.62	88.459	76.314	15,262.88	261,709.04	
6+600.000	200.000	14.42	11.00	15.42	4.42	58.963	73.711	14,742.16	276,451.20	
6+800.000	200.000	14.13	10.70	15.13	4.43	59.185	59.074	11,814.76	288,265.96	
7+000.000	200.000	13.39	10.40	14.39	3.99	49.795	54.490	10,898.00	299,163.96	
7+200.000	200.000	13.10	10.00	14.10	4.10	52.070	50.933	10,186.52	309,350.48	
7+400.000	200.000	12.80	9.80	13.80	4.00	50.000	51.035	10,207.00	319,557.48	
7+600.000	200.000	12.29	9.50	13.29	3.79	45.783	47.892	9,578.32	329,135.80	
7+800.000	200.000	12.04	9.20	13.04	3.84	46.771	46.277	9,255.44	338,391.24	
8+000.000	200.000	11.79	9.00	12.79	3.79	45.783	46.277	9,255.44	347,646.68	
8+119.027	119.027	10.31	8.50	11.31	2.81	28.437	37.110	4,417.12	352,063.80	
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>352,063.80</b>	<b>m3</b>	

**TABLA VI.32**

**VOLUMEN DEL BORDO IZQUIERDO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 100 AÑOS Y B = 50 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)
0+000.000		29.12	26.60	30.12	3.52	40.621			
0+200.000	200.000	28.07	25.30	29.07	3.77	45.391	43.006	8.601.16	8.601.16
0+400.000	200.000	27.69	24.40	28.69	4.29	56.113	50.752	10.150.40	18.751.56
0+600.000	200.000	27.97	23.00	28.97	5.97	98.147	77.130	15.426.00	34.177.56
0+800.000	200.000	27.70	22.40	28.70	6.30	107.730	102.938	20.587.68	54.765.24
1+000.000	200.000	27.35	22.00	28.35	6.35	109.220	108.475	21.695.00	76.460.24
1+200.000	200.000	27.23	20.80	28.23	7.43	143.845	126.532	25.306.48	101.766.72
1+400.000	200.000	25.50	21.50	26.50	5.00	72.500	108.172	21.634.48	123.401.20
1+600.000	200.000	23.94	20.90	24.94	4.04	50.823	61.662	12.332.32	135.733.52
1+800.000	200.000	22.41	18.00	23.41	5.41	82.881	66.852	13.370.44	149.103.96
2+000.000	200.000	20.96	18.70	21.96	3.26	35.925	59.403	11.880.64	160.984.60
2+200.000	200.000	20.27	18.80	21.27	2.47	23.317	29.621	5.924.20	166.908.80
2+400.000	200.000	20.31	18.35	21.31	2.96	30.843	27.080	5.416.00	172.324.80
2+600.000	200.000	20.12	18.00	21.12	3.12	33.509	32.176	6.435.20	178.760.00
2+800.000	200.000	19.92	17.50	20.92	3.42	38.783	36.146	7.229.16	185.989.16
3+000.000	200.000	19.90	16.00	20.90	4.90	70.070	54.426	10.885.28	196.874.44
3+200.000	200.000	19.82	15.10	20.82	5.72	91.177	80.623	16.124.68	212.999.12
3+400.000	200.000	19.67	15.50	20.67	5.17	76.723	83.950	16.789.96	229.789.08
3+600.000	200.000	19.54	14.00	20.54	6.54	114.973	95.848	19.169.60	248.958.68
3+800.000	200.000	19.50	14.10	20.50	6.40	110.720	112.847	22.569.32	271.528.00
4+000.000	200.000	19.44	13.00	20.44	7.44	144.187	127.454	25.490.72	297.018.72
4+200.000	200.000	19.14	14.00	20.14	6.14	103.029	123.608	24.721.64	321.740.36
4+400.000	200.000	19.61	15.00	20.61	5.61	88.189	95.609	19.121.84	340.862.20
4+600.000	200.000	18.58	14.50	19.58	5.08	74.473	81.331	16.266.20	357.128.40
4+800.000	200.000	18.50	13.30	19.50	6.20	104.780	89.626	17.925.28	375.053.68
5+000.000	200.000	17.80	12.80	18.80	6.00	99.000	101.890	20.378.00	395.431.68
5+200.000	200.000	17.36	12.00	18.36	6.36	109.519	104.260	20.851.92	416.283.60
5+400.000	200.000	16.18	11.70	17.18	5.48	84.721	97.120	19.424.00	435.707.60
5+600.000	200.000	16.03	11.60	17.03	5.43	83.405	84.063	16.812.56	452.520.16
5+800.000	200.000	16.03	11.00	17.03	6.03	99.857	91.631	18.326.16	470.846.32
6+000.000	200.000	15.60	10.40	16.60	6.20	104.780	102.318	20.463.68	491.310.00
6+200.000	200.000	15.07	10.40	16.07	5.67	89.813	97.296	19.459.28	510.769.28
6+400.000	200.000	15.80	10.30	16.80	6.50	113.750	101.781	20.356.28	531.125.56
6+600.000	200.000	14.88	10.70	15.88	5.18	76.975	95.362	19.072.48	550.198.04
6+800.000	200.000	14.58	10.00	15.58	5.58	87.383	82.179	16.435.76	566.633.80
7+000.000	200.000	13.79	9.20	14.79	5.59	87.651	87.517	17.503.40	584.137.20
7+200.000	200.000	13.50	8.80	14.50	5.70	90.630	89.141	17.828.12	601.965.32
7+400.000	200.000	13.20	8.50	14.20	5.70	90.630	90.630	18.126.00	620.091.32
7+600.000	200.000	12.67	8.20	13.67	5.47	84.457	87.543	17.508.68	637.600.00
7+800.000	200.000	12.42	8.50	13.42	4.92	70.553	77.505	15.500.96	653.100.96
8+000.000	200.000	12.18	8.00	13.18	5.18	76.975	73.764	14.752.76	667.853.72
8+119.027	119.027	10.61	8.50	11.61	3.11	33.339	55.157	6.565.17	674.418.89
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>674,418.89</b>	<b>m3</b>



**TABLA VI.33**

**VOLUMEN DEL BORDO DERECHO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 100 AÑOS Y B = 50 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
0+000.000		29.12	25.90	30.12	4.22	54.607			
0+200.000	200.000	28.07	26.00	29.07	3.07	32.665	43.636	8,727.16	8,727.16
0+400.000	200.000	27.69	26.20	28.69	2.49	23.605	28.135	5,627.00	14,354.16
0+600.000	200.000	27.97	28.97	28.97	0.00	0.000	11.803	2,360.52	16,714.68
0+800.000	200.000	27.70	28.70	28.70	0.00	0.000	0.000	0.00	16,714.68
1+000.000	200.000	27.35	28.35	28.35	0.00	0.000	0.000	0.00	16,714.68
1+200.000	200.000	27.23	24.20	28.23	4.03	50.617	25.308	5,061.68	21,776.36
1+400.000	200.000	25.50	26.50	26.50	0.00	0.000	25.308	5,061.68	26,838.04
1+600.000	200.000	23.94	24.94	24.94	0.00	0.000	0.000	0.00	26,838.04
1+800.000	200.000	22.41	20.00	23.41	3.41	38.601	19.301	3,860.12	30,698.16
2+000.000	200.000	20.96	19.00	21.96	2.96	30.843	34.722	6,944.44	37,642.60
2+200.000	200.000	20.27	18.60	21.27	2.67	26.273	28.558	5,711.60	43,354.20
2+400.000	200.000	20.31	18.50	21.31	2.81	28.437	27.355	5,471.00	48,825.20
2+600.000	200.000	20.12	21.12	21.12	0.00	0.000	14.219	2,843.72	51,668.92
2+800.000	200.000	19.92	20.92	20.92	0.00	0.000	0.000	0.00	51,668.92
3+000.000	200.000	19.90	18.80	20.90	2.10	18.270	9.135	1,827.00	53,495.92
3+200.000	200.000	19.82	14.50	20.82	6.32	108.325	63.297	12,659.48	66,155.40
3+400.000	200.000	19.67	15.30	20.67	5.37	81.839	95.082	19,016.36	85,171.76
3+600.000	200.000	19.54	15.50	20.54	5.04	73.483	77.661	15,532.20	100,703.96
3+800.000	200.000	19.50	15.90	20.50	4.60	63.020	68.252	13,650.32	114,354.28
4+000.000	200.000	19.44	14.70	20.44	5.74	91.725	77.373	15,474.52	129,828.80
4+200.000	200.000	19.14	14.40	20.14	5.74	91.725	91.725	18,345.04	148,173.84
4+400.000	200.000	19.61	14.20	20.61	6.41	111.021	101.373	20,274.64	168,448.48
4+600.000	200.000	18.58	13.50	19.58	6.08	101.293	106.157	21,231.40	189,679.88
4+800.000	200.000	18.50	13.80	19.50	5.70	90.630	95.961	19,192.28	208,872.16
5+000.000	200.000	17.80	12.80	18.80	6.00	99.000	94.815	18,963.00	227,835.16
5+200.000	200.000	17.36	13.60	18.36	4.76	66.735	82.868	16,573.52	244,408.68
5+400.000	200.000	16.18	13.20	17.18	3.98	49.591	58.163	11,632.60	256,041.28
5+600.000	200.000	16.03	12.60	17.03	4.43	59.185	54.388	10,877.56	266,918.84
5+800.000	200.000	16.03	12.70	17.03	4.33	56.983	58.084	11,616.76	278,535.60
6+000.000	200.000	15.60	12.00	16.60	4.60	63.020	60.001	12,000.28	290,535.88
6+200.000	200.000	15.07	11.00	16.07	5.07	74.225	68.622	13,724.48	304,260.36
6+400.000	200.000	15.80	10.00	16.80	6.80	123.080	98.652	19,730.48	323,990.84
6+600.000	200.000	14.88	11.00	15.88	4.88	69.589	96.334	19,266.88	343,257.72
6+800.000	200.000	14.58	10.70	15.58	4.88	69.589	69.589	13,917.76	357,175.48
7+000.000	200.000	13.79	10.40	14.79	4.39	58.299	63.944	12,788.80	369,964.28
7+200.000	200.000	13.50	10.00	14.50	4.50	60.750	59.525	11,904.92	381,869.20
7+400.000	200.000	13.20	9.80	14.20	4.40	58.520	59.635	11,927.00	393,796.20
7+600.000	200.000	12.67	9.50	13.67	4.17	53.543	56.031	11,206.28	405,002.48
7+800.000	200.000	12.42	9.20	13.42	4.22	54.607	54.075	10,814.96	415,817.44
8+000.000	200.000	12.18	9.00	13.18	4.18	53.755	54.181	10,836.16	426,653.60
8+119.027	119.027	10.61	8.50	11.61	3.11	33.339	43.547	5,183.27	431,836.87
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>431,836.87</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

