

209



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN**

**ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO
DEL CAUCE DEL RIO BEJUCO, NAYARIT; PARA
EL DISEÑO DE BORDOS DE PROTECCION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ALEJANDRO KATT SANTANA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Acatlán, México

Marzo de 1994



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 está 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.



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA.**

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. GENERALIDADES	
1.1. ANTECEDENTES.	4
1.2. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.	4
1.3. PROBLEMATICA DE LOS SUELOS HUMEDOS.	4
1.4. IMPORTANCIA DE INTRODUCIR BORDOS DE PROTECCION.	6
CAPITULO II. CARACTERISTICAS FISICAS	
2.1. LOCALIZACION.	9
2.2. GEOMORFOLOGIA.	9
2.3. HIDROGRAFIA.	10
2.4. FISIOGRAFIA.	10
2.5. CLIMA.	11
2.6. SUELOS.	12
2.7. ECOLOGIA.	12
CAPITULO III. ESTUDIOS BASICOS	
3.1. ESTUDIO TOPOGRAFICO.	13
3.2. ESTUDIO CLIMATOLOGICO.	16
3.3. ESTUDIO HIDROLOGICO.	22
CAPITULO IV. ANALISIS HIDRAULICO	
4.1. DETERMINACION DEL PERIODO DE RETORNO.	31
4.2. DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO.	32
4.3. SELECCION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO A UTILIZAR.	40
4.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA "BERNOULLI".	42

**CAPITULO V. APLICACION DE LA METODOLOGIA AL
PROYECTO "RIO BEJUCO", NAYARIT**

5.1. ESTUDIOS BASICOS.	57
5.2. ANALISIS HIDRAULICO.	57
5.3. SELECCION DE LA ALTERNATIVA ADECUADA.	91
5.4. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS.	100
5.5. CATALOGO DE CONCEPTOS.	120

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
---------------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA	132
---------------------	------------

RELACION DE PLANOS

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Todas las grandes civilizaciones de la historia y la mayoría de los pueblos y ciudades se han desarrollado en los valles y riberas fluviales, en sitios cercanos a ríos y lagos, los cuales les proporcionaban el agua necesaria para su subsistencia y para la irrigación de sus cultivos.

El desbordamiento de los ríos y las inundaciones de sus riberas, con los daños que traen consigo, son un fenómeno frecuente en nuestro país, sobre todo en aquellas regiones donde existe una intensa precipitación, ya sea de temporada o debida a ciclones. Los daños que estas inundaciones causan son muy variados, lo mismo dañan los cultivos en las zonas agrícolas, que las viviendas y edificaciones en general en las zonas urbanas que atraviesan estos ríos.

Los problemas de inundación se generan principalmente en los tramos finales de los cauces, alojados en llanuras o valles aluviales de pendiente reducida, donde al disminuir la velocidad de la corriente, los materiales sólidos y en suspensión que arrastra el río son depositados sobre el lecho del cauce restando capacidad hidráulica al mismo, esto hace que las áreas adyacentes al cauce ordinario sean invadidas por las aguas.

Las inundaciones de las planicies causan mayores daños cuando ocurren en zonas urbanas o cuando alcanzan niveles muy altos (avenidas con un período de retorno alto). Si las inundaciones se presentan año con año, los habitantes se acostumbran a ellas y saben tomar las precauciones necesarias para reducir los daños a sus propiedades; sin embargo, cuando ocurren avenidas extraordinarias con períodos de retorno altos, los daños llegan a ser cuantiosos porque la gente no se previene.

El presente trabajo pretende establecer de una manera sencilla los pasos a seguir para el estudio hidráulico de un cauce, con el

fin de determinar los datos hidrológicos, topográficos, climáticos, etc., para el diseño de bordos de protección contra inundaciones, complementando este estudio con la aplicación al caso de los desbordamientos que hasta hace algún tiempo presentaba el río "El Bejuco", en el estado de Nayarit.

El objetivo primordial en la aplicación al río Bejuco es el de obtener el perfil del agua a lo largo del tramo donde se ha observado que ocurren los desbordamientos, y con esto determinar aquellas zonas o poblados que requieran ser protegidos con bordos de protección contra inundaciones.

Esta aplicación de la metodología se llevará a cabo dándole más énfasis al aspecto hidráulico, pero complementándolo con la obtención de cantidades de obra y catálogo de conceptos, para obtener el costo aproximado que una obra de este tipo tendría actualmente.

El trabajo se ha dividido en cinco capítulos donde se pretende abarcar los objetivos mencionados:

El capítulo UNO se ha llamado "GENERALIDADES", en el cual se hace una descripción del problema que se presenta en la zona de estudio, así como se mencionan, de entre otros que existen, los daños que las inundaciones causan a los cultivos de las zonas afectadas; también se hace notar lo importante que es proyectar obras de este tipo para la solución de este problema.

El capítulo DOS se titula "CARACTERISTICAS FISICAS", y en él se resumen las condiciones físicas de la zona de estudio, como son clima, fisiografía, etc.

"ESTUDIOS BASICOS" es el nombre del capítulo TRES, donde se describe la forma en que usualmente se realizan éstos para la obtención de los datos de lluvia, escurrimiento, gastos máximos, topografía, que son usados para llegar al diseño de la obra de protección en cuestión.

En el capítulo CUATRO, "ANALISIS HIDRAULICO", se establece la manera en que los datos anteriores se procesan para la obtención final del gasto de diseño de la obra, y la forma de transitar éste para definir la magnitud del desbordamiento a lo largo del río. También se describe el funcionamiento y utilización del programa de computadora llamado "BERNOULLI", que utiliza la Comisión Nacional del Agua para proyectos de este tipo, y que será usado en este trabajo. Este programa realiza de manera muy rápida el tránsito de la avenida de diseño, cosa que hecha manualmente resulta muy lenta.

Finalmente, en el capítulo CINCO, llamado "APLICACION DE LA METODOLOGIA AL PROYECTO RIO BEJUCO", se realizan o se resumen los estudios básicos, análisis hidráulico, etc., para el caso concreto del problema del río "El Bejuco", obteniendo la ubicación y dimensiones de los bordos de protección por medio de los procesos establecidos previamente. Al final de este capítulo se obtiene el presupuesto para el mismo, sin adentrarse a fondo en los aspectos teóricos de los procedimientos constructivos.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Los desbordamientos e inundaciones que presenta el río "El Bejuco" durante la época de lluvias, han constituido desde hace mucho un serio problema para los habitantes de sus riberas, dedicados en su mayoría a la agricultura de temporal, debido a que al presentarse, dañan seriamente o arruinan por completo los cultivos en desarrollo, limitando drásticamente la producción agrícola de la zona, y por lo tanto, manteniendo en un bajo nivel de vida a los pobladores.

Debido a esto, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos decidió construir obras de protección contra inundaciones para dar solución a este problema, para esto inició a fines de 1987 los estudios básicos para determinar la factibilidad técnica, económica y social del proyecto, quedando concluidos en 1991, definiendo que dichas obras consistirían en bordos longitudinales de terracería, con el doble propósito de proporcionar protección y vías de comunicación a la zona.

1.2 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

Debido a los escurrimientos provocados por las lluvias, se presentan desbordamientos e inundaciones en ambas márgenes del río "El Bejuco", afectando una amplia zona agrícola. Estas inundaciones, causadas por la acumulación de azolves y crecimiento de la maleza, llegan a prolongarse hasta por dos meses, limitando cualquier tipo de actividad productiva en esta área.

Por estas causas, se ha considerado necesario construir un sistema de bordos de protección sobre ambas márgenes del río, en el tramo comprendido entre la carretera Internacional México-Nogales y su descarga.

1.3 PROBLEMATICA DE LOS SUELOS HUMEDOS

Las plantas solo pueden desarrollarse en forma satisfactoria, si encuentran en la atmósfera y el suelo los elementos necesarios para su crecimiento: de la atmósfera obtienen el carbono, oxígeno y el hidrógeno y del suelo toman los otros elementos necesarios como lo es el agua, por lo tanto, si el suelo contiene un EXCESO de agua, tendrá las siguientes características:

- Los suelos húmedos son impermeables al aire.
- Los suelos húmedos son fríos.
- Los suelos húmedos son difíciles de trabajar.
- Los suelos húmedos se oponen a la penetración de las raíces y las plantas son atacadas por enfermedades.

- Hay una disminución en la acción de los fertilizantes que se apliquen al suelo.

Entendiéndose como "suelo húmedo" a aquel donde el nivel freático se encuentra arriba de la profundidad radicular.

A continuación se explica en forma breve cada una de las características anteriores.

LOS SUELOS HUMEDOS SON IMPERMEABLES AL AIRE.

Cuando la cantidad de agua que contiene el suelo es excesiva, los espacios situados entre las partículas de tierra están completamente obstruidos y la circulación del aire resulta imposible, como el suelo no es un medio muerto, con el exceso de agua se interrumpen parcial o totalmente los fenómenos biológicos.

LOS SUELOS HUMEDOS SON FRIOS.

El agua en exceso del suelo se encuentra sometida a una abundante evaporación, por lo cual se presenta un descenso considerable en la temperatura del suelo, el agua que está en contacto con la atmósfera se enfría y desciende porque aumenta su densidad, dejando sitio a nuevas capas de agua que se enfrían a su vez, provocándose así un intenso enfriamiento de dicho suelo.

LOS SUELOS HUMEDOS SON DIFÍCILES DE TRABAJAR.

De varios experimentos efectuados se pudo concluir que: las tierras húmedas exigen para las tierras de labores y para diferentes cultivos, un aumento de la fuerza de trabajo equivalente del 25 al 50%, mayor que la que se tendría en suelos que contienen cantidades normales de agua.

En primavera, si se empiezan las labores demasiado pronto, cuando la estación es aún lluviosa, la tierra demasiado pastosa ofrece una gran resistencia a las herramientas de labranza, ya que éstas resbalan sobre el suelo, se hunden y están en malas condiciones para el trabajo.

Si las labores empiezan más tarde, el terreno se reseca, es de gran dureza y no es fácil el uso de los instrumentos de labranza.

LOS SUELOS HUMEDOS SE OPONEN A LA PENETRACION DE LAS RAICES Y LAS PLANTAS SON ATACADAS POR ENFERMEDADES.

La inundación de un campo durante la temporada de crecimiento de las plantas o cultivos, provoca que éstas sufran enfermedades por el exceso de agua. El efecto que se produce en las raíces de

las plantas o cultivos, cuando existe un suelo saturado es que éstas no entran en el suelo, debido a la deficiencia de oxígeno, pudriéndose al llegar al nivel del agua subterránea, que está demasiado cerca de la superficie.

HAY UNA DISMINUCION EN LA ACCION DE LOS FERTILIZANTES QUE SE APLIQUEN AL SUELO.

Existe una considerable disminución en la acción fertilizante de los abonos que se aplican a estos suelos, así mismo se reduce su asimilación por parte de las plantas, ya que se diluyen en exceso los elementos nutritivos.

1.4 IMPORTANCIA DE INTRODUCIR BORDOS DE PROTECCION

Al alivio de daños por inundaciones, se le distingue del drenaje porque abarca los métodos para combatir los efectos del exceso de agua en las corrientes. A esta parte de la Ingeniería Hidráulica se le llama comúnmente control de avenidas, pero sería más adecuado el término alivio de daños por inundaciones para hacer énfasis en que el control absoluto de inundaciones raramente es factible física o económicamente. Lo que se busca es reducir los daños que las inundaciones causan hasta un mínimo que sea consistente con el costo involucrado; o más brevemente, se podría usar el término alivio de inundaciones.

Esta amplia definición comprende muchas medidas posibles de alivio. Una avenida es el producto del escurrimiento por lluvia y/o por el deshielo, en cantidades tan grandes como para impedir su acomodo en los cauces de aguas bajas de las corrientes fluviales. El hombre puede hacer poco para evitar una gran inundación, pero puede tener capacidad para reducir al mínimo los daños a los cultivos y a la propiedad en la planicie de inundación del río. Los trabajos y acciones aceptados comúnmente para reducir daños por inundación son los siguientes:

1. Reducción del escurrimiento máximo con vasos de almacenamiento.
2. Encauzamiento del escurrimiento, dentro de un cauce previamente definido por obras de bordos, muros de defensa, o con un conducto cerrado.
3. Derivación de aguas de avenidas o crecientes, por medio de obras de desvío y cauces de alivio hacia otras corrientes o hasta otras cuencas.
4. Reducción del escurrimiento de aguas de avenida por medio de prácticas de manejo de terrenos.
7. Evacuación temporal de las zonas amenazadas por inundaciones con base en llamados de alerta.

Las inundaciones causadas por los desbordamientos de los ríos al presentarse grandes avenidas, han constituido por largo tiempo un serio problema, tanto por la pérdida de vidas humanas, como de

pérdidas materiales, afectando gravemente la economía de las regiones donde este fenómeno se produce.

Por la necesidad de contar con agua, los centros de población tienden a establecerse en las orillas de los ríos y lagos que les garantice el abastecimiento de agua; desafortunadamente los establecidos en las márgenes de los ríos y arroyos, sufren inundaciones periódicas, estando sujetos a que al desplazarse el río horizontalmente destruya construcciones, cultivos o cualquier tipo de obra que se encuentre sobre las márgenes; ya que el gasto de las corrientes es variable, dependiendo de la distribución que tengan las lluvias en su cuenca, tanto en tiempo como en espacio.

Ocurre con frecuencia que los caudales rebasan la capacidad de conducción del cauce principal del río y las aguas invaden las tierras adyacentes; en nuestro país debido a su vasto territorio se plantea la solución, por mencionar algunos casos, de los problemas en los ríos Bravo, Lerma, Pánuco, Mayo, etc., en los cuales dependiendo de la topografía, las aguas desbordadas corren por la planicie siguiendo la dirección del río y regresan en cuanto el nivel empieza a descender; pueden quedar detenidas permanentemente en zonas bajas hasta que se evaporan o se infiltran, o bien, pueden llegar a reconocer otros cauces.

Algunos ríos del país, se ven frecuentemente afectados por fenómenos meteorológicos de tipo ciclónico, que producen precipitaciones de gran intensidad, generando una amenaza constante de desbordamiento de las corrientes naturales e inundaciones en las zonas bajas de las llanuras adyacentes, creando situaciones de emergencia que ocasionan trastornos a la economía y obligan a la movilización de recursos y asistencia de las diversas dependencias involucradas en casos de desastre.

Hidrológicamente el problema de las inundaciones y de la erosión marginal, se agudiza en las partes correspondientes a la planicie costera, no obstante, los niveles máximos alcanzados por un río, pueden ser menores aguas abajo, al grado de que se produzcan graves inundaciones y erosión en tramos de aguas arriba y no llegue a desbordarse ni afectar en las zonas bajas. Cuando la planicie del río es reducida, como ocurre en la vertiente del Pacífico, las afectaciones abarcan casi toda la longitud del río en la zona baja, pero por sus fuertes pendientes, las inundaciones duran poco o cubren menos áreas. En la vertiente del Atlántico por ser más amplia la planicie, las inundaciones cubren grandes extensiones con mayor duración de tiempo.

En general puede hablarse de tres tipos de problemas ocasionados por las corrientes: Inundación, Erosión y Azolvamiento; estos tienen un gran número de variantes y combinaciones, de acuerdo con las causas que los provocan y los efectos que producen.

Por ejemplo, un problema de inundación puede producir el azolvamiento con materiales áridos (grava-arena) de los terrenos agrícolas anegados, reduciendo o eliminando su capacidad productiva. A su vez un problema de azolvamiento del cauce por bajas pendientes y velocidades provoca su rebasamiento e inundación de los terrenos adyacentes.

Así también, la erosión y el azolvamiento de cauces van siempre ligados, aunque muchas veces este último se debe al acarreo del suelo del resto de la cuenca; esto es notable en las curvas de los ríos, el extrados o parte externa de la curva, que es por donde fluye el gasto principal, generalmente se erosiona y en cambio en el intrados se deposita parte de este material y del acarreo de aguas arriba.

CAPITULO II

CARACTERISTICA FISICAS

2. CARACTERISTICAS FISICAS

2.1 LOCALIZACION

El área del proyecto se localiza en la Planicie Costera, en la región fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico, en la porción noroeste del Estado de Nayarit.

Geográficamente se localiza entre los Paralelos 22° 0' y 22° 06' de Latitud Norte, y los Meridianos 105° 13' y 105° 19' de Longitud Oeste de Greenwich, a una altura media sobre el nivel del mar de 10.0 metros.

Políticamente pertenece al Municipio de Rosamorada, tiene como límite al Norte el río Rosamorada, al Sur la Unidad de Riego "San Pedro", al Este la carretera Internacional No. 15 en el tramo México-Nogales y al Oeste la franja Costera de Marismas. (ver lámina No. 2.1.1.).

2.2 GEOMORFOLOGIA

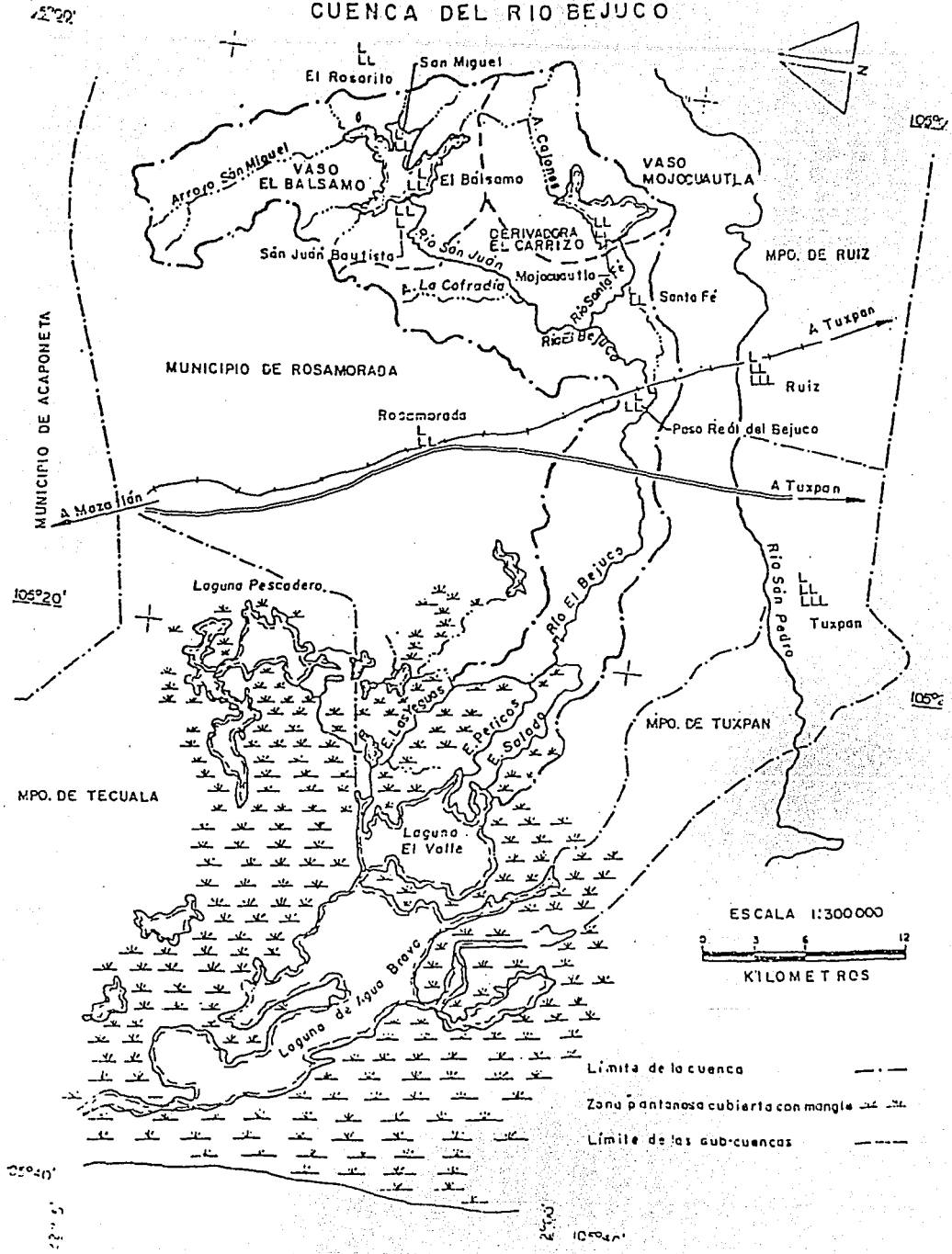
El área del proyecto forma parte de la unidad geomorfológica denominada "Llanura Costera del Pacífico", que es angosta y alargada, cubierta en su mayor parte por aluviones depositados por los ríos que bajan al mar desde la Sierra Madre Occidental, se caracteriza por tener un relieve casi plano, inclinado con rumbo Este-Oeste y que tuvo su época de fuerte crecimiento en el Pleistoceno durante la última glaciación, cuando el nivel del mar se encontraba al menos a 100.0 metros más abajo que el actual.

En los últimos milenios un aporte suficiente de materiales, ya sea por vía fluvial o por recolección de arenas, ha originado una constante recuperación del territorio, que se manifiesta en un sistema de largas y angostas barras arenosas que integran la saliente obtusa del delta, lo que ha dado lugar a que en la zona del proyecto existan variaciones en el microrrelieve y depresiones que propician las inundaciones de áreas considerables en la época de lluvias.

El rasgo geológico más importante lo constituye la Sierra Madre Occidental, ya que es la que aporta el material de relleno de la llanura. Dicha Sierra inició su levantamiento en el Período Cretácico, llegando a formarse en la era Cenozoica, debido a una fuerte actividad volcánica que arrojó material principalmente del tipo Andesítico y Riolitico. Posteriormente tuvo otra actividad volcánica de material extrusivo formado por Andesitas, Rioltitas y Basaltos, los cuales pertenecen al período Cuaternario.

Los depósitos aluviales de la zona del Proyecto pertenecen al período Cuaternario de la época del Pleistoceno, y es esta planicie costera una plataforma, que ha recibido los materiales

CUENCA DEL RIO BEJUCO



ESCALA 1:300 000
 0 3 6 12
 KILOMETROS

Límite de la cuenca
 Zona pantanosa cubierta con mangle
 Límite de las sub-cuencas

105°40'

105°40'

transportados por los ríos Bejuco y Rosamorada, los cuales han desempeñado un papel fundamental para encontrar diversas granulometrías (arenas, gravas, limos y arcillas) debido a la disgregación de rocas ígneas, como Riolitas y Andesitas principalmente.

2.3 HIDROGRAFIA

Las principales fuentes que determinan las características hidrográficas de la zona del Proyecto, son los ríos Bejuco y Rosamorada que forman parte de la Región Hidrológica No. 11, y su descarga es sobre la zona de lagunas costeras, marismas y esteros.

El río El Bejuco drena una superficie de 334 km², y nace en la Sierra Madre Occidental, después de un recorrido de 69.9 km, descarga sobre la laguna El Pescadero. Los escurrimientos han sido registrados desde el año de 1958, en la estación El Bejuco, el gasto máximo registrado en esta estación es de 403.0 m³/seg. Por parte del río Rosamorada, que se inicia en la misma Sierra con el nombre de Teponahuaxtla, tiene una extensión de 55.0 km., drena una área de 350 km², y descarga en la laguna El Pescadero, sobre este río se encuentra instalada una estación Hidrométrica desde el año de 1971, el gasto máximo registrado es de 226.9 m³/seg.

Debido a la pendiente suave de estas corrientes en sus partes terminales, su capacidad de conducción se ve reducida por acumulación de azolves y crecimientos de malezas, por lo que en época de lluvias se producen inundaciones por desbordamientos de los mismos ríos, que llegan a prolongarse hasta por dos meses limitando cualquier tipo de actividad productiva en esta área.

2.4 FISIOGRAFIA

La topografía es predominantemente plana, con la presencia de microrrelieve y depresiones del terreno que limitan el flujo del agua, provocando problemas de encharcamientos que, junto con la falta de caminos, inciden desfavorablemente en la producción agrícola de temporal.

Los suelos que poseen pendientes topográficas menores del 0.5%, son donde se manifiestan problemas de exceso de humedad, fundamentalmente en el ciclo Primavera-Verano.

Los terrenos suavemente ondulados y con pendientes entre 0.5 y 1.0%, son también afectados, aunque en menor medida, por el exceso de agua en el ciclo Primavera-Verano.

Por su parte, los suelos clasificados dentro de los rangos topográficos de 1.0 a 3.0%, presentan condiciones más adecuadas

para el desarrollo de los cultivos en Primavera-Verano, aunque requieren de manejos especiales para cultivarlos en el ciclo Otoño-Invierno.

Por último, los terrenos con pendientes mayores al 3.0% y que generalmente se encuentran enmontados, se ubican en los lomeríos y montículos esparcidos dentro del área.

2.5 CLIMA

Con el fin de conocer las características climáticas de la zona del proyecto, se analizaron los registros de la estación climatológica de Rosamorada, localizada dentro del área del Proyecto, misma que cuenta con un período de observación de 28 años de 1958 a 1986.

La precipitación media anual en la zona del proyecto es de 1,436.3 mm, el período lluvioso es de Junio a Octubre, en donde se precipitan 1,340.0 mm, que representan el 93.3% del total anual. En los meses de Noviembre a Enero se precipitan 71.9 mm, correspondiente al 5.0% del total anual, y se considera como período semihúmedo; en tanto que el período seco es en los meses de Febrero a Mayo, en el que se precipitan 24.4 mm o sea el 1.7% del total anual.

La temperatura media anual es de 25.5°C y tiene una variación térmica de 7.9°C, ya que la media más alta es de 29.1°C (Junio) y la media más baja es de 21.2°C (Enero).

La evaporación media anual en la zona es de 1,683.4 mm, la lámina de lluvia anual resulta ser menor en un 14.7% con respecto a la evaporada.

Sin embargo, para el período comprendido de Julio a Septiembre se tiene todo lo contrario a la situación anterior, es decir, la evaporación es menor en un 138.51% respecto al valor de la lluvia. Esto refleja que en el transcurso de estos meses las condiciones de humedad tanto en el suelo como en el medio ambiente se registran altas, no ocurriendo así durante los demás meses, ya que la evaporación es mucho mayor que la precipitación, lo que ocasiona una condición de escasez de humedad, tanto en el suelo como en el medio ambiente, esta última situación se acentúa durante los meses de Febrero a Mayo.

De acuerdo al Segundo Sistema de Clasificación de Thornthwaite, el clima de la zona del Proyecto resultó con la fórmula "C2 W2 A' a'", que se interpreta como: Semihúmedo con gran deficiencia de agua invernal, Cálido, con régimen normal de calor en el verano.

2.6 SUELOS

Los suelos en estudio, se encuentran ubicados dentro de la provincia fisiográfica Llanura Costera del Pacifico, misma que se caracteriza por presentar una miscelánea edafológica, pudiéndose detectar suelos cercanos al litoral, con perfiles arenosos y en la porción de cordones litorales franco-arcillo-arenosos. Estos suelos poseen modos de formación mixtos, es decir, aluviales y aluvio-marinos, son de coloraciones café claro y cafés.

Respecto a los suelos detectados cercanos a los cauces de ríos y arroyos, como el San Pedro, el Bejuco y Rosamorada, son suelos predominantemente franco-arenosos y franco-limosos, tendiendo a ser de texturas finas los más alejados a los mismos, y cuyos grados de desarrollo son inmaduros.

Por otra parte existen áreas cercanas a cerriles donde los suelos poseen modos de formación coluvial e in-situ-coluvial, grado de desarrollo catalogado de joven a inmaduro. Estos suelos son de coloraciones café grisáceo.

En las estribaciones de la Sierra Madre Occidental o subprovincia Pie de Sierras, las tierras tienen modos de formación in-situ-coluviales y edades recientes, y de colores rojo amarillento.

Por lo general los suelos detectados dentro de estas áreas, son de relieves suavemente ondulados a ondulados, donde los materiales formadores provienen de rocas ígneas extrusivas, como riolitas, basalitos y andesitas.

2.7 ECOLOGIA

En la zona se pueden diferenciar tres micro-regiones ecológicas, caracterizadas principalmente por condiciones topográficas y edáficas, localizadas en: El Piamonte de las zonas cerriles, las zonas planas, que ocupan la mayor parte del Proyecto y las llanuras de inundación.