**TABLA VI.34**

**VOLUMEN DEL BORDO IZQUIERDO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 50 AÑOS Y B = 60 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)
0+000.000		28.71	26.60	29.71	3.11	33.339			
0+200.000	200.000	27.65	25.30	28.65	3.35	37.520	35.430	7.085.92	7.085.92
0+400.000	200.000	26.57	24.40	27.57	3.17	34.363	35.941	7.188.28	14.274.20
0+600.000	200.000	27.00	23.00	28.00	5.00	72.500	53.431	10.686.28	24.960.48
0+800.000	200.000	26.70	22.40	27.70	5.30	80.030	76.265	15.253.00	40.213.48
1+000.000	200.000	26.33	22.00	27.33	5.33	80.803	80.416	16.083.28	56.296.76
1+200.000	200.000	26.18	20.80	27.18	6.38	110.119	95.461	19.092.16	75.388.92
1+400.000	200.000	24.94	21.50	25.94	4.44	59.407	84.763	16.952.60	92.341.52
1+600.000	200.000	23.24	20.90	24.24	3.34	37.341	48.374	9.674.84	102.016.36
1+800.000	200.000	21.86	18.00	22.86	4.86	69.109	53.225	10.645.04	112.661.40
2+000.000	200.000	20.56	18.70	21.56	2.86	29.229	49.169	9.833.84	122.495.24
2+200.000	200.000	19.88	18.80	20.88	2.08	18.013	23.621	4.724.20	127.219.44
2+400.000	200.000	19.87	18.35	20.87	2.52	24.041	21.027	4.205.36	131.424.80
2+600.000	200.000	19.61	18.00	20.61	2.61	25.369	24.705	4.941.00	136.365.80
2+800.000	200.000	19.34	17.50	20.34	2.84	28.911	27.140	5.428.04	141.793.84
3+000.000	200.000	19.32	16.00	20.32	4.32	56.765	42.838	8.567.60	150.361.44
3+200.000	200.000	19.22	15.10	20.22	5.12	75.469	66.117	13.223.36	163.584.80
3+400.000	200.000	19.05	15.50	20.05	4.55	61.880	68.674	13.734.88	177.319.68
3+600.000	200.000	18.91	14.00	19.91	5.91	96.451	79.166	15.833.12	193.152.80
3+800.000	200.000	18.85	14.10	19.85	5.75	92.000	94.226	18.845.12	211.997.92
4+000.000	200.000	18.79	13.00	19.79	6.79	122.763	107.382	21.476.32	233.474.24
4+200.000	200.000	18.50	14.00	19.50	5.50	85.250	104.007	20.801.32	254.275.56
4+400.000	200.000	18.02	15.00	19.02	4.02	50.411	67.830	13.566.08	267.841.64
4+600.000	200.000	17.98	14.50	18.98	4.48	60.301	55.356	11.071.16	278.912.80
4+800.000	200.000	17.89	13.30	18.89	5.59	87.651	73.976	14.795.20	293.708.00
5+000.000	200.000	17.23	12.80	18.23	5.43	83.405	85.528	17.105.60	310.813.60
5+200.000	200.000	16.83	12.00	17.83	5.83	94.213	88.809	17.761.76	328.575.36
5+400.000	200.000	15.71	11.70	16.71	5.01	72.745	83.479	16.695.80	345.271.16
5+600.000	200.000	15.52	11.60	16.52	4.92	70.553	71.649	14.329.80	359.600.96
5+800.000	200.000	15.49	11.00	16.49	5.49	84.985	77.769	15.553.80	375.154.76
6+000.000	200.000	15.09	10.40	16.09	5.69	90.357	87.671	17.534.24	392.689.00
6+200.000	200.000	14.60	10.40	15.60	5.20	77.480	83.919	16.783.72	409.472.72
6+400.000	200.000	14.58	10.30	15.58	5.28	79.517	78.498	15.699.68	425.172.40
6+600.000	200.000	14.39	10.70	15.39	4.69	65.097	72.307	14.461.40	439.633.80
6+800.000	200.000	14.06	10.00	15.06	5.06	73.977	69.537	13.907.44	453.541.24
7+000.000	200.000	13.35	9.20	14.35	5.15	76.220	75.099	15,019.72	468,560.96
7+200.000	200.000	13.07	8.80	14.07	5.27	79.261	77.740	15,548.08	484,109.04
7+400.000	200.000	12.78	8.50	13.78	5.28	79.517	79.389	15,877.76	499,986.80
7+600.000	200.000	12.27	8.20	13.27	5.07	74.225	76.871	15,374.16	515,360.96
7+800.000	200.000	12.03	8.50	13.03	4.53	61.427	67.826	13,565.16	528,926.12
8+000.000	200.000	11.78	8.00	12.78	4.78	67.207	64.317	12,863.36	541,789.48
8+119.027	119.027	10.30	8.50	11.30	2.80	28.280	47.743	5,682.75	547,472.23
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>547,472.23</b>	<b>m3</b>

**TABLA VI.35**

**VOLUMEN DEL BORDO DERECHO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 50 AÑOS Y B = 60 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)
0+000.000		28.71	25.90	29.71	3.81	46.177			
0+200.000	200.000	27.65	26.00	28.65	2.65	25.970	36.074	7.214.72	7.214.72
0+400.000	200.000	26.57	26.20	27.57	1.37	9.919	17.944	3.588.88	10.803.60
0+600.000	200.000	27.00	28.00	28.00	0.00	0.000	4.959	991.88	11.795.48
0+800.000	200.000	26.70	27.70	27.70	0.00	0.000	0.000	0.00	11.795.48
1+000.000	200.000	26.33	27.33	27.33	0.00	0.000	0.000	0.00	11.795.48
1+200.000	200.000	26.18	24.20	27.18	2.98	31.171	15.585	3.117.08	14.912.56
1+400.000	200.000	24.94	25.94	25.94	0.00	0.000	15.585	3.117.08	18.029.64
1+600.000	200.000	23.24	24.24	24.24	0.00	0.000	0.000	0.00	18.029.64
1+800.000	200.000	21.86	20.00	22.86	2.86	29.229	14.615	2.922.92	20.952.56
2+000.000	200.000	20.56	19.00	21.56	2.56	24.627	26.928	5.385.64	26.338.20
2+200.000	200.000	19.88	18.60	20.88	2.28	20.657	22.642	4.528.40	30.866.60
2+400.000	200.000	19.87	18.50	20.87	2.37	21.899	21.278	4.255.56	35.122.16
2+600.000	200.000	19.61	20.61	20.61	0.00	0.000	10.949	2.189.88	37.312.04
2+800.000	200.000	19.34	20.34	20.34	0.00	0.000	0.000	0.00	37.312.04
3+000.000	200.000	19.32	18.80	20.32	1.52	11.461	5.730	1.146.08	38.458.12
3+200.000	200.000	19.22	14.50	20.22	5.72	91.177	51.319	10.263.76	48.721.88
3+400.000	200.000	19.05	15.30	20.05	4.75	66.500	78.838	15.767.68	64.489.56
3+600.000	200.000	18.91	15.50	19.91	4.41	58.741	62.621	12.524.12	77.013.68
3+800.000	200.000	18.85	15.90	19.85	3.95	48.980	53.861	10.772.12	87.785.80
4+000.000	200.000	18.79	14.70	19.79	5.09	74.721	61.851	12.370.12	100.155.92
4+200.000	200.000	18.50	14.40	19.50	5.10	74.970	74.846	14.969.12	115.125.04
4+400.000	200.000	18.02	14.20	19.02	4.82	68.155	71.562	14.312.48	129.437.52
4+600.000	200.000	17.98	13.50	18.98	5.48	84.721	76.438	15.287.56	144.725.08
4+800.000	200.000	17.89	13.80	18.89	5.09	74.721	79.721	15.944.20	160.669.28
5+000.000	200.000	17.23	12.80	18.23	5.43	83.405	79.063	15.812.60	176.481.88
5+200.000	200.000	16.83	13.60	17.83	4.23	54.821	69.113	13.822.56	190.304.44
5+400.000	200.000	15.71	13.20	16.71	3.51	40.435	47.628	9.525.60	199.830.04
5+600.000	200.000	15.52	12.60	16.52	3.92	48.373	44.404	8.880.80	208.710.84
5+800.000	200.000	15.49	12.70	16.49	3.79	45.783	47.078	9.415.60	218.126.44
6+000.000	200.000	15.09	12.00	16.09	4.09	51.861	48.822	9.764.44	227.890.88
6+200.000	200.000	14.60	11.00	15.60	4.60	63.020	57.441	11.488.12	239.379.00
6+400.000	200.000	14.58	10.00	15.58	5.58	87.383	75.201	15.040.28	254.419.28
6+600.000	200.000	14.39	11.00	15.39	4.39	58.299	72.841	14.568.20	268.987.48
6+800.000	200.000	14.06	10.70	15.06	4.36	57.639	57.969	11,593.84	280,581.32
7+000.000	200.000	13.35	10.40	14.35	3.95	48.980	53.310	10,661.92	291,243.24
7+200.000	200.000	13.07	10.00	14.07	4.07	51.445	50.212	10,042.48	301,285.72
7+400.000	200.000	12.78	9.80	13.78	3.98	49.591	50.518	10,103.56	311,389.28
7+600.000	200.000	12.27	9.50	13.27	3.77	45.391	47.491	9,498.16	320,887.44
7+800.000	200.000	12.03	9.20	13.03	3.83	46.573	45.982	9,196.36	330,083.80
8+000.000	200.000	11.78	9.00	12.78	3.78	45.587	46.080	9,215.96	339,299.76
8+119.027	119.027	10.30	8.50	11.30	2.80	28.280	36.933	4,396.07	343,695.83
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>343,695.83</b>	<b>m3</b>