Cada una de ellas posee características específicas que han permitido o limitado el desarrollo de las actividades agropecuarias, bajo estas características, la vegetación original, constituida principalmente por selva mediana subcaducifolia en terrenos superiores a los 5.0 m.s.n.m. y manglares en las zonas bajas, ha sido fuertemente perturbada por las actividades agropecuarias, quedando relegada hacia los límites longitudinales del Proyecto, hacia las elevaciones de la Sierra Madre Occidental y hacia el Occidente, en donde se encuentran asociaciones de mangle. La conservación de estos manchones se debe a las grandes limitaciones que reducen las actividades humanas, especialmente las explotaciones agrícolas.

CAPITULO III

ESTUDIOS BASICOS

3. ESTUDIOS BASICOS

3.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO

En este capítulo se analizarán los estudios básicos disponibles, con el fin de conocer y analizar las características generales del área del Proyecto, que sirvan para diagnosticar su situación actual y definir las obras de infraestructura hidráulica.

ESTUDIO TOPOGRAFICO

Este estudio consiste en el levantamiento de:

- La cuenca de escurrimiento.
- El área del Proyecto.

LEVANTAMIENTO DE LA CUENCA

El levantamiento de una cuenca de captación se hace con el fin de determinar las características fisiográficas de la misma, como son:

- La superficie de la cuenca.
- La forma de concentración de las aguas.
- El tipo de vegetación existente.
- Longitud del cauce principal.
- Desnivel total y pendiente del cauce principal.

Y así poder utilizar estos datos en la solución de problemas hidrológicos como lo pueden ser:

- La determinación de los gastos máximos probables.
- La determinación de los coeficientes unitarios de escurrimiento.

Es aceptable la obtención del área de la cuenca empleando las cartas topográficas de DETENAL.

Cuando no es posible definir la cuenca con las cartas topográficas, se lleva a cabo un levantamiento topográfico terrestre, en donde la identificación del parteaguas, se deberá hacer mediante un recorrido del mismo, donde se dejarán puntos adecuados, que posteriormente serán localizados por alguno de los procedimientos que se recomiendan para este objeto.

MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Los métodos de levantamiento variarán según la extensión de la cuenca y del reconocimiento efectuado para la localización del parteaguas.

Los métodos de levantamiento más empleados al estudiar una cuenca son:

- Poligonales con plancheta.
- Poligonales con tránsito y estadía.
- Triangulación con plancheta.
- Poligonales aéreas (fotogrametría).

POLIGONALES CON PLANCHETA

Este método consiste en trazar una poligonal con plancheta a lo largo del parteaguas, verificando su cierre y demás poligonales auxiliares también con plancheta, ligadas a las primeras a lo largo de los cauces principales, para determinar su forma de concentración y pendientes generales, este procedimiento se recomienda para el levantamiento de cuencas pequeñas.

POLIGONALES CON TRÁNSITO Y ESTADÍA

Este procedimiento consiste en llevar una poligonal con tránsito y estadía a lo largo del parteaguas y poligonales auxiliares apoyadas en las primeras a lo largo de cauces principales, a fin de conocer la forma de concentración de las aguas, así como calcular los desniveles en las estaciones y tener una configuración aproximada del terreno. Este método solo se empleará para el levantamiento de cuencas de hasta 100 km².

TRIANGULACION CON PLANCHETA

Este procedimiento se empleará para el levantamiento de cuencas de mediana extensión, y consiste en llevar una poligonal con tránsito y estadía a través de lugares fácilmente accesibles de la cuenca y desde cuyos vértices puedan verse la mayor cantidad posible de puntos del parteaguas, para utilizarlo como apoyo para la plancheta.

La plancheta se situará en uno de los vértices de la poligonal y se dirigirán visuales a los puntos del parteaguas, de los cauces principales o detalles importantes que se tratan de situar.

Después se cambia la plancheta a la siguiente estación y se visan los mismos puntos, quedando determinada su situación por la

intersección de las dos visuales; se procede en la forma indicada hasta cubrir toda la cuenca que se trata de estudiar.

Generalmente es necesario colocar señales en los puntos de los cauces principales que se trata de levantar, ya que de otra forma resulta difícil su identificación.

Este procedimiento además de rápido y económico, da la aproximación necesaria para esta clase de trabajos, se emplea para el levantamiento de cuencas pequeñas o de mediana extensión.

POLIGONALES AEREAS

Este procedimiento consiste en volar sobre el parteaguas en tramos rectos anotando:

- a) El rumbo magnético de la línea de vuelo obtenida con la brújula del avión.
- b) El tiempo en segundos que dura el vuelo en cada punto de inflexión, obtenido con un cronógrafo con aproximación de décimas de segundo.
- c) Velocidad media del vuelo, obtenida con el velocímetro del avión, multiplicando el tiempo de vuelo por la velocidad, se obtiene la longitud de cada lado.

Una vez que se ha recorrido todo el parteaguas y se ha llegado al punto de partida, se volará nuevamente en sentido contrario, haciendo las mismas operaciones a fin de tener una comprobación.

Al ir efectuando el vuelo se tomarán fotografías oblicuas de los cauces principales, que se crucen formando pares estereoscópicos, con el objeto de tener una idea aproximada de los desniveles de los mismos.

También se anotarán las características más notables de la vegetación. Este procedimiento se emplea para levantamientos de cuencas mayores de 10,000 km² de extensión.

CALCULO DE AREAS DE ESCURRIMIENTO

Obtenido el polígono de la cuenca, se procede a la determinación de su área o superficie, para lo cual se pueden emplear dos métodos prácticos:

- Por triangulación del polígono.
- Mecánicamente (con planímetro).

El procedimiento de triangular el polígono solo se emplea para trabajos de dimensiones reducidas y donde se pueden medir las

diagonales y formar los triángulos, como en los levantamientos con cinta exclusivamente.

Por medio mecánico con el planímetro. Este procedimiento es el más útil, especialmente cuando la superficie que se necesita determinar está limitada por un perímetro irregular, con curvas y rectas, y a veces sin forma precisa.

3.2. ESTUDIO CLIMATOLOGICO

PRECIPITACION

La precipitación es provocada por el vapor de agua contenido en la atmósfera, el cual forma nubes que su vez y, debido al fenómeno de la condensación, cambian su estado físico, originándose de este modo la caída de las gotas de lluvia.

De acuerdo con la causa que origina el vapor de la masa de aire húmedo, pueden distinguirse tres tipos de precipitaciones:

- Precipitaciones convectivas.
- Precipitaciones orográficas.
- Precipitaciones ciclónicas o de frentes.

Precipitaciones convectivas. Este tipo de precipitación tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que el circundante. Este aire más caliente, asciende y se enfría adiabáticamente y alcanza su punto de condensación debido a la velocidad vertical adquirida, formándose nubosidad de tipo cumuliforme, la cual genera precipitaciones en forma de aguaceros.

Las precipitaciones convectivas se originan en tiempo cálido y pueden estar acompañadas de vientos, relámpagos, truenos y vientos locales, pero principalmente consisten en lluvia y ocasionalmente granizo.

Precipitaciones orográficas. Cuando los vientos cargados de humedad, moviéndose ordinariamente del océano hacia la tierra, encuentran una barrera montañosa, la masa de aire es forzada a ascender, enfriándose y originándose las precipitaciones que se presentan en forma de lluvia o nieve, siendo muy irregulares en importancia y localización.

Precipitaciones ciclónicas. Estas precipitaciones están asociadas al paso de un ciclón y pueden corresponder a dos casos: no frontal y frontal. La precipitación no frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. La precipitación frontal puede estar asociada a un frente frío o a uno cálido.

El estudio de los registros pluviométricos indican las siguientes peculiaridades de las tormentas:

- Las tormentas de máxima intensidad generalmente son de corta duración, y abarcan superficies pequeñas.
- Las tormentas que duran varios días son de poca intensidad y abarcan superficies grandes.

Las lluvias intensas y de corta duración, son las que pueden dar lugar a los caudales máximos de escurrimiento superficial, en una cuenca en estudio.

Las precipitaciones de baja intensidad, pero que duran varios días, también nos pueden dar grandes concentraciones de escurrimiento superficial en cuencas de gran extensión.

En la actualidad existen una gran variedad de instrumentos y técnicas de medir las diferentes fases de la precipitación. Sin embargo, los aparatos que miden la cantidad y la intensidad de la precipitación son los más importantes. Los otros tipos de instrumentos miden el tamaño y distribución de las gotas de lluvia, o bien, el comienzo y fin de la lluvia.

Estos aparatos de medición son los siguientes:

- Pluviómetro.
- Pluviógrafo.
- Aparatos telemétricos.
- Radar meteorológico.

Pluviómetro. Consta esencialmente de un depósito cilíndrico de lámina galvanizada, en cuyo interior se aloja un recipiente del mismo material, llamado vaso medidor, con el cual se mide la lluvia recolectada. La tapa del cilindro está formada por un embudo receptor, terminado en una arista viva por su parte superior y en una pequeña abertura por la parte inferior, que descarga en el vaso medidor, en el que está colocado un tapón cuyo objeto es impedir la entrada de cuerpos extraños al interior del vaso.

El empaque del pluviómetro es una caja de madera, que a la vez sirve como protección a éste cuando se instala, con el objeto de que los rayos solares no lo calienten demasiado y se produzcan en su interior evaporaciones que originen errores en las mediciones.

El pluviómetro únicamente proporciona la altura de precipitación total en intervalos previamente establecidos, comúnmente 24 horas, medidas a partir de las 8:00 de la mañana de cada día.

En el sistema métrico, la precipitación se mide en milímetros y décimas de milímetro.

Pluviógrafo. El pluviógrafo más utilizado en México es el de flotador, en el cual el ascenso de este último es producido por el aumento de lluvia captada, hasta que el recipiente que contiene al flotador se llena y entonces se vacía automáticamente por medio de un sifón autocebante. El pluviógrafo hace sus registros con una pluma sobre una gráfica, que va montada en un cilindro que es movido por un sistema de relojería. El mecanismo anterior se denomina sistema Hellman.

Aparatos telemétricos. El desarrollo de la instrumentación telemétrica en cuencas rurales, es muy importante porque permite concentrar rápidamente la información de lluvias y facilita las mediciones en lugares de difícil acceso. Los principales problemas asociados con estos aparatos derivan del hecho de requerirse que operen sin mantenimiento y sin fallas durante grandes lapsos y que consuman poca energía; además de estudiarse la topografía del terreno para seleccionar las rutas de transmisión, de forma que se evite la posibilidad de interferencias.

Radar meteorológico. La ventaja principal que se obtiene al utilizar el radar meteorológico radica en que permite contar con un panorama instantáneo de las condiciones atmosféricas y de la precipitación en una zona amplia, evitando las interpolaciones y extrapolaciones que se deben realizar al utilizar la información de los pluviómetros y pluviógrafos, los cuales miden lo que acontece en puntos aislados.

El radar meteorológico permite observar la posición y movimiento de las áreas de precipitación y determinados tipos de radares pueden proporcionar una evaluación de la intensidad de la lluvia en las zonas comprendidas dentro de su alcance; este último, puede variar de 40 a 200 km según las características del haz de antena, la potencia de salida y la sensibilidad del receptor del radar. Se define como alcance hidrológico, a la distancia máxima a la que se sigue siendo razonablemente válida la relación entre la intensidad de los ecos del radar y la intensidad de las precipitaciones.

Se puede decir que el principal defecto de las mediciones efectuadas con el radar, consiste en la interpretación de la reflexión de la onda emitida por el mismo radar, pues ésta debe ser calibrada para que pueda traducirse en intensidad de lluvia.

Los datos de la precipitación que nos da el pluviómetro, se registran y anotan diariamente obteniéndose así la llamada "altura de precipitación" en mm que la lluvia alcanza ese día.

Generalmente y por comodidad, los registros de alturas pluviométricas comprenden una semana, es decir, cada semana se cambia del tablero el registro descrito anteriormente, archivándose los registros levantados antes que el de la semana correspondiente.

Con los datos de precipitación que se acumulan en las estaciones climatológicas y haciendo uso de expresiones muy sencillas, podemos obtener la lluvia o precipitación media diaria, mensual y anual.

Precipitación media diaria:

$$P_{md} = \frac{\sum P \text{ semana}}{30} \quad (3.1)$$

Donde : $\sum P \text{ semana}$ es la suma de las precipitaciones registradas por semana.
 1
 30 es el número de días del mes.

Precipitación media mensual:

$$P_{mm} = \frac{\sum P \text{ meses}}{12} \quad (3.2)$$

Donde: $\sum P \text{ meses}$ es la suma de las precipitaciones registradas durante todos los meses del año.
 12 es el número de meses del año.

Precipitación media anual:

$$P_{mm} = \frac{\sum P \text{ anuales}}{n} \quad (3.3)$$

Donde $\sum P \text{ anuales}$ es la suma de las precipitaciones anuales.
 n es el número de años de registro y puede tener una variación de 10 a 50 años según sea la importancia de la obra.

EVAPORACION

La evaporación es un proceso esencial para el ciclo hidrológico, pues se estima que aproximadamente el 75% de la precipitación total anual que ocurre sobre los continentes retorna a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación o, a través de las plantas, por transpiración.

La cantidad de agua evaporada o transpirada constituye una pérdida directa para los almacenamientos superficiales (embalses) y los subterráneos (acuíferos), de manera que su estimación es necesaria en todos los análisis hidrológicos relativos a la distribución de las aguas y en los estudios de balance y operación de almacenamientos.

A continuación se definen los siguientes conceptos:

Evaporación. Es el proceso, por medio del cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor.

Transpiración. Proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor. Este concepto no incluye la evaporación desde el suelo. De las definiciones anteriores se puede concluir que: La evaporación y la transpiración son el mismo proceso diferenciándose únicamente en el tipo de superficie desde la cual el vapor de agua pasa a la atmósfera.

Existen dos tipos de aparatos para medir la evaporación:

- Evaporímetros o tanques de evaporación.
- Atmómetros.

Las evaporaciones medidas en tales aparatos pueden ser consideradas como máximos o potenciales y son indicativas del poder evaporante de la atmósfera.

Evaporímetros. Los tanques de evaporación utilizados en los diferentes países son de dimensiones, formas y características diversas. Los evaporímetros se pueden clasificar según su ubicación o disposición en tres tipos:

- 1) Ubicados en la superficie.
- 2) Enterrados.
- 3) Flotantes.