**TABLA VI.36**

**VOLUMEN DEL BORDO IZQUIERDO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 100 AÑOS Y B = 60 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)
0.000		29.12	26.60	30.12	3.520	40.621			
200.000	200.00	28.07	25.30	29.07	3.770	45.391	43.006	8.601.16	8.601.16
400.000	200.00	27.37	24.40	28.37	3.970	49.387	47.389	9.477.76	18.078.92
600.000	200.00	27.73	23.00	28.73	5.730	91.451	70.419	14.083.76	32.162.68
800.000	200.00	27.46	22.40	28.46	6.060	100.717	96.084	19.216.80	51.379.48
1000.000	200.00	27.06	22.00	28.06	6.060	100.717	100.717	20.143.44	71.522.92
1200.000	200.00	26.92	20.80	27.92	7.120	133.429	117.073	23.414.60	94.937.52
1400.000	200.00	25.56	21.50	26.56	5.060	73.977	103.703	20.740.60	115.678.12
1600.000	200.00	23.76	20.90	24.76	3.860	47.169	60.573	12.114.64	127.792.76
1800.000	200.00	22.28	18.00	23.28	5.280	79.517	63.343	12.668.60	140.461.36
2000.000	200.00	20.86	18.70	21.86	3.160	34.191	56.854	11.370.80	151.832.16
2200.000	200.00	20.18	18.80	21.18	2.380	22.039	28.115	5.623.00	157.455.16
2400.000	200.00	20.25	18.35	21.25	2.900	29.870	25.954	5.190.88	162.646.04
2600.000	200.00	20.06	18.00	21.06	3.060	32.497	31.184	6.236.72	168.882.76
2800.000	200.00	19.87	17.50	20.87	3.370	37.879	35.188	7.037.60	175.920.36
3000.000	200.00	19.85	16.00	20.85	4.850	68.870	53.374	10.674.88	186.595.24
3200.000	200.00	19.76	15.10	20.76	5.660	89.541	79.206	15.841.12	202.436.36
3400.000	200.00	19.62	15.50	20.62	5.120	75.469	82.505	16.501.00	218.937.36
3600.000	200.00	19.49	14.00	20.49	6.490	113.445	94.457	18.891.40	237.828.76
3800.000	200.00	19.44	14.10	20.44	6.340	108.921	111.183	22.236.64	260.065.40
4000.000	200.00	19.38	13.00	20.38	7.380	142.139	125.530	25.106.00	285.171.40
4200.000	200.00	19.08	14.00	20.08	6.080	101.293	121.716	24.343.16	309.514.56
4400.000	200.00	18.56	15.00	19.56	4.560	62.107	81.700	16.340.00	325.854.56
4600.000	200.00	18.53	14.50	19.53	5.030	73.237	67.672	13.534.40	339.388.96
4800.000	200.00	18.45	13.30	19.45	6.150	103.320	88.278	17.655.68	357.044.64
5000.000	200.00	17.74	12.80	18.74	5.940	97.297	100.309	20.061.72	377.106.36
5200.000	200.00	17.30	12.00	18.30	6.300	107.730	102.514	20.502.72	397.609.08
5400.000	200.00	16.11	11.70	17.11	5.410	82.881	95.306	19.061.12	416.670.20
5600.000	200.00	15.97	11.60	16.97	5.370	81.839	82.360	16.472.00	433.142.20
5800.000	200.00	15.97	11.00	16.97	5.970	98.147	89.993	17.998.56	451.140.76
6000.000	200.00	15.54	10.40	16.54	6.140	103.029	100.588	20.117.60	471.258.36
6200.000	200.00	15.03	10.40	16.03	5.630	88.729	95.879	19.175.80	490.434.16
6400.000	200.00	15.04	10.30	16.04	5.740	91.725	90.227	18.045.40	508.479.56
6600.000	200.00	14.85	10.70	15.85	5.150	76.220	83.973	16,794.52	525.274.08
6800.000	200.00	14.54	10.00	15.54	5.540	86.313	81.267	16,253.32	541,527.40
7000.000	200.00	13.75	9.20	14.75	5.550	86.580	86.447	17,289.32	558,816.72
7200.000	200.00	13.47	8.80	14.47	5.670	89.813	88.196	17,639.28	576,456.00
7400.000	200.00	13.19	8.50	14.19	5.690	90.357	90.085	18,017.00	594,473.00
7600.000	200.00	12.65	8.20	13.65	5.450	83.930	87.144	17,428.72	611,901.72
7800.000	200.00	12.41	8.50	13.41	4.910	70.311	77.121	15,424.12	627,325.84
8000.000	200.00	12.17	8.00	13.17	5.170	76.723	73.517	14,703.40	642,029.24
8119.027	119.03	10.60	8.50	11.60	3.100	33.170	54.946	6,540.11	648,569.35
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>648,569.35</b>	<b>m3</b>

**TABLA VI.37**

**VOLUMEN DEL BORDO DERECHO DEL RÍO TECPAN, GRO. PARA T = 100 AÑOS Y B = 60 METROS  
CON CORONA DE 4.50 m; TALUD DE 1 : 2 Y BORDO LIBRE DE 1.00 m**

CADENAMIENTO	DISTANCIA	ELEVACIÓN DEL AGUA	ELEVACIÓN DEL BORDO NATURAL	ELEVACIÓN DEL AGUA MÁS B.L.	TIRANTE	ÁREA	ÁREA PROMEDIO	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(m3)	(m3)
0+000.000		29.12	25.90	30.12	4.22	54.607			
0+200.000	200.000	28.07	26.00	29.07	3.07	32.665	43.636	8.727.16	8.727.16
0+400.000	200.000	27.37	26.20	28.37	2.17	19.183	25.924	5,184.76	13.911.92
0+600.000	200.000	27.73	28.73	28.73	0.00	0.000	9.591	1,918.28	15.830.20
0+800.000	200.000	27.46	28.46	28.46	0.00	0.000	0.000	0.00	15.830.20
1+000.000	200.000	27.06	28.06	28.06	0.00	0.000	0.000	0.00	15.830.20
1+200.000	200.000	26.92	24.20	27.92	3.72	44.417	22.208	4,441.68	20.271.88
1+400.000	200.000	25.56	26.56	26.56	0.00	0.000	22.208	4,441.68	24.713.56
1+600.000	200.000	23.76	24.76	24.76	0.00	0.000	0.000	0.00	24.713.56
1+800.000	200.000	22.28	20.00	23.28	3.28	36.277	18.138	3,627.68	28.341.24
2+000.000	200.000	20.86	19.00	21.86	2.86	29.229	32.753	6,550.60	34.891.84
2+200.000	200.000	20.18	18.60	21.18	2.58	24.923	27.076	5,415.20	40.307.04
2+400.000	200.000	20.25	18.50	21.25	2.75	27.500	26.211	5,242.28	45,549.32
2+600.000	200.000	20.06	21.06	21.06	0.00	0.000	13.750	2,750.00	48,299.32
2+800.000	200.000	19.87	20.87	20.87	0.00	0.000	0.000	0.00	48,299.32
3+000.000	200.000	19.85	18.80	20.85	2.05	17.630	8.815	1,763.00	50,062.32
3+200.000	200.000	19.76	14.50	20.76	6.26	106.545	62.088	12,417.52	62,479.84
3+400.000	200.000	19.62	15.30	20.62	5.32	80.545	93.545	18,709.00	81,188.84
3+600.000	200.000	19.49	15.50	20.49	4.99	72.255	76.400	15,280.00	96,468.84
3+800.000	200.000	19.44	15.90	20.44	4.54	61.653	66.954	13,390.84	109,859.68
4+000.000	200.000	19.38	14.70	20.38	5.68	90.085	75.869	15,173.80	125,033.48
4+200.000	200.000	19.08	14.40	20.08	5.68	90.085	90.085	18,016.96	143,050.44
4+400.000	200.000	18.56	14.20	19.56	5.36	81.579	85.832	17,166.40	160,216.84
4+600.000	200.000	18.53	13.50	19.53	6.03	99.857	90.718	18,143.60	178,360.44
4+800.000	200.000	18.45	13.80	19.45	5.65	89.270	94.563	18,912.68	197,273.12
5+000.000	200.000	17.74	12.80	18.74	5.94	97.297	93.284	18,656.72	215,929.84
5+200.000	200.000	17.30	13.60	18.30	4.70	65.330	81.314	16,262.72	232,192.56
5+400.000	200.000	16.11	13.20	17.11	3.91	48.171	56.751	11,350.12	243,542.68
5+600.000	200.000	15.97	12.60	16.97	4.37	57.859	53.015	10,603.00	254,145.68
5+800.000	200.000	15.97	12.70	16.97	4.27	55.681	56.770	11,353.96	265,499.64
6+000.000	200.000	15.54	12.00	16.54	4.54	61.653	58.667	11,733.40	277,233.04
6+200.000	200.000	15.03	11.00	16.03	5.03	73.237	67.445	13,489.00	290,722.04
6+400.000	200.000	15.04	10.00	16.04	6.04	100.143	86.690	17,338.00	308,060.04
6+600.000	200.000	14.85	11.00	15.85	4.85	68.870	84.507	16,901.32	324,961.36
6+800.000	200.000	14.54	10.70	15.54	4.84	68.631	68.751	13,750.12	338,711.48
7+000.000	200.000	13.75	10.40	14.75	4.35	57.420	63.026	12,605.12	351,316.60
7+200.000	200.000	13.47	10.00	14.47	4.47	60.077	58.748	11,749.68	363,066.28
7+400.000	200.000	13.19	9.80	14.19	4.39	58.299	59.188	11,837.60	374,903.88
7+600.000	200.000	12.65	9.50	13.65	4.15	53.120	55.710	11,141.92	386,045.80
7+800.000	200.000	12.41	9.20	13.41	4.21	54.393	53.757	10,751.32	396,797.12
8+000.000	200.000	12.17	9.00	13.17	4.17	53.543	53.968	10,793.60	407,590.72
8+119.027	119.027	10.60	8.50	11.60	3.10	33.170	43.356	5,160.58	412,751.30
<b>VOLUMEN TOTAL =</b>								<b>412,751.30</b>	<b>m3</b>

## TABLA VI.38

### VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE ENROCAMIENTO EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO. CON TALUD 1 : 2 Y CORONA DE 4.00 m

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
<b>CADENAMIENTO 0+500</b>								
0	-23.00	0.00	23.90	23.90	0.00	0.00		
1	-11.00	12.00	23.80	22.80	1.00	6.00	3.00	36.00
2	0.00	11.00	23.50	23.00	0.50	2.50	4.25	46.75
3	9.00	9.00	23.10	22.80	0.30	1.38	1.94	17.46
4	11.00	2.00	22.10	22.10	0.00	0.00	0.69	1.38
VOLUMEN TOTAL =								101.59
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								111.75

<b>CADENAMIENTO 0+600</b>								
0	0.00	0.00	23.10	23.10	0.00	0.00		
1	2.00	2.00	23.06	22.80	0.26	1.18	0.59	0.29
2	10.00	8.00	22.90	21.70	1.20	7.68	4.43	2.51
3	15.00	5.00	22.80	22.00	0.80	4.48	6.08	5.25
4	18.60	3.60	22.10	22.10	0.00	0.00	2.24	4.16
VOLUMEN TOTAL =								12.22
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								13.44

<b>CADENAMIENTO 0+800</b>								
0	-5.00	0.00	22.60	22.60	0.00	0.00		
1	-3.00	2.00	22.80	22.50	0.30	1.38	0.69	0.35
2	0.00	3.00	22.79	21.50	1.29	8.49	4.93	2.81
3	2.00	2.00	22.45	20.90	1.55	11.01	9.75	7.34
4	10.00	8.00	22.35	21.20	1.15	7.25	9.13	9.44
5	13.00	3.00	22.30	20.90	1.40	9.52	8.38	8.75
6	17.00	4.00	21.40	21.40	0.00	0.00	4.76	6.57
VOLUMEN TOTAL =								35.26
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								38.78

**TABLA VI.38**

**VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE ENROCAMIENTO  
EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO.  
CON TALUD 1 : 2 Y CORONA DE 4.00 m**

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
CADENAMIENTO 2+200								
0	-10.00	0.00	19.90	19.90	0.00	0.00		
1	0.00	10.00	18.50	18.40	0.10	0.42	0.21	2.10
2	10.00	10.00	17.90	17.00	0.90	5.22	2.82	28.20
3	22.00	12.00	17.50	16.40	1.10	6.82	6.02	72.24
4	23.00	1.00	16.50	16.50	0.00	0.00	3.41	3.41
VOLUMEN TOTAL =								105.95
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								116.55

CADENAMIENTO 2+600								
0	0.00	0.00	18.80	18.80	0.00	0.00		
1	11.00	11.00	17.90	15.10	2.80	26.88	13.44	147.84
2	33.00	22.00	16.30	14.70	1.60	11.52	19.20	422.40
3	41.00	8.00	15.60	15.00	0.60	3.12	7.32	58.56
4	42.00	1.00	14.90	14.90	0.00	0.00	1.56	1.56
VOLUMEN TOTAL =								630.36
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								724.91

CADENAMIENTO 2+730								
0	5.00	0.00	17.70	17.70	0.00	0.00		
1	13.00	8.00	17.30	15.10	2.20	18.48	9.24	4.62
2	30.00	17.00	16.20	14.90	1.30	8.58	13.53	11.39
3	40.00	10.00	15.70	14.60	1.10	6.82	7.70	10.62
4	42.00	2.00	14.60	14.60	0.00	0.00	3.41	5.56
VOLUMEN TOTAL =								32.18
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								35.39

**TABLA VI.38**

**VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE ENROCAMIENTO  
EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO.  
CON TALUD 1 : 2 Y CORONA DE 4.00 m**

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
<b>CADENAMIENTO 2+870</b>								
0	0.00	0.00	17.50	17.50	0.00	0.00		
1	5.00	5.00	17.30	17.00	0.30	1.38	0.69	3.45
2	12.00	7.00	16.70	14.80	1.90	14.82	8.10	56.70
3	24.00	12.00	16.20	14.60	1.60	11.52	13.17	158.04
4	36.00	12.00	15.60	14.50	1.10	6.82	9.17	110.04
5	38.00	2.00	14.60	14.60	0.00	0.00	3.41	6.82
VOLUMEN TOTAL =								335.05
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								368.56

<b>CADENAMIENTO 3+000</b>								
0	0.00	0.00	16.30	16.30	0.00	0.00		
1	5.00	5.00	15.80	14.20	1.60	11.52	5.76	28.80
2	10.00	5.00	15.60	14.20	1.40	9.52	10.52	52.60
3	20.00	10.00	15.20	14.10	1.10	6.82	8.17	81.70
4	30.00	10.00	15.00	14.00	1.00	6.00	6.41	64.10
5	35.00	5.00	14.00	14.00	0.00	0.00	3.00	15.00
6	37.00	2.00	14.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VOLUMEN TOTAL =								242.20
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								266.42

<b>CADENAMIENTO 3+100</b>								
0	0.00	0.00	15.80	15.80	0.00	0.00		
1	8.00	8.00	15.60	15.30	0.30	1.38	0.69	5.52
2	27.00	19.00	15.40	13.80	1.60	11.52	6.45	122.55
3	30.00	3.00	14.70	13.60	1.10	6.82	9.17	27.51
4	35.00	5.00	14.70	13.40	1.30	8.58	7.70	38.50
5	37.00	2.00	13.50	13.50	0.00	0.00	4.29	8.58
VOLUMEN TOTAL =								202.66
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								222.93

TABLA VI.38

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS ESPIGONES DE ROCA,  
EN M. IZQ. DEL RÍO TECPAN, GRO.

NÚM	ESTACIÓN (Km)	LONGITUD TRABAJO (m)	LONGITUD TOTAL (m)	ELEVACIÓN A (m)	ELEVACIÓN B (m)	ÁNGULO DE ORIENTACIÓN		COORDENADAS		VOLUMEN m <sup>3</sup>
						a	b	X	Y	
1	0+500	32.00	34.00	23.90	23.10	70	5.5	327,089	1,906,036	111.75
2	0+600	15.00	16.20	23.10	22.80	65	5.0	327,000	1,905,987	13.44
3	0+800	22.00	22.00	22.60	22.30	70		326,845	1,905,849	38.78
4	2+200	42.00	42.80	19.90	17.00	70	6.5	326,180	1,904,858	116.55
5	2+600	41.00	41.00	18.80	15.60	65	7.0	326,264	1,904,470	724.91
6	2+730	35.00	37.20	17.70	15.70	70	7.0	236,278	1,904,340	35.39
7	2+870	36.00	38.00	17.50	15.60	65	7.0	326,278	1,904,200	368.56
8	3+000	35.00	37.60	16.30	15.00	65	7.0	326,252	1,904,064	266.42
9	3+100	35.00	36.80	15.80	14.40	65		326,222	1,903,975	222.93
<b>TOTAL</b>										<b>1,898.73</b>

**TABLA VI.39**

**VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE GAVIONES  
EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO.  
CON TALUD 1 : 1 Y CORONA DE 3.00 m**

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
CADENAMIENTO 0+500								
0	-23.00	0.00	23.90	23.90	0.00	0.00		
1	-11.00	12.00	23.80	22.80	1.00	4.00	2.00	24.00
2	0.00	11.00	23.50	23.00	0.50	1.75	2.88	31.63
3	9.00	9.00	23.10	22.80	0.30	0.99	1.37	12.33
4	11.00	2.00	22.10	22.10	0.00	0.00	0.50	0.99
VOLUMEN TOTAL =								68.95
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								75.84

CADENAMIENTO 0+600								
0	0.00	0.00	23.10	23.10	0.00	0.00		
1	2.00	2.00	23.06	22.80	0.26	0.85	0.42	0.21
2	10.00	8.00	22.90	21.70	1.20	5.04	2.94	1.68
3	15.00	5.00	22.80	22.00	0.80	3.04	4.04	3.49
4	18.60	3.60	22.10	22.10	0.00	0.00	1.52	2.78
VOLUMEN TOTAL =								8.17
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								8.98

CADENAMIENTO 0+800								
0	-5.00	0.00	22.60	22.60	0.00	0.00		
1	-3.00	2.00	22.80	22.50	0.30	0.99	0.50	0.25
2	0.00	3.00	22.79	21.50	1.29	5.53	3.26	1.88
3	2.00	2.00	22.45	20.90	1.55	7.05	6.29	4.78
4	10.00	8.00	22.35	21.20	1.15	4.77	5.91	6.10
5	13.00	3.00	22.30	20.90	1.40	6.16	5.47	5.69
6	17.00	4.00	21.40	21.40	0.00	0.00	3.08	4.27
VOLUMEN TOTAL =								22.97
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								25.27



**TABLA VI.39**

**VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE GAVIONES  
EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO.  
CON TALUD 1 : 1 Y CORONA DE 3.00 m**

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
CADENAMIENTO 2+200								
0	-10.00	0.00	19.90	19.90	0.00	0.00		
1	0.00	10.00	18.50	18.40	0.10	0.31	0.16	1.55
2	10.00	10.00	17.90	17.00	0.90	3.51	1.91	19.10
3	22.00	12.00	17.50	16.40	1.10	4.51	4.01	48.12
4	23.00	1.00	16.50	16.50	0.00	0.00	2.26	2.26
VOLUMEN TOTAL =								71.03
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								78.13

CADENAMIENTO 2+600								
0	0.00	0.00	18.80	18.80	0.00	0.00		
1	11.00	11.00	17.90	15.10	2.80	16.24	8.12	89.32
2	33.00	22.00	16.30	14.70	1.60	7.36	11.80	259.60
3	41.00	8.00	15.60	15.00	0.60	2.16	4.76	38.08
4	42.00	1.00	14.90	14.90	0.00	0.00	1.08	1.08
VOLUMEN TOTAL =								388.08
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								446.29

CADENAMIENTO 2+730								
0	5.00	0.00	17.70	17.70	0.00	0.00		
1	13.00	8.00	17.30	15.10	2.20	9.24	4.62	2.31
2	30.00	17.00	16.20	14.90	1.30	4.29	6.77	5.69
3	40.00	10.00	15.70	14.60	1.10	3.41	3.85	5.31
4	42.00	2.00	14.60	14.60	0.00	0.00	1.71	2.78
VOLUMEN TOTAL =								16.09
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								17.70