Los tanques enterrados tienden a eliminar los efectos perjudiciales de los límites, como la radiación sobre las paredes laterales y el intercambio de calor entre la atmósfera y el tanque, pero presentan dificultades para la observación, captan fácilmente basura, son difíciles de instalar, limpiar y reparar; además las fugas no se detectan con facilidad y la vegetación que circunda al

tanque puede tener ciertos efectos nocivos y aún más, puede existir un intercambio apreciable de calor entre el tanque y el suelo.

La evaporación en un tanque flotante en el embalse o lago es más aproximada a la evaporación de tal embalse, que la de los evaporímetros instalados en su orilla. Sin embargo, se tienen dificultades para efectuar las mediciones, las salpicaduras distorsionan los cálculos y en general los costos de instalación y mantenimiento son elevados.

Con respecto a los evaporímetros superficiales sus principales ventajas son la economía, la facilidad de instalación, operación y mantenimiento.

El evaporímetro empleado actualmente en México es el siguiente:

Es un tanque circular, de 121.0 cm. de diámetro y 25.4 cm. de altura, montado sobre un enrejado de madera de forma que su base está a 5 o 10 cm. encima del suelo, permitiendo la circulación del aire alrededor de él. Las mediciones se realizan apoyando en un tubo de nivelado, un tornillo micrométrico cuya punta se engrasa con el nivel del agua.

Atmómetros. Para medir las variaciones relativas del poder evaporante de la atmósfera, se utilizan esferas o placas de porcelana porosa saturada de agua, estos dispositivos son empleados por meteorólogos y agrónomos, en investigaciones y estudios de transpiración.

TEMPERATURA.

La temperatura en las estaciones meteorológicas se registra empleando los termómetros de máxima y mínima, éstos se encuentran protegidos de la acción directa de los rayos solares y de la reverberación del suelo dentro de las llamadas "garitas meteorológicas".

Los termómetros más empleados en las estaciones son:

- Termómetros registradores de ambiente.
- Termómetros de Six o el de Bellani.
- Termómetros de máxima.
- Termómetros de mínima.

La escala de graduación de los termómetros antes mencionados, puede venir en grados Centígrados, grados Fahrenheit, y en algunas ocasiones en grados Kelvin.

La temperatura media diaria se puede calcular por varios métodos, el más práctico y preciso consiste en tomar el promedio de las temperaturas horarias, o en su defecto cada 3 o 6 horas.

La temperatura media diaria mensual se obtiene promediando las temperaturas medias diarias, sin embargo otro criterio indica que es el promedio de las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas.

La temperatura media anual es el promedio de las temperaturas medias mensuales de ese año.

Para expresar las temperaturas medias anuales o medias mensuales, de una manera más representativas se hace uso de un plano ya sea del lugar de la obra, de una región específica o por estado, para lo cual se trazan sobre dicho plano las llamadas curvas isotermas, por el procedimiento ordinario de las curvas de nivel, uniendo puntos de la misma temperatura, de tal manera que queden a un mismo lado todos los puntos cuya temperatura sea más elevada y al otro lado los de temperatura más baja.

En la actualidad existen mapas con las temperaturas medias anuales, así como también mapas con la temperatura media durante el verano o isoteras, y mapas con la temperatura media durante el invierno o Isoquimenas.

3.3 ESTUDIO HIDROLOGICO

CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS DE UNA CUENCA

Concepto de cuenca. Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: Endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

A continuación se describen las características de la cuenca y los cauces de mayor importancia por sus efectos en la relación precipitación-escorrentamiento.

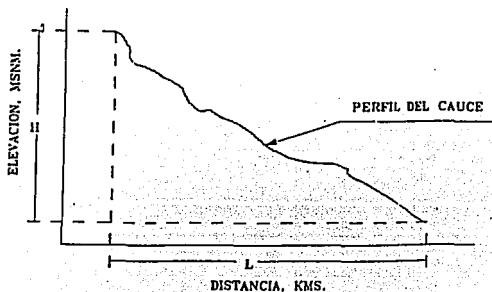
El **parteaguas** es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

El **área de la cuenca** se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

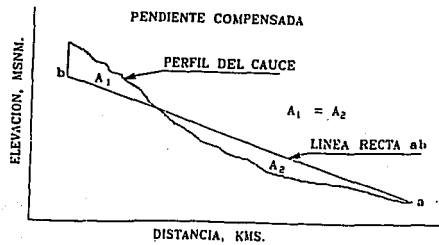
La **corriente principal** de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma. Nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y solo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias o a los puntos de salida se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. Dado que esta pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media; para ello existen varios métodos, de los cuales se mencionan tres:

a) La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.

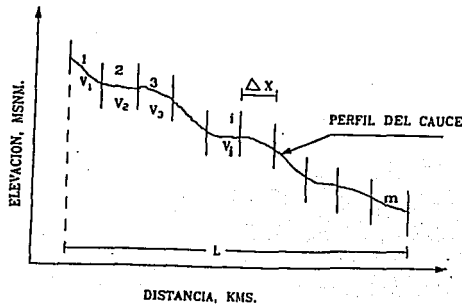


- b) La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas abajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y abajo de dicha línea.



- c) Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

CRITERIO DE TAYLOR Y SCHWARZ



La velocidad de recorrido del agua en el tramo i puede calcularse como:

$$V_i = k \sqrt{S_i} \quad (3.4)$$

Donde k es un factor que depende de la rugosidad y de la forma de la sección transversal y S_i es la pendiente del tramo i . Además, por definición:

$$V_i = \frac{Dx}{t_i} \quad (3.5)$$

Donde Dx es la longitud del tramo i y t_i es el tiempo de recorrido en ese tramo. De (3.4) y (3.5) se obtiene:

$$t_i = \frac{Dx}{k\sqrt{S_i}} \quad (3.6)$$

Por otra parte, la velocidad media de recorrido en todo el cauce dividido en m tramos es:

$$V = \frac{L}{T} = k\sqrt{S} \quad (3.7)$$

Donde L es la longitud total del cauce, T es el tiempo total de recorrido y S es la pendiente media buscada. El tiempo T será:

$$T = \sum_{i=1}^m t_i = \sum_{i=1}^m \frac{Dx}{k\sqrt{S_i}} \quad (3.8)$$

y la longitud L :

$$L = \sum_{i=1}^m Dx = m Dx \quad (3.9)$$

Finalmente, usando las ecuaciones (3.7), (3.8) y (3.9) y despejando S se obtiene:

$$S = \left[\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_m}}} \right]^2 \quad (3.10)$$

Mediante un razonamiento semejante se puede obtener la siguiente fórmula para el caso en que las longitudes de los tramos no sean iguales:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{s_m}}} \right]^2 \quad (3.11)$$

Donde l_i es la longitud del tramo i .

Longitud del cauce principal. La longitud o desarrollo longitudinal del cauce o colector principal es también una magnitud característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que en un río corto los efectos de la precipitación en la cuenca se hace sentir más rápidamente que en un río largo.

Perfil del cauce principal. El perfil de un río se obtiene llevando a una gráfica los valores de sus recorridos horizontales (abscisas), contra sus cambios de elevaciones respectivas (ordenadas).

FACTORES QUE AFECTAN EL ESCURRIMIENTO

El escurrimiento superficial en un cauce o corriente natural está determinado por dos series de factores diferentes: unos dependen del clima, principalmente de la precipitación, y los otros de las características físicas de la cuenca.

La influencia de los primeros depende de lo siguiente:

- a) Tipo o carácter de la precipitación.
- b) Intensidad de la lluvia.
- c) Duración de la lluvia.
- d) Distribución de la lluvia en la cuenca.
- e) Dirección del movimiento de las tormentas.
- f) Condiciones de precipitación y humedad del suelo que preceden a la lluvia.
- g) Otras condiciones climáticas que afectan la evaporación y la transpiración.

El efecto del segundo grupo lo determinan las siguientes características de la cuenca:

- a) Uso del suelo.
- b) Tipo del suelo.
- c) Tamaño de la cuenca.
- d) Forma de la cuenca.
- e) Elevación de la cuenca.
- f) Pendiente de la cuenca.
- g) Orientación de la cuenca.
- h) Tipo de la red de drenaje natural o red hidrográfica.
- i) Extensión de la red hidrográfica.

En general, cuando se trata de encontrar una ecuación sencilla y conveniente para determinar el caudal máximo de avenidas, el caudal mínimo o el caudal medio de una corriente, se observa que tal ecuación tiene que expresarse en términos de todas las variables antes mencionadas y que casi todos los factores, pueden afectar los resultados en una forma muy considerable. De lo anterior se deduce que la estimación de cualquiera de las diferentes características del escurrimiento debe basarse en el análisis cuidadoso de la influencia de todos los factores que intervienen, y que es imposible determinar el escurrimiento superficial por medio de una simple ecuación que considere una o en lo mejor de los casos, dos o tres variables.

Tipo o carácter de la precipitación. Al considerar la influencia de la precipitación en el hidrograma de una corriente o cauce natural tiene mucha importancia el tipo de precipitación. Por ejemplo: si esta cae en forma de lluvia, su influencia se dejará sentir de inmediato, siempre y cuando su intensidad y magnitud sean grandes para que afecten el escurrimiento superficial. Por otra parte, si la precipitación consiste exclusivamente de nieve y no hay deshielos, el hidrograma no se verá afectado en ningún momento, excepto por la nieve que pueda caer directamente sobre la corriente.

Intensidad de lluvia. Cuando la intensidad de lluvia es suficientemente grande como para que exceda la capacidad de infiltración del suelo y haya escurrimiento superficial, el caudal en el cauce es mayor para cualquier aumento posterior de la intensidad de la lluvia.

Una vez que la capacidad de infiltración del suelo ha sido sobrepasada, el escurrimiento superficial crece rápidamente con un aumento de la intensidad de lluvia. Sin embargo, el incremento de caudal no es el mismo que el aumento del exceso de lluvia, pues hay un retardo debido al tamaño de la cuenca y al efecto del almacenamiento o regulación de los cauces.

Duración de la lluvia. Para cada cuenca hay un tiempo crítico tal que para todas las tormentas de esa duración o menor, el período del escurrimiento superficial será, independientemente de la intensidad, prácticamente el mismo; y cuando las lluvias sean de

mayor duración, el período de escurrimiento aumentará. Los caudales máximos superficiales suelen ocurrir en el punto de descarga de una cuenca de drenaje cuando el tiempo que tarda en concentrarse, en ese punto, es igual a la duración de la tormenta que los origina.

Distribución de la lluvia en la cuenca. En las cuencas de drenaje cuya extensión sea apreciable, las tormentas productoras de avenidas tienen raras veces una distribución uniforme. En las cuencas chicas, los caudales máximos se deben a tormentas intensas que cubren solo una superficie pequeña; en las cuencas grandes, los caudales máximos son producidos por tormentas de menor intensidad pero que cubren superficies más grandes. En ningún caso las tormentas tienen una distribución uniforme.

Dirección de la trayectoria de las tormentas. Raras veces una tormenta comienza y termina simultáneamente en toda una cuenca, principalmente cuando ésta es de grandes dimensiones, ya que, generalmente el centro de la perturbación está en movimiento. La dirección con que se desplaza la tormenta en la cuenca, con respecto a la dirección del escurrimiento en el sistema de drenaje, tiene una influencia importante en el caudal máximo resultante y en la duración de su escurrimiento superficial.

Precipitación y humedad del suelo que preceden a la lluvia. La cantidad de humedad en las capas superficiales del suelo tiene un importante efecto en la capacidad de infiltración del mismo y también en la posibilidad de que haya o no aumento de los niveles freáticos, al ocurrir la tormenta.

Cuando la humedad del suelo es alta, la capacidad de infiltración es baja y en la cuenca hay tendencia a que ocurran avenidas mayores que en el caso de que la humedad del suelo sea baja.

Otras condiciones climáticas. Dado que la lluvia es la fuente principal del escurrimiento, es muy natural que sea el factor más importante que afecta y determina la magnitud de dicho escurrimiento. Sin embargo, no es el único que debe considerarse, pues la temperatura, precipitación anual, velocidad del viento, humedad relativa y presión barométrica media, determinan el clima de una zona y afectan en ella también el escurrimiento superficial. La influencia de cada uno de estos factores, en vez de ser directa, es una combinación de todos ellos y determina qué tanta precipitación, de la que cae en la cuenca, será empleada en transpiración, y qué tanta se evaporará, dejando un caudal residual que es el que en última instancia escurrirá por los cauces de drenaje.

FACTORES FISIOGRAFICOS.

Uso de la tierra. De todos los factores que afectan el escurrimiento superficial en una cuenca, el uso de la tierra es uno de los más importantes. Es evidente que el hidrograma de una corriente está muy afectado por la manera en que se utiliza el

suelo de la cuenca. Este factor está íntimamente ligado al de la infiltración y al de la capacidad de retención del suelo.

Tipo del suelo. En cualquier cuenca las características del escurrimiento superficial se ven fuertemente influenciadas por el tipo predominante de suelos, debido a las diferentes capacidades de infiltración de cada uno de ellos, las que a su vez, son el resultado del tamaño de los granos del suelo, del modo como están agrupados y de la forma y arreglo de las partículas. Los suelos con material coloidal se expanden o contraen con los cambios del contenido de agua, afectando así su capacidad de infiltración.

La porosidad afecta la infiltración y la capacidad de almacenamiento de los suelos y varía mucho con los diferentes tipos de éstos. La porosidad no depende del tamaño de las partículas, sino más bien de su arreglo, forma y grado de compactación.

Tamaño de la cuenca. La superficie de la cuenca es aquella que contribuye al escurrimiento superficial y que está limitada por el parteaguas. El tamaño de la cuenca afecta la magnitud de las avenidas y a los escurrimientos mínimos y medios en formas muy diversas; y por lo tanto, sus efectos deben considerarse debidamente.

Forma de la cuenca. Este es el factor que, con el de la pendiente transversal del terreno, gobierna la rapidez con que el agua es aportada a la corriente o cauce a medida que sigue su curso desde el nacimiento de ésta hasta su descarga.

Elevación de la cuenca. Tanto las diferencias de elevación en la cuenca como la elevación media de la misma, son factores importantes relacionados con la temperatura y la precipitación, especialmente la fracción de la cantidad total de esta última que cae en forma de nieve.