**TABLA VI.39**

**VOLUMEN DEL ESPIGÓN DE GAVIONES  
EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TECPAN, GRO.  
CON TALUD 1 : 1 Y CORONA DE 3.00 m**

PTO.	DISTANCIA	DISTANCIA ENTRE PUNTOS	ELEVACION CORONA ESPIGÓN	ELEVACION FONDO DEL CAUCE	ALTURA DEL ESPIGÓN	ÁREA	ÁREA MEDIA	VOLUMEN EN ESPIGÓN
<b>CADENAMIENTO 2+870</b>								
0	0.00	0.00	17.50	17.50	0.00	0.00		
1	5.00	5.00	17.30	17.00	0.30	0.99	0.50	2.48
2	12.00	7.00	16.70	14.80	1.90	9.31	5.15	36.05
3	24.00	12.00	16.20	14.60	1.60	7.36	8.33	100.02
4	36.00	12.00	15.60	14.50	1.10	4.51	5.94	71.22
5	38.00	2.00	14.60	14.60	0.00	0.00	2.26	4.51
VOLUMEN TOTAL =								214.28
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								235.70

<b>CADENAMIENTO 3+000</b>								
0	0.00	0.00	16.30	16.30	0.00	0.00		
1	5.00	5.00	15.80	14.20	1.60	7.36	3.68	18.40
2	10.00	5.00	15.60	14.20	1.40	6.16	6.76	33.80
3	20.00	10.00	15.20	14.10	1.10	4.51	5.34	53.35
4	30.00	10.00	15.00	14.00	1.00	4.00	4.26	42.55
5	35.00	5.00	14.00	14.00	0.00	0.00	2.00	10.00
6	37.00	2.00	14.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VOLUMEN TOTAL =								158.10
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								173.91

<b>CADENAMIENTO 3+100</b>								
0	0.00	0.00	15.80	15.80	0.00	0.00		
1	8.00	8.00	15.60	15.30	0.30	0.99	0.49	3.96
2	27.00	19.00	15.40	13.80	1.60	7.36	4.18	79.32
3	30.00	3.00	14.70	13.60	1.10	4.51	5.94	17.81
4	35.00	5.00	14.70	13.40	1.30	5.59	5.05	25.25
5	37.00	2.00	13.50	13.50	0.00	0.00	2.80	5.59
VOLUMEN TOTAL =								131.93
VOLUMEN INCREMENTADO 10% =								145.12

**TABLA VI.39**

**CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS ESPIGONES DE GAVIONES,  
EN M. IZQ. DEL RÍO TECPAN, GRO.**

NÚM	ESTACIÓN (Km)	LONGITUD TRABAJO (m)	LONGITUD TOTAL (m)	ELEVACIÓN A (m)	ELEVACIÓN B (m)	ÁNGULO DE ORIENTACIÓN		COORDENADAS		VOLUMEN m <sup>3</sup>
						a	b	X	Y	
1	0+500	32.00	34.00	23.90	23.10	70	5.5	327,089	1,906,036	75.84
2	0+600	15.00	16.20	23.10	22.80	65	5.0	327,000	1,905,987	8.98
3	0+800	22.00	22.00	22.60	22.30	70		326,845	1,905,849	25.27
4	2+200	42.00	42.80	19.90	17.00	70	6.5	326,180	1,904,858	78.13
5	2+600	41.00	41.00	18.80	15.60	65	7.0	326,264	1,904,470	446.29
6	2+730	35.00	37.20	17.70	15.70	70	7.0	236,278	1,904,340	17.70
7	2+870	36.00	38.00	17.50	15.60	65	7.0	326,278	1,904,200	235.70
8	3+000	35.00	37.60	16.30	15.00	65	7.0	326,252	1,904,064	173.91
9	3+100	35.00	36.80	15.80	14.40	65		326,222	1,903,975	145.12
<b>TOTAL</b>										<b>1,206.94</b>

**TABLA VI.40**

**PROYECTO DE RECTIFICACION EN EL RÍO TECPAN, GUERRERO  
ALTERNATIVA No. 1  
CATÁLOGO DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA E IMPORTE**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
<b>BORDO DERECHO</b>				
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=4707 M <sup>3</sup> /S	M <sup>3</sup>	352,064	\$15.00	\$5,280,960.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M <sup>3</sup> - KM	352,064	\$7.00	\$2,464,448.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (5 KM)	M <sup>3</sup> - KM	1,760,320	\$5.00	\$8,801,600.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$16,547,008.00</b>
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=5402 M <sup>3</sup> /S	M <sup>3</sup>	431,837	\$15.00	\$6,477,555.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M <sup>3</sup> - KM	431,837	\$7.00	\$3,022,859.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (5 KM)	M <sup>3</sup> - KM	2,159,185	\$5.00	\$10,795,925.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$20,296,339.00</b>
<b>BORDO IZQUIERDO</b>				
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=4707 M <sup>3</sup> /S	M <sup>3</sup>	563,244	\$15.00	\$8,448,660.00
EXCAVACIÓN EN CAUCE PARA CAUCE PILOTO, B=50.00 M	M <sup>3</sup>	376,108	\$10.00	\$3,761,080.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M <sup>3</sup> - KM	563,244	\$7.00	\$3,942,708.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (1.66 KM)	M <sup>3</sup> - KM	935,680	\$5.00	\$4,678,400.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$20,830,848.00</b>
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=5402 M <sup>3</sup> /S	M <sup>3</sup>	674,419	\$15.00	\$10,116,285.00
EXCAVACIÓN EN CAUCE PARA CAUCE PILOTO, B=50.00 M	M <sup>3</sup>	376,108	\$10.00	\$3,761,080.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M <sup>3</sup> - KM	674,419	\$7.00	\$4,720,933.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (2.21 KM)	M <sup>3</sup> - KM	1,491,555	\$5.00	\$7,457,775.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$26,056,073.00</b>

**TABLA VI.41**

<p align="center"><b>PROYECTO DE RECTIFICACION EN EL RÍO TECPAN, GUERRERO ALTERNATIVA No. 2 CATÁLOGO DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA E IMPORTE</b></p>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
<b>BORDO DERECHO</b>				
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=4707 M3/S	M3	343,696	\$15.00	\$5,155,440.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M3- KM	343,696	\$7.00	\$2,405,872.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (5 KM)	M3-KM	1,718,480	\$5.00	\$8,592,400.00
TOTAL				\$16,153,712.00
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=5402 M3/S	M3	412,751	\$15.00	\$6,191,265.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M3- KM	412,751	\$7.00	\$2,889,257.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (5 KM)	M3-KM	2,063,755	\$5.00	\$10,318,775.00
TOTAL				\$19,399,297.00
<b>BORDO IZQUIERDO</b>				
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=4707 M3/S	M3	547,472	\$15.00	\$8,212,080.00
EXCAVACIÓN EN CAUCE PARA CAUCE PILOTO, B=60.00 M	M3	484,535	\$10.00	\$4,845,350.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M3- KM	547,472	\$7.00	\$3,832,304.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (0.57 KM)	M3-KM	314,685	\$5.00	\$1,573,425.00
TOTAL				\$18,463,159.00
FORMACIÓN DE TERRAPLÉN PARA Q=5402 M3/S	M3	648,569	\$15.00	\$9,728,535.00
EXCAVACIÓN EN CAUCE PARA CAUCE PILOTO, B=60.00 M	M3	484,535	\$10.00	\$4,845,350.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE MATERIAL PARA TERRAPLÉN	M3- KM	648,569	\$7.00	\$4,539,983.00
SOBRE ACARREO DE MATERIAL DE BANCO PARA FORMAR TERRAPLÉN, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (1.26 KM)	M3-KM	820,170	\$5.00	\$4,100,850.00
TOTAL				\$23,214,718.00

**TABLA VI.42**

<p align="center"><b>PROYECTO DE PROTECCIÓN MARGINAL EN EL RÍO TECPAN, GUERRERO</b>  <b>ALTERNATIVA No. 1</b>  <b>ESPIGONES CON ROCA</b>  <b>CATÁLOGO DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA E IMPORTE</b></p>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
ACARREO DE ROCA EN EL PRIMER KILÓMETRO EN CAMINO DE TERRACERÍA	M <sup>3</sup>	1,898	\$12.00	\$22,776.00
SOBRE ACARREO DE ROCA EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMER KILÓMETRO (1.0 KM)	M <sup>3</sup> -KM	1,898	\$5.00	\$9,490.00
OBTENCIÓN, CARGA, DESCARGA Y COLOCACIÓN DE ENROCAMIENTO PROVENIENTES DE BANCOS DE PRÉSTAMO PARA FORMAR ESPIGONES	M <sup>3</sup>	1,898	\$100.00	\$189,800.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$222,066.00</b>

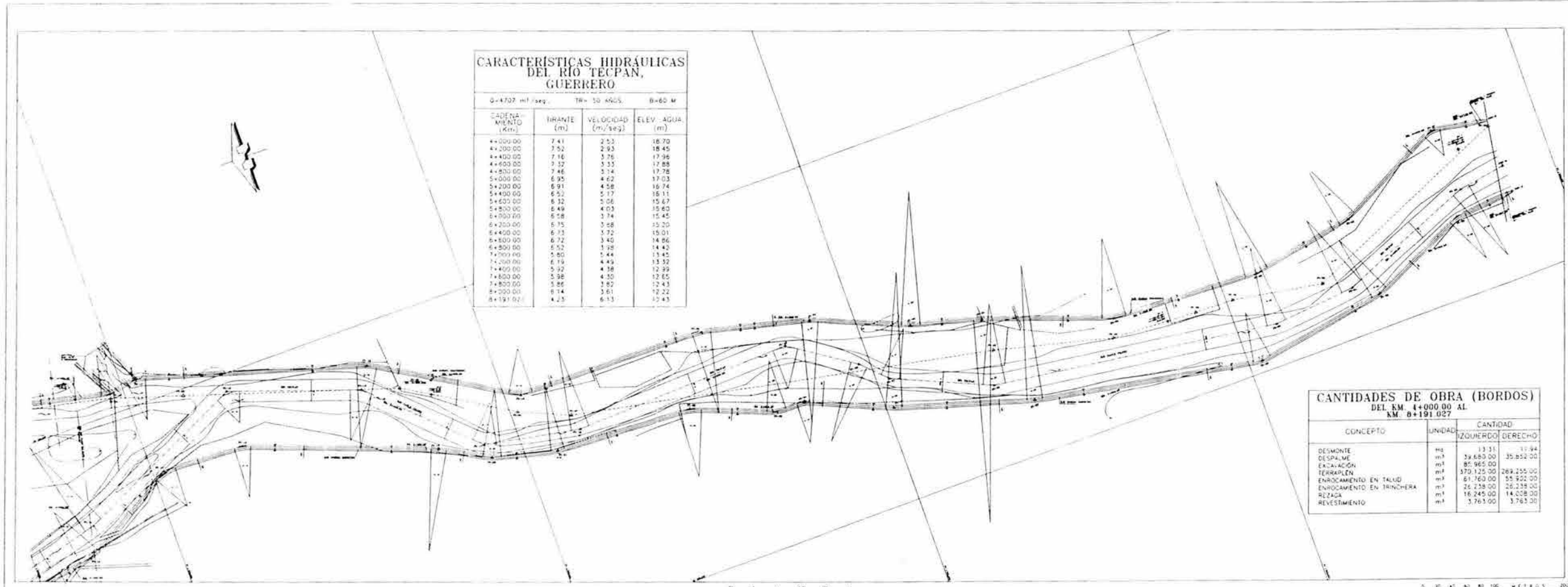
**TABLA VI.43**

<p align="center"><b>PROYECTO DE PROTECCIÓN MARGINAL EN EL RÍO TECPAN, GUERRERO</b>  <b>ALTERNATIVA No. 2</b>  <b>ESPIGONES DE GAVIONES</b>  <b>CATÁLOGO DE CONCEPTOS, CANTIDADES DE OBRA E IMPORTE</b></p>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
OBTENCIÓN Y COLOCACIÓN DE PIEDRA PARA LLENADO DE GAVIONES	M <sup>3</sup>	1206.00	250.00	\$301,500.00
ACARREO EN EL PRIMER KILÓMETRO DE PIEDRA PARA EL LLENADO DE GAVIONES	M <sup>3</sup>	1206.00	12.00	\$14,472.00
SOBRE ACARREO DE PIEDRA PARA LLENADO DE GAVIONES, EN LOS KILÓMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO	M <sup>3</sup> -KM	1206.00	5.00	\$6,030.00
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GAVIÓN RECTANGULAR DE 2.0x1.0x0.50 M DE MALLA METÁLICA DE TRIPLE TORSIÓN DE ALAMBRE DE ACERO GALVANIZADO CALIBRE 12 REFORZADO EN SUS ARISTAS CON ALAMBRE DE ACERO GALVANIZADO CALIBRE 10, CON ESCUADRÍA DE 8 x10 cm INCLUYE ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE 13.5 COCIDO Y TENSORES	PZA.	1206.00	513.00	\$618,678.00
			TOTAL	\$940,680.00

# PLANOS







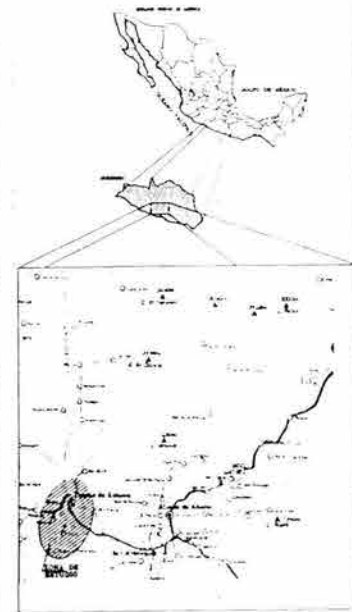
**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL RÍO TEPAN, GUERRERO**

Q=4.727 m³/seg. TR= 50 AÑOS. B=60 M

CADENA-MIENTO (Km.)	IRRIANTE (m)	VELOCIDAD (m/seg)	ELEV. AGUA (m)
4+000.00	7.41	2.53	16.70
4+200.00	7.52	2.93	16.45
4+400.00	7.16	3.76	17.98
4+600.00	7.37	5.35	17.88
4+800.00	7.46	5.74	17.78
5+000.00	6.95	4.62	17.03
5+200.00	6.91	4.58	16.74
5+400.00	6.52	5.17	16.11
5+600.00	6.32	5.06	15.67
5+800.00	6.48	4.03	15.63
6+000.00	6.58	3.74	15.45
6+200.00	6.75	3.58	15.20
6+400.00	6.73	3.72	15.01
6+600.00	6.72	3.40	14.86
6+800.00	6.52	3.98	14.42
7+000.00	5.80	5.44	13.45
7+200.00	6.19	4.49	13.50
7+400.00	5.72	4.38	13.25
7+600.00	5.98	4.50	13.65
7+800.00	5.88	3.89	13.43
8+000.00	6.14	3.61	13.22
8+191.02	4.25	6.13	13.43

**CANTIDADES DE OBRA (BORDOS) DEL KM 4+000.00 AL KM 8+191.02**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	
		IZQUIERDO	DERECHO
DESMONTE	m³	13.31	11.94
DESPLAZE	m³	38,683.00	35,852.00
EXCAVACIÓN	m³	85,965.00	
TERRAPLEN	m³	370,125.00	269,255.00
ENROCAMIENTO EN TALUD	m³	61,760.00	55,422.00
ENROCAMIENTO EN TRINCHERA	m³	26,758.00	26,758.00
REZACA	m³	16,245.00	14,038.00
REVESTIMIENTO	m²	3,763.00	3,763.00



**SIMBOLOGIA**

POLIGONO DE MUDA	[Symbol]
VENTAJA DE POLIGONO DE APOYO	[Symbol]
ESPESOR DEL AGUA	[Symbol]
SENTIDO DE ESCARPAMIENTO	[Symbol]
PARAPETO	[Symbol]
CARRETERA	[Symbol]
CONSTRUCCION	[Symbol]
PUNTE	[Symbol]
BANCO DE ARIEL	[Symbol]
POSTE DE ALI	[Symbol]
POLIGONO DE PROYECTO	[Symbol]
VENTAJA DE POLIGONO DE PROYECTO	[Symbol]
PLANTILLA	[Symbol]
ESCALA DE BORDO	[Symbol]

**P L A N T A**

**POLIGONAL DEL CAUCE PILOTO DE PROYECTO DATOS DE LAS CURVAS**

EST	P V	CADEN (M)	DIST (M)	RUMBO	X	Y
1	1	100	0	90	100	0
2	1	100	100	0	100	100
3	1	100	200	0	100	200
4	1	100	300	0	100	300
5	1	100	400	0	100	400
6	1	100	500	0	100	500
7	1	100	600	0	100	600
8	1	100	700	0	100	700
9	1	100	800	0	100	800
10	1	100	900	0	100	900
11	1	100	1000	0	100	1000

**POLIGONAL BORDO DERECHO DE PROYECTO DATOS DE LAS CURVAS**

EST	P V	CADEN (M)	DIST (M)	RUMBO	X	Y
1	1	100	0	90	100	0
2	1	100	100	0	100	100
3	1	100	200	0	100	200
4	1	100	300	0	100	300
5	1	100	400	0	100	400
6	1	100	500	0	100	500
7	1	100	600	0	100	600
8	1	100	700	0	100	700
9	1	100	800	0	100	800
10	1	100	900	0	100	900
11	1	100	1000	0	100	1000

**POLIGONAL BORDO IZQUIERDO DE PROYECTO DATOS DE LAS CURVAS**

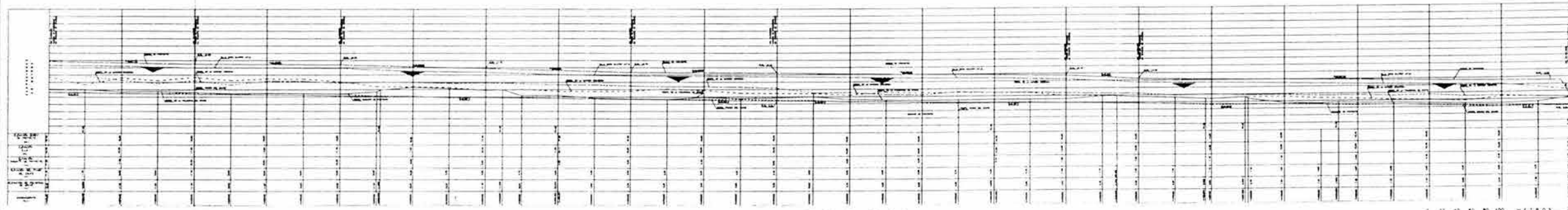
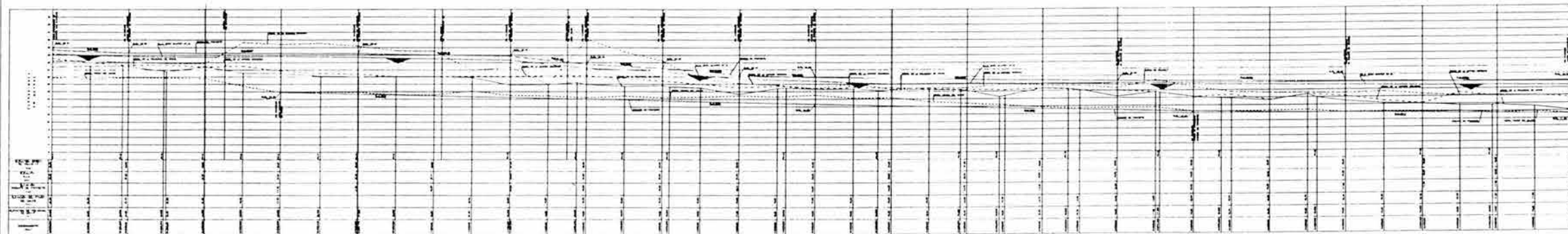
EST	P V	CADEN (M)	DIST (M)	RUMBO	X	Y
1	1	100	0	90	100	0
2	1	100	100	0	100	100
3	1	100	200	0	100	200
4	1	100	300	0	100	300
5	1	100	400	0	100	400
6	1	100	500	0	100	500
7	1	100	600	0	100	600
8	1	100	700	0	100	700
9	1	100	800	0	100	800
10	1	100	900	0	100	900
11	1	100	1000	0	100	1000