Pendiente. La pendiente de una cuenca tiene una relación importante aunque algo compleja con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua freática del escurrimiento. Es uno de los factores que mayor influencia tiene sobre la duración del escurrimiento por la superficie del suelo y en los cauces, así como sobre la concentración de la lluvia en los canales o cauces naturales, y por lo tanto, es un factor de la mayor importancia en relación con la magnitud de las avenidas que en estos últimos pueden ocurrir.

Orientación. Este factor afecta las pérdidas por transpiración y evaporación, por la influencia que tiene en la cantidad de calor solar, que recibe una cuenca. En las cuencas ubicadas en las regiones frías, la dirección de la pendiente resultante de la cuenca hacia el sur o el norte tiene influencia en el tiempo de deshielo de la nieve acumulada en dicha cuenca y por lo tanto, en el volumen con que la nieve contribuye al escurrimiento superficial.

La red de drenaje natural. Este factor tiene mucha importancia pues, por ejemplo, la eficiencia de la red de canales o cauces naturales y por lo tanto, las características del hidrograma resultante dependen de dicha red. Así, si la cuenca está bien drenada, la longitud del escurrimiento superficial es corta y el caudal se concentra rápidamente, las avenidas son grandes en relación a la superficie total de la cuenca y a la intensidad de la lluvia que las origina.

En otras palabras, entre más eficiente es la red de drenaje natural, más rápido es el escurrimiento en los cauces o corrientes o viceversa.

Extensión de la red hidrográfica. Toda corriente o cauce natural tiene sus tributarios, los que a su vez tiene otros y, como regla general, entre más grande es una corriente, mayor es el número de ramales o bifurcaciones que a ella concurren.

CAPITULO IV

ANALISIS HIDRAULICO

4. ANALISIS HIDRAULICO

4.1 DETERMINACION DEL PERIODO DE RETORNO

El Período de Retorno " T " de un evento hidrológico de magnitud dada, se define como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual ese evento puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio.

Si un evento igual o mayor a Y ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P(Y) es igual a 1 en T casos, o sea que:

$$T = \frac{1}{P(Y)} \quad (4.1)$$

La definición anterior permite el siguiente desglose de relaciones de probabilidades:

- La probabilidad de que Y ocurra en cualquier año

$$P(Y) = \frac{1}{T} \quad (4.2)$$

- La probabilidad de que Y no ocurra en cualquier año

$$P(\bar{Y}) = 1 - P(Y) = 1 - \frac{1}{T} \quad (4.3)$$

- La probabilidad de que Y no ocurra en n años sucesivos

$$P(\bar{Y})^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4.4)$$

- La probabilidad conocida como riesgo R, de que Y ocurra al menos una vez en n años sucesivos

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4.5)$$

Si se considera que n sea la vida de diseño operacional de una obra, la ecuación 4.5 permite determinar a partir de la asignación de un cierto riesgo de que la obra falle, el periodo de retorno de la misma.

De lo anterior se tiene que la asignación de un periodo de retorno a un evento hidrológico para realizar el diseño de una obra, si se acepta que la vida de diseño es constante, es función directa del riesgo que se tenga durante su vida operacional, de que se presente un evento mayor al de diseño.

Para cuantificar la probabilidad de ocurrencia o riesgo de que se presente en una obra hidráulica un evento mayor al de diseño, se requiere tener en cuenta:

- Costo de la obra.
- Daños que pueden tener al presentarse una falla.
- Costo de mantenimiento.
- Inconvenientes y perjuicios en el caso de falla.
- Riesgo de vidas humanas.

De ser factible cuantificar los daños que se pueden ocasionar tanto humanos como materiales, el periodo de retorno asignado a un evento para el diseño de una obra hidráulica se puede realizar con apoyo de la ecuación 4.5, a partir de un análisis económico entre el costo de la obra y el costo de los daños por falla de la misma.

Usualmente lo anterior es difícil de hacer, por lo que es común utilizar para la selección del evento de diseño, periodos de retorno o criterios preestablecidos. Así, en la tabla 4.1. se muestran los periodos de retorno recomendables para estructuras menores.

Basándose en las consideraciones anteriores, y de acuerdo a la tabla 4.1; se elige como periodo de retorno para el proyecto El Bejuco el correspondiente a 50 años.

De este modo, este periodo de retorno será el usado en los siguientes análisis para la obtención del gasto de diseño para el dimensionamiento de los bordos de protección.

4.2 DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO

Para obtener el gasto máximo de diseño para una estructura que se localiza en donde existe una estación hidrométrica o bien aguas abajo o arriba de ésta, se requiere encontrar la relación existente entre los gastos máximos anuales y sus periodos de retorno.

Para esto se utilizará el método de análisis estático y probabilístico de los datos de escurrimiento obtenidos de una estación hidrométrica, y a partir de éstos se obtendrá el gasto

TABLA 4.1.
PERIODOS DE RETORNO DE DISEÑO RECOMENDABLES
PARA ESTRUCTURAS MENORES

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (años)
Puente sobre carretera importante, donde el remanso puede causar daños excesivos por inundación u ocasionar la falla del puente.	50 a 100
Puente sobre carreteras menos importantes o alcantarillas sobre carreteras importantes.	25
Alcantarillas sobre caminos secundarios, drenaje de lluvia o contracunetas.	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración.	1 a 2
Drenaje de aeropuertos.	5
Drenajes urbanos	2 a 10
Bordos	2 a 50

máximo instantáneo por medio de funciones de distribución de probabilidades usadas en hidrología.

Una vez conocidos los gastos máximos anuales registrados por la estación hidrométrica que controla la cuenca en estudio, se ordenan estos de mayor a menor y se procede a deducir el período de retorno correspondiente a cada uno de ellos.

De acuerdo con la definición de período de retorno, el correspondiente a cada gasto máximo anual se valía como:

$$T_m = \frac{n + 1}{m} \quad (4.6)$$

En donde

m número de orden del gasto máximo anual en análisis, 1 al más grande, 2 al siguiente, etc.

n años de registro, igual al número de gastos máximos anuales en estudio.

T_m período de retorno correspondiente, en años.

Una vez que se asigna un período de retorno al gasto de diseño de la obra en cuestión, generalmente es necesario, para conocer dicho gasto de diseño, hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados, pues rara vez este período es menor al período de datos.

Por ejemplo, puede ser necesario determinar un gasto de diseño con período de retorno de 1,000 años a partir de 25 años de registro. Si los gastos máximos anuales registrados se dibujan contra sus respectivos períodos de retorno, generalmente se observa alguna tendencia más o menos definida. El problema radica en como extender esta tendencia hasta el período de retorno deseado. Una posibilidad es extrapolar los datos a "ojo", es decir, gráficamente. Aunque este método puede dar muy buenos resultados si se aplica por una persona con experiencia, tiene la desventaja de la subjetividad; estos es, si 20 ingenieros diferentes lo aplican, es probable que el resultado sean 20 gráficas diferentes.

Para eliminar esta subjetividad, se debe buscar entre las distintas funciones de distribución de probabilidad teóricas la que se ajuste mejor a los datos medidos, y usar esta función para la extrapolación.

En la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teóricas; de hecho, existen tantas como se quiera,

y obviamente no es posible probarlas todas para un problema particular. Por lo tanto, es necesario escoger, de esas funciones, las que se adapten mejor al problema bajo análisis.

Entre las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología, se estudiarán las siguientes:

- a) Normal
- b) Lognormal
- c) Gumbel

Las funciones de distribución de probabilidad se estudiarán sin mucha justificación teórica, tanto en lo que respecta a su desarrollo como a la evaluación de sus parámetros, considerando que dicha justificación teórica se sale del enfoque de este trabajo.

DISTRIBUCION NORMAL.

La función de densidad de probabilidad Normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \text{EXP} [-1/2(x-\mu/\sigma)^2] \quad (4.7.)$$

Donde μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x .

Es posible demostrar que μ y σ son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la población y pueden estimarse como la media y desviación estándar de los datos. La función de distribución de probabilidad Normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \text{EXP} [-1/2(x-\mu/\sigma)^2] dx \quad (4.8)$$

Hoy en día, no se conoce analíticamente la integral de la ecuación anterior, por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para valuarla. Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.9)$$

Que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así, la función de distribución de probabilidad (ecuación 4.8) se puede escribir como:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \text{EXP} [-z^2/2] dz \quad (4.10)$$

La función $F(z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella. En la tabla 4.2 se muestra esta función. Debido a que la función $F(z)$ es simétrica, en dicha tabla se encuentran únicamente valores de:

$$F(z) = \int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \text{EXP} [-z^2/2] dz \quad (4.11)$$

Con lo que es posible calcular $F(z)$ para cualquier valor de z .

Otra manera de estimar $f(z)$ o $F(z)$, más conveniente si se usa una computadora, es mediante fórmulas aproximadas. La función de densidad $f(z)$ se aproxima, con una precisión mayor de 2.27×10^{-3} , como:

$$f(z) = (a_0 + a_1 z^2 + a_2 z^4 + a_3 z^6)^{-1} \quad (4.12)$$

Donde

$$\begin{aligned} a_0 &= 2.490895 \\ a_1 &= 1.466003 \\ a_2 &= -0.024393 \\ a_3 &= 0.178257 \end{aligned}$$

TABLA 4.2
 DISTRIBUCION NORMAL

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5754
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7258	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7518	.7549
0.7	.7580	.7612	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7996	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
3.5	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998
3.6	.9998	.9998	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999
3.7	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999
3.8	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Y la función de distribución como:

$$\left. \begin{aligned} F(z) &= H(z), \quad z > 0 \\ F(z) &= 1 - H(z), \quad z < 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

donde

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \text{EXP}(-z^2/2) (b_1q + b_2q^2 + b_3q^3) \quad (4.14)$$

$$\text{Siendo } q = \frac{1}{1+b_0|z|} \quad (4.15)$$

y

$$\begin{aligned} b_0 &= 0.33267 \\ b_1 &= 0.43618 \\ b_2 &= -0.12017 \\ b_3 &= 0.93730 \end{aligned}$$

DISTRIBUCION LOGNORMAL.

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{xB} \text{EXP}[-1/2(\ln x-\alpha/B)^2] \quad (4.16)$$

Donde α y B son los parámetros de la distribución. Si se

compara la ecuación (4.16) con la (4.7), se deduce que α y β son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria.

Los valores de α y β se estiman a partir de n observaciones x_i , $i=1, 2, \dots, n$, como:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (4.17)$$

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (4.18)$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} \text{EXP} [-1/2(\ln x - \alpha/\beta)^2] dx \quad (4.19)$$

Los valores de la función de distribución de probabilidad (4.19) se obtienen usando la tabla 4.3 o la fórmula 4.13 si la variable estandarizada se define como:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \quad (4.20)$$

DISTRIBUCION GUMBEL.

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = \text{EXP} [- \text{EXP} (- \alpha (x - \beta))] \quad (4.21)$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha \text{EXP} [- \alpha(x - \beta) - \text{EXP} (-\alpha(x - \beta))] \quad (4.22)$$

Donde α y β son los parámetros de la función.

Los parámetros α y β se estiman como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad (4.23)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45 S \quad (4.24)$$

Para muestras muy grandes, o bien como:

$$\alpha = \frac{\sigma y}{S} \quad (4.25)$$

$$\beta = \bar{x} - \mu y / \alpha \quad (4.26)$$

Para muestras relativamente pequeñas, donde μy y σy se muestran en la tabla 4.3.

4.3 SELECCION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO A UTILIZAR

La selección de las secciones transversales del río, las cuales serán usadas para transitar el gasto de diseño obtenido, está en función de la topografía del mismo.

T A B L A 4.3
VALORES DE μ_n Y σ_n

n	μ_n	σ_n
8	.4843	.9043
9	.4802	.9288
10	.4952	.9497
11	.4996	.9676
12	.5035	.9833
13	.5070	.9972
14	.5100	1.0095
15	.5128	1.0206
16	.5157	1.0316
17	.5181	1.0411
18	.5202	1.0493
19	.5220	1.0566
20	.5235	1.0628
21	.5252	1.0696
22	.5268	1.0754
23	.5283	1.0811
24	.5296	1.0864
25	.5308	1.0914
26	.5320	1.0961
27	.5332	1.1000
28	.5343	1.1047
29	.5353	1.1086
30	.5362	1.1123
31	.5371	1.1159
32	.5380	1.1193
33	.5388	1.1226
34	.5396	1.2255
35	.5403	1.1284
36	.5410	1.1313
37	.5418	1.1339
38	.5424	1.1363
39	.5430	1.1388
40	.5436	1.1413
41	.5442	1.1436
42	.5448	1.1458
43	.5453	1.1480
44	.5458	1.1499
45	.5463	1.1518
46	.5468	1.1538
47	.5473	1.1557
48	.5477	1.1574

n	μ_n	σ_n
49	.5481	1.1590
50	.5485	1.1606
51	.5489	1.1623
52	.5493	1.1638
53	.5497	1.1653
54	.5501	1.1667
55	.5504	1.1681
56	.5508	1.1696
57	.5511	1.1708
58	.5515	1.1721
59	.5518	1.1734
60	.5520	1.1746
62	.5527	1.1770
64	.5533	1.1793
66	.5538	1.1814
68	.5543	1.1834
70	.5547	1.1853
72	.5552	1.1873
74	.5557	1.1890
76	.5561	1.1906
78	.5565	1.1923
80	.5568	1.1938
82	.5572	1.1953
84	.5576	1.1967
86	.5580	1.1980
88	.5583	1.1994
90	.5586	1.2007
92	.5589	1.2020
94	.5592	1.2032
96	.5595	1.2044
98	.5598	1.2055
100	.5600	1.2064
150	.5646	1.2253
200	.5671	1.2359
250	.5687	1.2429
300	.5699	1.2478
400	.5714	1.2545
500	.5724	1.2588
750	.5737	1.2650
1000	.5745	1.2685
∞	.5772	1.2825

Esto es, sobre un plano topográfico con curvas de nivel a cada metro, se definen secciones en aquellos puntos donde haya cambios notables en las curvas de nivel a lo largo del cauce, de manera que estas secciones sean representativas del relieve del río; ya que la adecuada selección de estas secciones llevarán a la obtención de un modelo del río más cercano a la realidad, y por lo tanto, los análisis efectuados serán más exactos.