**POLIGONAL DE APOYO**

EST	P V	CADEN (M)	DIST (M)	RUMBO	X	Y
1	1	100	0	90	100	0
2	1	100	100	0	100	100
3	1	100	200	0	100	200
4	1	100	300	0	100	300
5	1	100	400	0	100	400
6	1	100	500	0	100	500
7	1	100	600	0	100	600
8	1	100	700	0	100	700
9	1	100	800	0	100	800
10	1	100	900	0	100	900
11	1	100	1000	0	100	1000

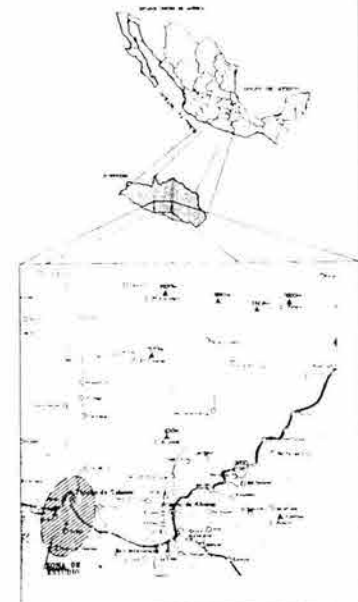
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO FACULTAD DE INGENIERIA

**BORDOS DE PROTECCIÓN**  
PLANTA PROYECTO EJECUTIVO  
DEL KM 4+000.00 AL KM 8+191.02  
DEL RÍO TEPAN, GUERRERO



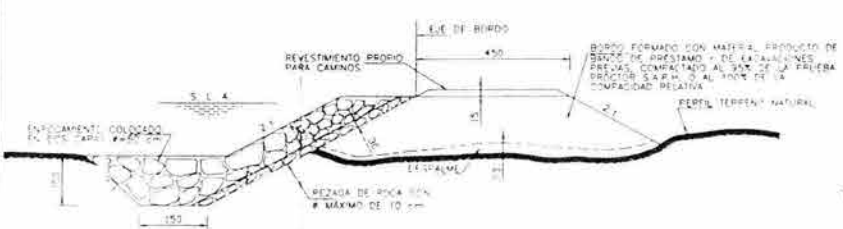
PERFIL

ESCALA HORIZONTAL 1 : 2,000  
 ESCALA VERTICAL 1 : 200

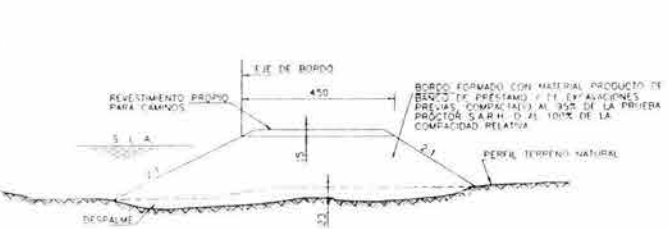


SIMBOLOGÍA:

SEÑAL DE ALERTE	
FIN DE ALERTE	
MARCA DE VERTICE	
MARCA DE PIVOTE	
SEÑAL DE PASADIZO	
SEÑAL DE PROHIBICIÓN	



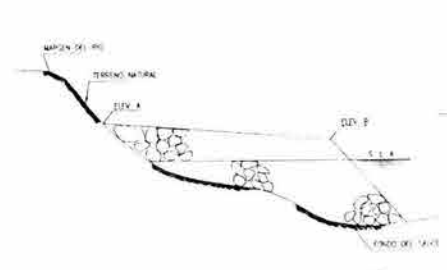
SECCIÓN TIPO DE BORDO EN ZONAS CON ENROCAMIENTO



SECCIÓN TIPO DE BORDO



VISTA EN PLANTA DEL ESPIGÓN



VISTA LONGITUDINAL DEL ESPIGÓN



SECCIÓN TIPO DE ESPIGÓN CON ENROCAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 REGIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO FACULTAD DE INGENIERÍA

BORRIS DE PROTECCIÓN  
 TÍTULO PROYECTO EJECUTIVO  
 DEL KM. 0+000.00 AL KM. 8+101.027  
 DEL RÍO TEFAN, GUERRERO

# **ANEXO DE GEOTECNIA**

TABLA 1. POZOS A CIELO ABIERTO ( PCA).

P.C.A.	CADEN. (KM)	SITIO	PROF. (m)
1	-0+800	M. IZQUIERDA	2.15
2	-0+500	M. IZQUIERDA	1.85
3	0+200	M. IZQUIERDA	2.85
4	1+000	M. IZQUIERDA	2.10
5	0+000	M. DERECHA	1.75
6	2+000	M. IZQUIERDA	1.85
7	2+500	M. IZQUIERDA	1.90
8	3+000	M. IZQUIERDA	1.10
9	4+000	M. IZQUIERDA	3.10
10	5+000	M. IZQUIERDA	1.20
11	6+000	M. IZQUIERDA	1.10
12	7+000	M. IZQUIERDA	1.90
13	3+000	M. DERECHA	2.40
14	3+500	M. DERECHA	1.40
15	3+000	ISLA, DERECHA	2.10
16	3+000	ISLA, CENTRO	2.60
17	3+000	ISLA, IZQUIERDA	1.60
		TOTAL	32.95

TABLA 2. CALAS DE CAMPO.

CALA No.	CADEN. (KM)	LADO	PCA No.	PESO VOL.	PESO VOL.	% DE COMPAC- TACIÓN	HUMEDAD
				MÁXIMO (Kg/m <sup>3</sup> )	MAT. SECO (Kg/m <sup>3</sup> )		+1 (%)
1	-0+800	IZQ.	1	1,621	1,605	91.65	17.98
2	-0+500	IZQ.	2	1,582	1,591	94.53	12.87
3	0+000	DER.	5	1,918	1,915	95.57	5.49
4	0+200	IZQ.	3	1,925	1,954	85.68	4.93
5	1+000	IZQ.	4	1,914	1,920	95.80	3.01
6	2+000	IZQ.	6	1,846	1,883	76.60	3.82
7	2+500	IZQ.	7	1,911	1,910	100.00	2.91
8	3+000	IZQ.	8	1,833	1,858	84.80	2.50
9	3+000	DER.	13	1,909	1,969	74.58	7.53
10	3+500	DER.	14	1,914	1,919	97.14	6.38
11	4+000	IZQ.	9	1,891	1,910	88.50	7.53
12	5+000	IZQ.	10	1,896	1,943	76.62	6.38
13	6+000	IZQ.	11	1,453	1,642	88.40	28.87
14	7+000	IZQ.	12	1,253	1,580	79.30	32.49
15	3+000	ISL. I	17	1,345	1,785	75.20	5.93
16	3+000	ISL. D	15	1,268	1,760	72.00	7.69

**TABLA 3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	GRANULOMETRÍAS			
			> 3"	GRAVAS	ARENAS	FINOS
TR-1	1	0.65	0.00	18.83	24.96	56.21
TR-1	2	0.60	0.00	4.38	34.66	60.95
TR-1	3	1.65	0.00	6.07	82.89	11.04
TR-2	1	1.00	0.00	45.81	24.72	29.47
TR-2	2	1.50	0.00	41.38	49.78	8.84
TR-2	3	1.00	0.00	56.86	31.53	11.60
TR-3	1	4.00	0.00	0.00	68.15	31.85
TR-3	2	4.00	0.00	0.00	72.66	27.34
TR-3	3	2.00	0.00	0.00	88.24	11.76
TR-3	4	1.00	0.00	0.00	46.28	53.72
TR-3	5	1.00	0.00	0.00	40.20	59.80
TR-4	1	1.00	0.00	35.43	37.68	26.88
TR-4	2	1.00	0.00	45.01	34.15	20.84
TR-4	3	0.85	0.00	6.46	72.34	21.20
TR-4	4	1.10	0.00	9.06	48.03	42.90
TR-5	5	1.00	0.00	31.42	31.01	37.57

**TABLA 4. CONTENIDO DE AGUA EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	CONT. AGUA (%)
TR-1	1	0.65	12.33
TR-1	2	0.60	10.42
TR-1	3	1.65	13.48
TR-2	1	1.00	13.97
TR-2	2	1.50	9.82
TR-2	3	1.00	8.86
TR-3	1	4.00	4.67
TR-3	2	4.00	6.04
TR-3	3	2.00	6.22
TR-3	4	1.00	4.12
TR-3	5	1.00	5.44
TR-4	1	1.00	9.67
TR-4	2	1.00	12.28
TR-4	3	0.85	14.16
TR-4	4	1.10	13.05
TR-5	5	1.00	8.89

**TABLA 5. LÍMITES DE CONSISTENCIA EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES- TRA	PROF. (m)	LÍMITES DE PLASTICIDAD		
			LL	LP	IP
TR-1	1	0.65	31.50	25.42	6.08
TR-1	2	0.60	44.20	34.59	9.61
TR-1	3	1.65	48.00	31.22	16.78
TR-2	1	1.00	35.10	28.69	6.41
TR-2	2	1.50	30.10	27.08	3.02
TR-2	3	1.00	41.50	35.42	6.08
TR-3	1	4.00	30.00	23.20	6.80
TR-3	2	4.00	30.20	23.96	6.24
TR-3	3	2.00	32.50	27.46	5.04
TR-3	4	1.00	30.50	25.32	5.18
TR-3	5	1.00	32.10	23.55	8.55
TR-4	1	1.00	38.50	21.41	17.09
TR-4	2	1.00	36.10	22.63	13.47
TR-4	3	0.85	25.80	22.39	3.41
TR-4	4	1.10	30.10	19.20	10.90
TR-5	5	1.00	28.10	21.41	6.69



**TABLA 6. PRUEBAS PRÓCTOR SRH EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	PRÓCTOR	
			$W_{(OPTIMO)}$	$\gamma_{(OPTIMO)}$
TR-1	2	0.60	15.90	1,760
TR-2	1	1.00	13.30	1,905
TR-3	1	4.00	20.20	1,720
TR-3	2	4.00	18.30	1,735
TR-3	3	2.00	17.60	1,860

**TABLA 7. COMPACIDAD RELATIVA EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	COMPACIDAD	
			$\gamma_{(mínimo)}$	$\gamma_{(máximo)}$
TR-1	3	1.65	1,437	1,603
TR-2	2	1.50	1,564	1,719
TR-3	4	1.00	1,445	1,658
TR-4	2	1.00	1,415	1,588
TR-4	5	1.00	1,765	2,009

**TABLA 8. DENSIDAD DE SÓLIDOS EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	DENSIDAD SÓLIDOS
TR-1	2	0.60	2.40
TR-2	3	1.00	2.22
TR-3	3	2.00	1.82
TR-3	5	1.00	1.86
TR-4	3	0.85	2.00

**TABLA 9. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA – NO DRENADA EN BANCOS PARA FORMACIÓN DE TERRAPLENES.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	COMPACIDAD	
			$\theta$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )
TR-3	3	1.65	10	6.50
TR-2	2	1.50	12	1.90
TR-3	1	4.00	11	1.75
TR-3	2	4.00	9	1.50
TR-4	2	1.00	7	1.75

**TABLA 10. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN BANCOS PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	GRANULOMETRÍAS			
			> 3"	GRAVAS	ARENAS	FINOS
-0+400	1	1.00	6.92	55.09	30.11	7.88
-0+300	2	0.90	2.05	53.90	35.30	8.74
1+000	3	0.80	2.33	47.88	38.09	11.70
1+100	4	1.00	10.41	60.67	24.39	4.54
2+000	5	1.00	9.77	49.95	28.34	11.94
2+500	6	0.75	8.97	48.22	39.10	3.71
ISLA D.	7	1.50	12.01	52.41	34.68	0.91
ISLA C.	8	1.00	7.13	57.50	30.54	4.82

**TABLA 11. LÍMITES DE CONSISTENCIA EN BANCOS PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	LÍMITES DE PLASTICIDAD		
			LL	LP	IP
-0+400	1	1.00	21.10	14.45	6.65
-0+300	2	0.90	19.20	14.09	5.11
1+000	3	0.80	20.10	14.95	5.15
1+100	4	1.00	19.90	N.P.	N.P.
2+000	5	1.00	20.50	19.35	1.15
2+500	6	0.75	20.20	N.P.	NP..
ISLA D.	7	1.50	21.40	21.03	0.37

**TABLA 12. PRUEBAS PRÓCTOR SRH EN BANCOS PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS.**

BANCO	MUES- TRA	PROF. (m)	PROCTOR	
			$W_{(OPTIMO)}$	$\gamma_{(OPTIMO)}$
-0+400	1	1.00	10.40	1,930
-0+300	2	0.90	17.10	1,775
1+000	3	0.80	10.90	1,955
1+100	4	1.00	9.50	1,935

**TABLA 13. COMPACIDAD RELATIVA EN BANCOS PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS.**

BANCO	MUES- TRA	PROF. (m)	COMPACIDAD	
			$\gamma_{(mínimo)}$	$\gamma_{(máximo)}$
-0+400	1	1.00	1,504	1,736
-0+300	2	0.90	1,361	1,549
1+000	3	0.80	1,480	1,722
1+100	4	1.00	1,646	1,773

**TABLA 14. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN BANCOS DE GRAVA – ARENA.**

BANCO	MUES-TRA	PROF. (m)	GRANULOMETRÍAS			
			> 3"	GRAVAS	ARENAS	FINOS
G/A-1	1	0.90	0.00	26.06	71.96	1.98
G/A-1	2	1.00	0.00	31.10	67.11	1.79
G/A-1	3	0.90	0.00	40.51	58.03	1.46
G/A-2	1	1.20	0.00	44.56	52.13	3.30
G/A-2	2	1.10	0.00	42.80	55.48	1.72
G/A-2	3	1.15	0.00	21.55	76.68	1.77
G/A-3	1	1.00	0.00	22.79	79.95	0.26
G/A-3	2	1.00	0.00	46.19	52.57	1.24
G/A-3	3	1.00	0.00	44.17	55.04	0.78
G/A-5	1	0.80	0.00	6.30	93.10	0.60

**TABLA 15. INTEMPERISMO ACELERADO EN BANCOS DE ROCA Y REZAGA.**

BANCO	INTEMPERISMO ACELERADO
G/A-1	4.17
G/A-2	4.55
G/A-3	4.30

**TABLA 16. PRUEBAS DE ABSORCIÓN EN BANCOS DE  
ROCA Y REZAGA.**

BANCO	ABSORCIÓN (%)
G/A-1	1.745
G/A-2	1.143
G/A-3	2.056

**TABLA 17. PESO VOLUMÉTRICO EN BANCOS DE  
ROCA Y REZAGA.**

BANCO	CORTE	PROF. (m)	PESO VOLUMÉTRICO		
			SECO	SATURADO	HUM. (%)
G/A-1	1	0.90	2,098	2,268	8.1
G/A-1	2	1.00	1,874	1,995	6.5
G/A-1	3	0.90	2,011	2,159	7.3
G/A-2	1	1.20	2,006	2,218	10.6
G/A-2	2	1.10	1,974	2,165	9.7
G/A-2	3	1.15	1,854	2,005	8.1
G/A-3	1	1.00	1,966	2,153	9.5
G/A-3	2	1.00	1,963	2,106	7.3
G/A-3	3	1.00	1,848	2,025	9.5
G/A-5	1	0.80	1,700	1,831	7.7

**TABLA 18. CONTENIDO DE AGUA EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	C. AGUA (%)
1	2.15	4.7
2	1.85	1.3
3	2.85	5.5
4	2.10	3.4
5	1.75	1.5
6	1.85	29.5
7	1.90	10.8
8	1.10	4.1
9	3.10	17.9
10	1.20	4.4
11	1.10	7.4
12	1.90	3.1
13	2.40	8.1
14	1.40	21.3
15	2.10	1.9
16	2.60	3.3
17	1.60	29.4

**TABLA 19. PORCENTAJE DE FINOS EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	% DE PÉRDIDA
1	2.15	60.48
2	1.85	25.04
3	2.85	42.30
4	2.10	38.64
5	1.75	49.86
6	1.85	49.66
7	1.90	39.14
8	1.10	32.14
9	3.10	48.64
10	1.20	27.72
11	1.10	26.80
12	1.90	14.30
13	2.40	40.20
14	1.40	33.58
15	2.10	47.94
16	2.60	51.48
17	1.60	51.98



**TABLA 20. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	GRANULOMETRÍAS			
		> 3"	GRAVAS	ARENAS	FINOS
1	2.15	0.00	57.26	40.78	1.97
2	1.85	0.00	6.07	82.89	11.04
3	2.85	0.00	1.97	94.35	3.68
4	2.10	0.00	45.65	42.85	11.49
5	1.75	0.00	33.70	41.04	25.26
6	1.85	0.00	5.64	93.03	1.32
7	1.90	0.00	55.77	39.19	5.04
8	1.10	0.00	1.19	97.87	0.94
9	3.10	0.00	6.81	72.13	21.06
10	1.20	0.00	38.81	60.46	0.73
11	1.10	0.00	5.13	94.11	0.76
12	1.90	0.00	41.53	57.63	0.85
13	2.40	0.00	70.18	27.06	2.76
14	1.40	0.00	12.60	85.13	2.27
15	2.10	0.00	52.25	46.53	1.22
16	2.60	0.00	2.03	92.43	5.54
17	1.60	0.00	12.96	28.11	58.93

**TABLA 21. LÍMITES DE CONSISTENCIA EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	LÍMITES DE PLASTICIDAD		
		LL	LP	IP
1	2.15	20.00	19.39	0.61
2	1.85	28.00	21.29	6.71
3	2.85	21.50	19.46	2.04
4	2.10	26.20	18.42	7.78
5	1.75	34.20	22.61	11.59
6	1.85	20.80	17.02	3.78
7	1.90	21.60	18.20	3.40
8	1.10	19.80	18.40	1.40
9	3.10	28.20	17.28	10.92
10	1.20	18.80	18.27	0.53
11	1.10	20.00	N.P.	N.P.
12	1.90	20.20	N.P.	N.P.
13	2.40	24.60	22.05	2.55
14	1.40	23.50	22.53	0.97
15	2.10	24.40	23.80	0.60
16	2.60	23.80	20.64	3.16

**TABLA 22. PRUEBAS PRÓCTOR EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	PROCTOR	
		$W_{(OPTIMO)}$	$\gamma_{(OPTIMO)}$
2	1.85	15.50	1,805
5	1.75	9.10	1,950
6	1.85	9.20	1,918
8	1.10	9.90	1,925
11	1.10	8.10	1,847
13	2.40	8.50	1,963
15	2.10	9.70	1,903

**TABLA 23. COMPACIDAD RELATIVA EN PCA  
(MUESTRAS ALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	COMPACIDAD	
		$\gamma_{(mínimo)}$	$\gamma_{(máximo)}$
1	2.15	1,739	1,934
3	2.85	1,677	1,858
5	1.75	1,787	1,951
7	1.90	1,735	1,918
9	3.10	1,540	1,753
12	1.90	1,592	1,809
16	2.60	1,452	1,678

**TABLA 24. CONTENIDO DE AGUA EN PCA  
(MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	C. AGUA (%)
5	1.75	3.03
9	3.10	20.05
17	1.60	33.26

**TABLA 25. LÍMITES DE CONSISTENCIA EN PCA  
(MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	LÍMITES DE PLASTICIDAD		
		LL	LP	IP
5	1.75	32.10	24.12	7.98
9	3.10	30.00	18.84	11.16
17	1.60	31.60	25.83	5.77

**TABLA 26. PORCENTAJE DE FINOS EN PCA  
(MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	% DE PÉRDIDA
5	1.75	49.50
9	3.10	44.10
17	1.60	46.00

**TABLA 27. PESO VOLUMÉTRICO EN PCA  
(MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	PROF. (m)	PESO Kg/cm <sup>2</sup>
5	1.75	1,480
9	3.10	1,470
17	1.60	1,315

**TABLA 28. DENSIDAD DE SÓLIDOS EN PCA  
(MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	MUES- TRA	PROF. (m)	DENSIDAD SÓLIDOS
5	5-1	1.75	2.08
9	9-1	3.10	2.12
17	17-1	1.60	1.85

**TABLA 29. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA – NO DRENADA  
EN PCA (MUESTRAS INALTERADAS).**

P.C.A. No.	MUES- TRA	PROF. (m)	COMPACIDAD	
			$\theta$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )
5	5-1	1.75	8	5.75
9	7-1	3.10	13.5	2.4
17	17-1	1.60	17	4.3

FIGURA 1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