Una vez definidas o seleccionadas las secciones que entrarán en el análisis, se procede a deducirlas, es decir, obtener sus características de distancia y elevación, a partir de un punto de origen, que en este caso es uno de los extremos de la sección.

La deducción de una sección transversal se lleva a cabo utilizando un escalímetro, el cual, usando la escala adecuada, que es la misma del plano, se coloca con el cero sobre el extremo izquierdo de la sección coincidiendo con la curva de nivel más alta. Este punto se define como km.0+000, a partir de este hacia la derecha se van midiendo las distancias a las siguientes curvas de nivel, hasta completar la sección al otro lado del cauce.

En este caso, se establecieron secciones a cada 200 metros en su mayoría, debido a la uniformidad en la topografía del cauce. Solo en algunos casos se tuvo que tomar secciones a diferente distancia, debido a las irregularidades del terreno.

4.5 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA "BERNOULLI"

FLUJO VARIADO EN RIOS DE SECCION SENCILLA.

Se consideran cauces irregulares a los no prismáticos cuya sección cambia de un punto a otro a lo largo del mismo. Dentro de estos quedan comprendidos los ríos naturales.

En dichos cauces, a menudo acontece que el agua rebasa los niveles normales cuando ocurre una avenida que inunda regiones o bermas y modifica sustancialmente las velocidades medias y el valor del coeficiente de Coriolis de una sección a otra.

Para el análisis de los problemas en ríos es necesario hacer un levantamiento topográfico en el campo para dividir el río en una serie de tramos cortos de tal modo proporcionados, que la forma de la sección y factores de rugosidad sean aproximadamente uniformes en cada tramo.

De esta manera, en cualquier proceso de integración numérica es necesario trabajar a partir de valores elegidos para X y calcular el tirante de acuerdo con ellos. Una razón práctica para esto es que las propiedades de un río se miden usualmente en las

secciones fijas. Aún cuando se conociera con precisión la geometría del río en cada sección a lo largo del cauce, la variación irregular de las propiedades del canal con la distancia X a partir de un valor dado para el tirante Y, que calcular Y de un valor dado para X.

De este modo, en la determinación de los perfiles de flujo en un río natural se debe calcular "Y" a partir de "X" y para ello usar un procedimiento de aproximaciones sucesivas. En realidad el tirante "Y" rara vez aparece en los cálculos y en su lugar es preferible especificar la altura h del nivel del agua, medida desde un cierto plano de referencia.

En la fig. 4.5.1, se muestran las condiciones hidráulicas en uno de los tramos de longitud DX en que se ha dividido el río. Como el flujo es gradualmente variado, es razonable considerar recta la línea de energía dentro del tramo.

Para una combinación de un gasto, una pendiente y un coeficiente de rugosidad en un canal, existe un tirante único llamado "tirante normal". En el caso de un cauce natural también se presenta este tirante normal.

Para calcular dicho tirante existen diversos métodos, uno de ellos es por medio de tanteos a partir de la fórmula de Manning:

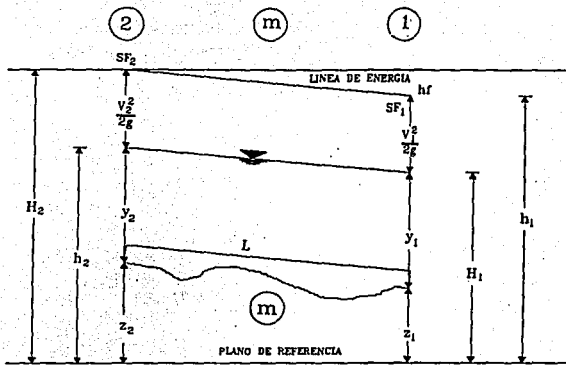
$$Q = \frac{A}{n} S^{1/2} R^{2/3} \quad (4.27)$$

donde

- Q= gasto que pasa por el cauce
- A= Área hidráulica del cauce
- S= Pendiente del cauce
- R= Radio hidráulico
- n= Coeficiente de rugosidad de Manning

Ordenando los datos en el primer miembro y las incógnitas en el segundo, nos queda:

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = AR^{2/3} \quad (4.28)$$



Para sistematizar el calculo, se usa la siguiente tabla:

$\frac{Qn}{S^{1/2}}$	d	A	P	R	$R^{2/3}$	$AR^{2/3}$

La secuela de cálculo es la siguiente:

- Se obtiene el coeficiente n y la pendiente de la sección donde se pretende obtener el tirante normal.
- Se calcula el valor de la primera columna, que es constante.
- Se propone un tirante.
- Se obtienen el área hidráulica y el perímetro mojado correspondiente a ese tirante.
- Se obtiene el valor de la última columna, si éste coincide con la primera se tiene el tirante normal, si no, se propone otro tirante y se repite el proceso.

RELACION SECCION-PENDIENTE

Según la fórmula de Manning, la velocidad es:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (4.29)$$

donde

R= radio hidráulico
 S_f= pendiente de la línea de energía específica
 n= coeficiente de rugosidad

además, de la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = v A \quad (4.30)$$

donde A es el área hidráulica.

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los extremos inicial y final del tramo resulta:

$$z_1 + Y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + Y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + hf \quad (4.31)$$

De la ecuaciones 4.30 y 4.31 se obtiene:

$$hf = Dy + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (4.32)$$

Donde $Dy = (z_1 + Y_1) - (z_2 + Y_2)$ = diferencia en elevación de los niveles máximos del agua en los extremos del tramo. Para tomar en cuenta las pérdidas locales conviene escribir la ecuación 4.32 en la forma:

$$hf = Dy + \frac{Q^2}{bg} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (4.33)$$

donde $b = 2$ si $A_1 > A_2$ y $b = 4$ si $A_2 > A_1$

Utilizando las ecuaciones 4.29 y 4.30 se puede escribir:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} Sf^{1/2} = \bar{K}_d Sf^{1/2} \quad (4.34)$$

$$\text{donde } \bar{K}_d = \frac{AR^{2/3}}{n}$$

Es el coeficiente de conducción medio en el tramo que puede calcularse como el promedio geométrico de los coeficientes de conducción en los extremos del mismo:

$$\bar{K}_d = (K_{d1} K_{d2})^{1/2} ; K_{di} = \frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i} \quad (4.35)$$

Utilizando las ecuaciones 4.33 y 4.34 y tomando en cuenta que $hf = SFL$, se obtiene:

$$\frac{Q^2}{K_d^2} = \frac{Dy}{L} + \frac{Q^2}{bgL} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \quad (4.35)$$

despejando Q:

$$Q = \frac{(Dy/L)^{1/2}}{\left[\frac{1}{K_d^2} - \frac{1}{bgL} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \right]} \quad (4.36)$$

Utilizando esta ecuación se puede calcular el tirante o elevación del agua en un extremo del tramo si se conocen los valores correspondientes en el otro extremo.

El proceso consiste en:

- Se obtienen gráficas que relacionen el área y el perímetro mojado en cada sección, con distintos valores del tirante en las mismas.
- Se aplica la fórmula 4.36 para el primer par de secciones, usando el tirante normal ya obtenido. Y proponiendo un tirante para la segunda sección.
- Si el gasto obtenido coincide con el Qd (gasto de diseño), entonces se ha encontrado el tirante en la sección analizada. Si no, se propone otro valor y se repite la operación.
- Se repite la operación con el siguiente par de secciones, de manera que el tirante obtenido pase a ser dato en el siguiente cálculo.

En la mayoría de los ríos el flujo es subcrítico y el tirante no es muy distinto del normal obtenido para una pendiente media del fondo. Los perfiles hacia aguas arriba son, por tanto, dictados por las condiciones de aguas abajo. Por ello, es ventajoso, aunque no esencial, utilizar una sección de control en el extremo aguas abajo del cauce, formada por un vertedor o unión con un gran río o lago, con objeto de que se conozca el nivel del agua para cualquier gasto. Si esto no es posible, se supone un nivel tentativo inicial arriba del crítico en el extremo aguas abajo y se procede al cálculo hacia aguas arriba. Al repetir el procedimiento con varios niveles iniciales, se encuentra normalmente, que debido a la curvatura decreciente del perfil del flujo, se pierde rápidamente el efecto de pequeñas variaciones en el nivel tentativo de la sección inicial.

FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA "BERNOULLI"

Este programa analiza el tránsito de avenidas en un río, estableciendo el Teorema de Bernoulli entre secciones consecutivas del mismo.

Los pasos a seguir para su uso son:

- Trazar secciones perpendiculares al eje del río.
- Obtener el cadenamamiento de cada sección, yendo de aguas abajo hacia aguas arriba.
- Deducir cada sección transversal, anotando su cadenamamiento a partir de uno de los extremos, y la elevación correspondiente a cada estación.
- Con estos datos se elabora un archivo de datos usando cualquier procesador de textos, los datos se ordenan en columnas de 5 espacios y son los siguientes:

ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO BEJUCO -----(1)										
52	7	3	7	0	0	-----	-----	-----	-----	(2)
		50		100		150		200		300.....(3)
		0.030		0.035		0.040		-----		----- (4)
		4.608		4.704		4.803		4.902		5.001.....(5)
		19368.213		0.10		22		-----		----- (6)
		0	100	130	165	200	250	335	410(7)
		5.75	5.0	4.5	4.0	4.0	4.6	5.0	5.1(8)

Donde cada línea se integra de la siguiente manera:

- Línea 1: Título del problema a analizar.
- Línea 2: 1. Número de secciones, 2. Número de gastos, 3. Número de coeficientes de rugosidad, 4. Número de energías de control, 5. 0 para correr, 1' para generar tabla de áreas y perímetros, 6. 0 para régimen subcrítico, 1 para régimen supercrítico.
- Línea 3: Gastos empleados.
- Línea 4: Coeficientes de rugosidad.
- Línea 5: Energías de control correspondientes a cada gasto.
- Línea 6: 1. Kilometraje primera sección, 2. Variación del tirante para tabla de áreas y perímetros, 3. Número de puntos deducidos de la sección.
- Línea 7: Cadenamientos de la sección.
- Línea 8: Elevación de cada punto.

El análisis se efectúa en dos partes:

Primero. El objetivo de esta parte es obtener la sección de control para el análisis definitivo.

En la línea 2, número 5, se indica que se desea generar una tabla de áreas y perímetros con (1). En la línea 5 se colocan valores arbitrarios de las energías de control, a continuación se corre el programa.

El resultado del programa es una tabla donde se va variando el tirante a partir de la plantilla con el intervalo indicado en la línea 6, No. 2. Para cada tirante se obtiene el área hidráulica y el perímetro mojado.

A continuación se efectúan iteraciones con la fórmula $ARh^{2/3}$ hasta cumplir la igualdad:

$$\frac{Q_n}{g^{1/2}} = ARh^{2/3}$$

Para el área y radio que cumplan la igualdad, se toma la energía correspondiente y se coloca en la columna E de la tabla mostrada; esa será la energía correspondiente a la sección de control que se colocará en la línea 5 del archivo de datos para cada gasto propuesto.

Segundo. En esta parte es en donde se efectúa el análisis hidráulico en sí, para esto basta con indicarlo en la línea 2 del archivo de datos, con un 0 en lugar de 1, para después correr el programa.

La tabla que se genera en esta parte contiene los valores antes mencionados de plantilla, bordos, elevación de la Superficie Libre del Agua, tirantes y velocidades para cada sección, el siguiente paso, como ya se mencionó, consiste en graficar las elevaciones en planta y en perfil.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Al aplicar la fórmula anterior, llamada de Manning, la más grande dificultad reside en la determinación del coeficiente de rugosidad n , pues no hay un método exacto de seleccionar un valor n . En el estado actual de conocimiento, el seleccionar un valor de n significa estimar la resistencia al escurrimiento en un canal dado, lo cual es realmente un asunto intangible. Para ingenieros veteranos, esto significa el ejercicio de un profundo juicio de ingeniería y experiencia; para los novatos, puede ser no más de una adivinanza, y diferentes individuos obtendrán resultados diferentes.

Con el objeto de proporcionar una guía en la determinación apropiada del coeficiente de rugosidad, discutiremos algunos caminos generales; como son:

- 1) Comprender los factores que afectan el valor de n y así adquirir un conocimiento básico del problema y reducir el ancho campo de suposiciones.
- 2) Consultar un cuadro de valores típicos de n para canales (o cauces) de varios tipos.

Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

No es poco común para los ingenieros el pensar que un canal tenga un único valor de n para todas las ocasiones. En realidad, el valor de n es muy variable y depende de una gran cantidad de factores. Al seleccionar un valor adecuado de n para diferentes condiciones de diseño, un conocimiento básico de estos factores debe ser considerado de gran utilidad. Los factores que ejercen la más grande influencia sobre el coeficiente de rugosidad en canales artificiales o naturales son descritos a continuación:

A) Rugosidad de la superficie. La rugosidad de la superficie se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. Esto es a menudo considerado como el único factor al seleccionar un coeficiente de rugosidad, pero es actualmente sólo uno de los varios factores importantes. Hablando en general, los granos finos resultan en un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n .

En corrientes aluviales en donde el material de los granos es fino, tal como la arena, arcilla, marga o cieno, el efecto retardante es mucho menor que en donde el material es grueso, tal como cantos rodados o piedras. Cuando el material es fino, el valor de n es bajo y relativamente poco afectado por cambios en los niveles del flujo. Cuando el material consiste de cantos rodados y piedras, el valor de n es generalmente alto, particularmente para niveles altos o bajos. Las piedras más grandes usualmente se reúnen en el fondo del curso de agua, haciendo el fondo más rugoso que las orillas e incrementando el valor de n para los niveles más bajos. Para niveles altos una porción de la energía del escurrimiento es utilizada en hacer rodar las piedras aguas abajo, o sea incrementando el valor de n .

B) Vegetación. La vegetación puede ser vista como una clase de rugosidad superficial, pues también reduce en marcada forma la capacidad del conducto y retarda el flujo. Este efecto depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación.

C) Irregularidad del cauce. La irregularidad del cauce comprende irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma a lo largo de la longitud del cauce. En los canales naturales, tales irregularidades son introducidas normalmente debido a la presencia de barras de arena, ondas arenosas, promontorios y depresiones, hoyos y relieves en el lecho del cauce. Estas irregularidades definitivamente introducen rugosidades adicionales a las causadas por la rugosidad de la superficie y otros factores. Hablando en general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal, tamaño y forma no afectará apreciablemente el valor de n , pero cambios bruscos o alternación de secciones pequeñas y grandes justifican el uso de un valor grande de n .

D) Alineamiento del cauce. Curvaturas suaves con radios grandes darán un valor relativamente bajo de n , mientras que curvaturas agudas con meandros severos aumentarán n . Los meandros de cursos naturales pueden aumentar el valor de n tanto como 30%.

E) Depósitos y socavaciones. Los depósitos pueden cambiar un canal muy irregular en uno comparativamente uniforme y disminuir n , mientras que la erosión puede hacer al revés y aumentar n . Sin embargo, el efecto dominante del depósito dependerá de la

naturaleza del material depositado. Depósitos disperejos tales como barras y ondas de arena son irregularidades del canal y aumentarán la rugosidad. La cantidad y uniformidad de la erosión dependerá del material que forma el perímetro mojado. Así, un lecho arenoso o de gravas será erosionado más uniformemente que un lecho arcilloso. La energía usada en erosionar y transportar el material en suspensión o rodándolo a lo largo del lecho, también aumentará el valor de n .

F) Obstrucción. La presencia de troncos, pilares de puentes y semejantes tiende a aumentar n . El monto del aumento depende de la naturaleza de la obstrucción, su tamaño, forma, número y distribución.

H) Nivel y caudal. El valor n en la mayoría de las corrientes decrece con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua está baja, las irregularidades del fondo del cauce están expuestas y sus efectos se hacen pronunciados. Sin embargo, el valor de n puede ser grande para niveles altos si los bordes son rugosos y con mucha vegetación.

Cuando el caudal es demasiado alto, la corriente puede rebasar sus bordes y una parte del flujo estará a lo largo de la planicie anegada. El valor n de las crecidas en las planicies es más grande generalmente que el del propio cauce, y su magnitud depende de la condición de la superficie o vegetación. Sin embargo, debe notarse que la vegetación tiene un efecto marcado solamente hasta un cierto nivel, y que el coeficiente de rugosidad se puede considerar que permanece constante para propósitos prácticos al determinar las crecidas sobre las márgenes desbordadas.

El cuadro del coeficiente de rugosidad de Manning

La tabla 4.4 da una lista de valores de n para cauces de varios tipos. Para cada tipo se dan los valores mínimo, normal y máximo.

Esta tabla es útil como una guía para una selección rápida del valor de n a ser utilizado en un problema dado.

O bien, puede emplearse el siguiente criterio, sugerido en Diseño de Presas Pequeñas:

COEFICIENTES DE RUGOSIDAD PARA CAUCES NATURALES

VALOR DE n	CONDICION DEL CAUCE
0.016-0.017	Canales naturales de tierra muy parejos, libres de vegetación, alineamiento recto.
0.020	Canales naturales de tierra parejos, libres de vegetación, con poca curvatura.
0.0225	Medianos, bien contruidos, canales de tierra de tamaño moderado en buenas condiciones.
0.025	Canales de tierra pequeños en buenas condiciones, o canales grandes con algo de vegetación en los taludes o piedras aisladas en la plantilla.
0.030	Canales de tierra con mucha vegetación. Canales naturales con buen alineamiento, sección bastante constante. Canales grandes para avenidas, bien conservados.
0.035	Canales de tierra cubiertos en su mayor parte con vegetación pequeña. Canales desmontados para avenidas, pero sin conservación continua.
0.040-0.050	Corrientes en las montañas con cantos sueltos limpios. Ríos de sección variable con algo de vegetación en los taludes. Canales de tierra con vegetación acuática.
0.060-0.075	Ríos con alineamiento relativamente recto, con su sección transversal muy obstruida por árboles pequeños, con poco monte bajo o vegetación acuática.
0.100	Ríos con alineamiento y sección transversal irregulares, moderadamente obstruidos por árboles pequeños y monte bajo. Ríos con alineamiento y sección transversal bastante regulares, muy obstruidos por árboles pequeños y monte bajo.
0.125	Ríos con alineamiento y sección transversal irregulares, cubiertos con vegetación de bosques vírgenes y lunares ocasionales de chaparrales densos y árboles pequeños, algunos tocones y árboles muertos caídos.
0.150-0.200	Ríos con alineamiento y sección transversal muy irregulares, muchas raíces, árboles, matorrales, troncos grandes y otros arrastres en el fondo, árboles cayendo continuamente en el cauce por la socavación de las márgenes.

TABLA 4.4
VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCION	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
A. CURSOS NATURALES			
A-1 Cursos menores (ancho superior al nivel de crecida < 30 m)			
a. Cursos en planicie			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos.	0.025	0.030	0.033
2. Igual que arriba, pero más piedras y pantos.	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, curvado, algunos pozos y bancos.	0.033	0.040	0.045
4. Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras.	0.035	0.045	0.050
5. Igual que arriba, nivel inferior, más pendiente y sección inefectivas.	0.040	0.048	0.055
6. Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos sucios, con pasto y pozos profundos.	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera y arbustos bajos.	0.075	0.100	0.150
b. Cursos en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas sumergidos para niveles altos.			
1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas.	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con grandes rocas.	0.040	0.050	0.070

TABLA 4.4
VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD n
(continuación)

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
A-2. Planicie crecida			
a. Pasturas, sin arbustos			
1. Pastos cortos.	0.025	0.030	0.035
2. Pastos altos.	0.030	0.035	0.050
b. Areas cultivadas.			
1. Sin cultivo.	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos maduros alineados.	0.025	0.035	0.045
3. Campo de cultivos maduros.	0.030	0.040	0.050
c. Arbustos.			
1. Arbustos escasos, mucho pasto	0.035	0.050	0.070
2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno.	0.035	0.050	0.060
3. Pequeños arbustos y árboles, en verano.	0.040	0.060	0.080
4. Arbustos medianos a densos, en invierno.	0.045	0.070	0.110
5. Arbustos medianos a densos, en verano.	0.070	0.100	0.160
A-3 Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación >30 m) Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
a. Sección regular sin rocas ni arbustos.	0.025	-----	0.060
b. Sección irregular y áspera.	0.035	-----	0.100

METODO PARA CALCULAR EL VALOR MEDIO DE n PARA UN CAUCE

Pasos:

1. Supóngase un valor básico para n
2. Elijase un valor que modifica el de n por la rugosidad o grado de irregularidad
3. Elijase un valor que modifica el de n por la variación de la forma y tamaño de la sección transversal.
4. Elijase un valor que modifica el de n por obstrucciones formadas por arrastres y depósitos, tocónes, raíces expuestas y troncos caídos.
5. Elijase un valor que modifica el de n por la vegetación.
6. Elijase un valor que modifica el de n por la sinuosidad.
7. Súmense los vales obtenidos en los conceptos del 1 al 6.

Datos que ayudan a elegir los diferentes valores de n.

1. Valores básicos de n recomendados

Cauces en tierra	0.010
Cauces en roca	0.015
Cauces en grava fina	0.014
Cauces en grava gruesa	0.028

2. Aumento del coeficiente n que se recomienda para tomar en cuenta el grado de irregularidad.

Cauces parejos	0.000
Poco irregulares	0.005
Moderados	0.010
Muy irregulares	0.020

3. Aumento del coeficiente n que se recomienda para tomar en cuenta el cambio de dimensiones y de forma de la sección transversal.

Graduales	0.000
Ocasionales	0.005
Frecuentes	0.010 a 0.015

4. Aumento del coeficiente n que se recomienda para tomar en cuenta obstrucciones formadas por arrastres, raíces, etc.

De efecto inapreciable	0.000
De muy poco efecto	0.010
De efecto apreciable	0.030
De mucho efecto	0.060

5. Aumento del coeficiente n que se recomienda para tomar en cuenta la vegetación.

De poco efecto	0.005 a 0.010
De efecto medio	0.010 a 0.025
De mucho efecto	0.025 a 0.050
De muchísimo efecto	0.050 a 0.100

6. Aumento del coeficiente n que se recomienda según la sinuosidad del cauce

Ls = Longitud del tramo recto

Lm = Longitud del tramo con meandros

Lm/Ls	n
de 1.0-1.2	0.000
1.2-1.5	0.15 veces ns
>1.5	0.30 veces ns

donde ns = suma de conceptos 1 al 5

CAPITULO V

**APLICACION DE LA METODOLOGIA
AL PROYECTO RIO BEJUCO, NAY.**

5.1. ESTUDIOS BASICOS

ESTUDIO TOPOGRAFICO.

Como parte de éste, se realizó la deducción de secciones transversales a cada 200 metros en promedio, como ya se mencionó, sobre hojas de plancheta escala 1:2,000. Estas hojas fueron proporcionadas por la Comisión Nacional del Agua, que fue quien realizó los levantamientos de la zona. Estas secciones deducidas serán la base para el análisis hidráulico, realizado en páginas posteriores.

Las secciones se muestran en las tablas de las siguientes páginas.

ESTUDIO CLIMATOLOGICO E HIDROLOGICO

Para efecto de estos estudios, se tomaron los datos de escurrimientos máximos anuales para el río "El Bejuco", medidos en la estación hidrométrica del mismo nombre, la cual se ubica junto al puente de la Carretera Internacional México-Nogales, y que utiliza este mismo puente para realizar sus aforos. Se contó con datos desde el año 1958 hasta 1973, usando el Boletín Hidrológico que publica la Secretaría de Recursos Hidráulicos; y se complementaron con registros adicionales hasta el año de 1986, tomados de una base de datos actualizada por la CNA.

En páginas posteriores se reproducen las tablas de gastos máximos anuales del boletín hidrológico, así como los gastos complementarios que serán usados en el análisis hidráulico.

5.2. ANALISIS HIDRAULICO

Los gastos máximos anuales de la estación El Bejuco, ordenados de manera decreciente, se muestran en la siguiente tabla, además de su correspondiente período de retorno:

La distribución de probabilidad de los gastos máximos se obtiene aplicando la fórmula

$$P(x) = \frac{T - 1}{T}$$

Donde T es el período de retorno de cada gasto.

Así entonces, la P(x) para el primer gasto, que tiene un período de retorno de 29 es:

TABLA 5.1
ANALISIS DE GASTOS MAXIMOS
ESTACION EL BEJUCO

No. ORDEN	AÑO	GASTO MAX (m ³ /seg)	Tr
1	1961	403	29.00'
2	1983	300	14.50
3	1962	262	9.67
4	1973	256	7.25
5	1979	248	5.80
6	1975	242	4.83
7	1970	238	4.14
8	1958	235	3.63
9	1966	232	3.22
10	1984	220	2.90
11	1967	211	2.64
12	1969	210	2.42
13	1964	209	2.23
14	1976	206	2.07
15	1980	200	1.93
16	1959	199	1.81
17	1963	196	1.71
18	1971	174	1.61
19	1960	165	1.53
20	1985	162	1.45
21	1978	127	1.38
22	1968	125	1.32
23	1974	119	1.26
24	1965	117	1.21
25	1977	113	1.16
26	1981	106	1.12
27	1972	93	1.07
28	1982	80	1.04

$$P(x) = \frac{29 - 1}{29} = 0.9655$$

Para el segundo gasto, con $Tr = 14.5$ es de:

$$P(x) = \frac{14.5 - 1}{14.5} = 0.9310$$

De la misma manera se obtiene el valor de $P(x)$ para los 28 gastos máximos registrados.

A continuación se aplican las funciones de distribución de probabilidad mencionadas, con el fin de seleccionar la más adecuada a la distribución que siguen los datos; y posteriormente obtener el gasto de diseño.

Aplicando la fórmula siguiente se obtienen la media y la desviación estándar de los datos de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.37)$$

Donde $n = 28$ datos y la suma es igual a 5448, entonces:

$$\bar{x} = \frac{5448}{28} = 194.57 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La desviación estándar de los datos es:

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} = 70.94 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Que pueden estimarse como la media y la desviación estándar de la población, o sea:

$$\mu = \bar{x} = 194.57 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\sigma = s = 70.94 \text{ m}^3/\text{seg}$$

DISTRIBUCION NORMAL

Ahora procedemos a obtener la distribución normal de los gastos máximos usando la teoría antes mencionada.

Para ello definimos la variable estandarizada z usando la fórmula (4.9):

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{403 - 194.97}{70.94} = 2.9324$$

Aplicamos ahora la fórmula (4.13)

$$F(z) = H(z), \quad z > 0$$

$$F(z) = 1 - H(z), \quad z < 0$$

Donde $H(z)$ esta dada por la fórmula (4.14)

$$H(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \text{EXP}(-z^2/2) (b_1q + b_2q^2 + b_3q^3)$$

$$\text{Siendo } q = \frac{1}{1+b_0|z|}$$

Y

$$\begin{aligned} b_0 &= 0.33267 \\ b_1 &= 0.43618 \\ b_2 &= -0.12017 \\ b_3 &= 0.93730 \end{aligned}$$

Entonces, aplicando (4.13) para el gasto de 403 m³/seg;

$$H(z) = 0.9983$$

Y como $z > 0$, $F(z) = H(z) = 0.9983$

El mismo procedimiento se aplica para todos los datos.

DISTRIBUCION LOGNORMAL

De manera similar, usamos ahora las fórmulas (4.17) y (4.18) para obtener los parámetros α y β :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$$

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

Resultando:

$$\alpha = 5.20$$

$$\beta = 0.3759$$

Obtenemos ahora la variable estandarizada z , con la fórmula (4.20), para el gasto de 403 m³/seg:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{S} = 2.125$$

Volvemos a aplicar la fórmula (4.13) para obtener $H(z)$:

$$H(z) = 0.9828$$

Igualmente, se hace lo mismo para los demás gastos.

DISTRIBUCION GUMBEL

Para esto, obtenemos primero los parámetros α y S , con las fórmulas (4.25) y (4.26)

$$\alpha = \frac{\sigma y}{S}$$

$$S = \bar{x} - \mu y / \alpha$$

Donde σy y μy se obtienen de la tabla 4.4, para $n = 28$

$$\mu y = 0.5343$$

$$\sigma y = 1.1047$$

Entonces

$$\alpha = 0.01557$$

$$S = 160.2540$$

El valor de $F(z)$ para 403 m³/seg es entonces, usando (4.21):

$$F(x) = \text{EXP} [- \text{EXP} (- \alpha (x - \beta))] = 0.9774$$

Siguiéndose el mismo método para los gastos restantes.

SELECCION DE LA FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD

En algunos casos, la diferencia entre una y otra función puede ser apreciable. Una selección apresurada de cualquiera de las funciones podría traducirse en una estructura sobrediseñada y costosa o subdiseñada y peligrosa. Por ello, se debe seleccionar la función con cuidado. Enseguida se describen algunos métodos para hacerlo.

a) Análisis Gráfico.

Un primer método que se usa para seleccionar la función consiste simplemente en inspeccionar una gráfica donde se haya dibujado cada una de las diferentes funciones junto con los puntos medidos.

La función de distribución de probabilidad que se seleccione será la que se apegue visualmente mejor a los datos medidos.

Este método se usa a veces, incluso, para ajustar las funciones de distribución de probabilidad a los datos medidos, dibujando en un papel especial para cada función dichos datos, escogiendo la función para la que el conjunto de puntos sea semejante a una línea recta y finalmente trazando "a ojo" dicha línea recta para poder hacer las extrapolaciones necesarias.

Este es un método con un alto grado de subjetividad y, usado aisladamente, puede ser un tanto peligroso. Sin embargo, es muy ilustrativo y recomendable para ser usado con otros métodos. Si lo aplica un ingeniero con experiencia, puede resultar el mejor de todos.

b) Método del error cuadrático mínimo.

Este método es menos subjetivo que el anterior. Consiste en calcular, para cada función de distribución, el error cuadrático:

$$C = \left[\sum_{i=1}^n (X_{ei} - X_{oi})^2 \right]^{1/2}$$

Donde X_{ei} es el i -ésimo dato estimado y X_{oi} es el i -ésimo dato calculado con la función de distribución bajo análisis.

En la tabla (5.2) se muestran los gastos estimados para cada una de las funciones de distribución usadas, y los errores cuadráticos correspondientes.

De los resultados consignados en la tabla (5.3), se observa que la función más adecuada en este caso, es la Gumbel, ya que tiene el error cuadrático más pequeño, aunque las diferencias entre las tres no son muy significativas.

DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO.

Usaremos entonces la función de distribución de Gumbel para obtener nuestro gasto diseño, para el período de retorno seleccionado anteriormente, que es de 50 años.

Se procede de la siguiente manera:

De la ecuación (4.27), se tiene:

$$P(x) = \frac{T-1}{T} = \frac{50-1}{50} = 0.9800 = \text{EXP} [- \text{EXP} (- \alpha (x - \beta))]]$$

Despejando x :

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] = 410.86 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Donde:

$$\alpha = 0.01557$$

$$\beta = 160.2540$$

T = 50 años

Concluyendo: el gasto de diseño obtenido por el método de Gumbel, que se usará en el dimensionamiento de los bordos, resultó ser de:

$$Q_d = 410.86 \text{ m}^3/\text{seg}$$

OBTENCION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Usando la tabla 4.4, y de acuerdo a las condiciones físicas del cauce del río Bejuco, se obtiene un coeficiente de rugosidad n medio de 0.030.

Usaremos ahora el segundo método descrito anteriormente con la finalidad de obtener un valor promedio de n .

Se procede de la siguiente manera:

1. Se selecciona como valor básico 0.014, correspondiente a un cauce sobre arena fina.
2. Considerando el cauce como poco irregular, se toma 0.005 para este paso.
3. Los cambios de dimensión de las secciones son escasos, por lo que tomamos en este punto 0.000.
4. Por tener un cauce casi sin obstrucciones, se toma este valor como 0.000.
5. La vegetación, en este caso, tiene un efecto medio, por lo que se toma 0.010 para tomar en cuenta su efecto.

La suma parcial hasta el momento es de 0.029, que corresponde a n_s , en el concepto 6.

6. Midiendo los tramos rectos y en curva sobre los planos del río, se obtiene una longitud de 7 km para los primeros, y de 8.6 km para los segundos. Por lo que tenemos:

$$\begin{aligned}L_s &= 7 \text{ km} \\L_m &= 8.6 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\frac{L_m}{L_s} = 1.23$$

De donde el valor de este concepto se obtiene como:

$$0.15 \times n_s = 0.15 (0.029) = 0.004$$

Finalmente, sumando los 6 conceptos, se tiene:

$$0.029 + 0.004 = 0.033$$

Promediando los valores obtenidos por los métodos anteriores, 0.030 y 0.033 correspondientemente, obtenemos:

$$n = 0.0315$$

EJECUCION DEL PROGRAMA "BERNOULLI"

Tenemos en este momento los datos necesarios para realizar el tránsito de la avenida de diseño, y definir las elevaciones de la Superficie Libre del Agua para cada sección transversal del cauce del río. Para esto se ejecuta el programa "Bernoulli", el cual se basa en la teoría descrita.

El primer paso consiste en la obtención de la sección de control aguas abajo, ya que el análisis se efectuará bajo régimen subcrítico. Para esto, se realiza el siguiente procedimiento:

- Se ejecuta el programa para la obtención de la tabla de áreas y perímetros, y se obtienen las energías de control como se mencionó anteriormente. En estas energías de control se encuentra el tirante inicial, con el que el programa calcula los de las demás secciones.
- Obtenida la sección de control, se ejecuta el programa a funcionamiento libre, del cual se obtiene la elevación final del agua, y por lo tanto, los puntos donde el agua rebasa los bordes del cauce e inunda las zonas contiguas al mismo.

En las páginas siguientes se muestran los datos de las secciones del río, ordenados en el archivo de datos para la ejecución del programa, así como los resultados de la corrida ejecutada y su representación en un perfil a lo largo del cauce.

ARCHIVO DE DATOS PARA LA EJECUCION DEL PROGRAMA

ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO BEJUCO, NAY.

69	1	1	1	1	0														
	411																		
	0.0315																		
	3.4	(SUPUESTO)																	
	15600	0.10	10																
0	30	45	58	70	81	95	105	115	123										
2	2	1	0	-1	-1.7	-1	0	1	1.5										
	15400	0.10	9																
0	30	32	40	42	50	52	56	94											
2	1	0	-1	-1.95	-1	0	1	1.5											
	15200	0.10	13																
0	4	8	12	16	22	26	28	30	34	40	46	88							
2	2	1	0	-1	-2	-2.14	-2	-1	0	1	2	2							
	15000	0.10	9																
0	3	5	8	11	13	15	17	20											
1	0	-1	-2	-2.2	-2	-1	0	1											
	14800	0.10	13																
0	4	6	16	20	22	26	28	32	36	42	56	66							
2	1	0	-1	-1.95	-1	0	1	2	2	3	3	2							
	14600	0.10	11																
0	6	10	16	19	22	26	32	33	38	96									
1	0	-1	-2	-2.36	-2	-1	0	1	2	2									
	14400	0.10	12																
0	38	44	48	50	53	56	60	62	65	74	82								
2	2	1	0	-1	-2	-2.45	-2	-1	0	1	2								
	14200	0.10	8																
0	36	44	48	52	56	58	62												
2	1	0	-1	-1.9	-1	0	1												
	13800	0.10	9																
0	6	10	12	17	22	24	30	36											
2	1	0	-1	-1.7	-1	0	1	2											
	13600	0.10	9																
0	3	6	10	12	15	17	19	21											
1	0	-1	-2	-2.10	-2	-1	0	1											
	13400	0.10	9																
0	3	5	7	10	13	16	19	22											
1	0	-1	-2	-2.30	-2	-1	0	1											
	13200	0.10	7																
0	6	11	16	22	29	34													
1	0	-1	-1.4	-1	0	1													
	13000	0.10	10																
0	1	3	4	6	7	9	13	23	39										
1	0	-1	-2	-2.05	-2	-1	0	1	2										
	12800	0.10	8																
0	4	8	14	24	28	30	40												
1	0	-1	-1.8	-1	0	1	2												
	12600	0.10	9																
0	4	6	8	12	15	17	19	21											
1	0	-1	-2	-2.7	-2	-1	0	1											

	12400		0.10	11																
0	2	5	7	9	12	14	18	21	23	25										
1.5	1	0	-1	-2	-2.4	-2	-1	0	1	1.5										
	12200		0.10	10																
0	2	4	7	10	12	16	20	22	36											
1	0	-1	-2	-2.35	-2	-1	0	1	2											
	11800		0.10	8																
0	4	8	15	20	28	38	66													
2	1	0	-.40	0	1	2	2													
	11600		0.10	7																
0	8	17	28	36	47	58														
2	1	0	-.6	0	1	2														
	11400		0.10	7																
0	54	62	70	75	80	84														
2	1	0	-.5	0	1	2														
	11200		0.10	7																
0	18	22	26	30	45	59														
2	1	0	-.1	0	1	2														
	11000		0.10	7																
0	10	14	22	27	31	36														
2	1	0	-.17	0	1	2														
	10800		0.10	11																
0	4	6	8	12	15	19	24	30	33	37										
3	3	2	1	0	-.1	0	1	2	3	3										
	10600		0.10	11																
0	2	3	6	10	11	12	24	28	31	35										
3	3	2	1	0	1	-.1	1	2	3	3										
	10400		0.10	9																
0	36	38	42	48	56	60	64	98												
3	3	2	1	0.04	1	2	3	3												
	10200		0.10	11																
0	10	12	14	15	16	17	24	27	56	82										
3	3	2	2	1	.1	1	2	3	3.5	3										
	9800		0.10	11																
0	10	12	14	15	16	17	23	27	31	35										
4.3	4	3	2	1	.91	1	2	3	4	4.2										
	9600		0.10	7																
0	3	5	8	13	20	25														
4.5	4	3	2	1.83	2	3														
	9400		0.10	7																
0	3	13	14	16	17	19														
3	2	1	.93	1	2	3														
	9200		0.10	8																
0	4	9	11	13	15	18	20													
3	2	1	.88	1	2	3	4													
	9000		0.10	9																
0	40	42	45	50	57	59	62	70												
4.5	4	3	2	1.53	2	3	4	4												
	8800		0.10	8																
0	3	10	13	16	18	21	32													
4	3	2	1.48	2	3	4	4													

	600	-	0.10	12															
0	8	12	32	40	64	71	82	89	94	98	102								
12	11	10	9	9	9	8	7.75	8	9	10	11								
	400		0.10	12															
0	2	4	6	16	28	36	38	41	44	48	56								
12	11	10	9	8	7.59	8	9	10	11	12	12.5								
	200		0.10	13															
0	46	50	56	60	62	74	86	92	94	128	136	144							
13	12	11	10	9	8	7.54	8	9	10	11	12	12.5							
	000		0.10	10															
0	10	18	26	35	38	55	68	70	76										
12	12.5	12	11	10	9	7.83	9	10	11										

AREAS Y PERIMETROS EN LA ULTIMA SECCION,
TIRANTES A CADA 10 CMS.

ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO BEJUCO, NAY.
TABLAS VALORES FI Y PSI PARA GASTO= 411.00

ESTACION 15600.00		ELEVACION PLANTILLA=		-1.70	
				N= .03150	
ELEVACION	TIRANTE	VELOCIDAD	ENERGIA	AREA	PERIMETRO
-1.600	.100	2301.601269996	700	.179	3.577
-1.500	.200	575.400	16873.360	.714	7.154
-1.400	.300	255.733	3331.907	1.607	10.731
-1.300	.400	143.850	1053.380	2.857	14.308
-1.200	.500	92.064	430.797	4.464	17.886
-1.100	.600	63.933	207.232	6.429	21.463
-1.000	.700	46.971	111.452	8.750	25.040
-.900	.800	36.195	65.874	11.355	27.149
-.800	.900	29.005	42.079	14.170	29.259
-.700	1.000	23.902	28.419	17.195	31.368
-.600	1.100	20.117	20.028	20.430	33.478
-.500	1.200	17.215	14.604	23.875	35.587
-.400	1.300	14.929	10.960	27.530	37.697
-.300	1.400	13.091	8.435	31.395	39.806
-.200	1.500	11.587	6.643	35.470	41.916
-.100	1.600	10.338	5.348	39.755	44.025
.000	1.700	9.288	4.397	44.250	46.135
.100	1.800	8.393	3.690	48.970	48.544
.200	1.900	7.621	3.160	53.930	50.952
.300	2.000	6.951	2.762	59.130	53.361
.400	2.100	6.365	2.465	64.570	55.769
.500	2.200	5.851	2.245	70.250	58.178
.600	2.300	5.396	2.084	76.170	60.586
.700	2.400	4.992	1.970	82.330	62.995
.800	2.500	4.632	1.894	88.730	65.403
.900	2.600	4.310	1.847	95.370	67.812
1.000	2.700	4.020	1.823	102.250	70.221
1.100	2.800	3.757	1.819	109.405	73.327
1.200	2.900	3.517	1.830	116.870	76.433
1.300	3.000	3.297	1.854	124.645	79.540
1.400	3.100	3.097	1.889	132.730	82.646
1.500	3.200	2.912	1.932	141.125	85.753
1.600	3.300	2.745	1.984	149.750	87.356
1.700	3.400	2.593	2.043	158.525	88.959
1.800	3.500	2.454	2.107	167.450	90.563
1.900	3.600	2.328	2.176	176.525	92.166
2.000	3.700	2.213	2.250	185.750	123.769
2.100	3.800	2.075	2.320	198.050	123.969
2.200	3.900	1.954	2.395	210.350	124.169

2.300	4.000	1.846	2.474	222.650	124.369
2.400	4.100	1.749	2.556	234.950	124.569
2.500	4.200	1.662	2.641	247.250	124.769
2.600	4.300	1.584	2.728	259.550	124.969
2.700	4.400	1.512	2.816	271.850	125.169
2.800	4.500	1.446	2.907	284.150	125.369
2.900	4.600	1.386	2.998	296.450	125.569
3.000	4.700	1.331	3.090	308.750	125.769
3.100	4.800	1.280	3.184	321.050	125.969
3.200	4.900	1.233	3.277	333.350	126.169
3.300	5.000	1.189	3.372	345.650	126.369
3.400	5.100	1.148	3.467	357.950	126.569
3.500	5.200	1.110	3.563	370.250	126.769
3.600	5.300	1.074	3.659	382.550	126.969
3.700	5.400	1.041	3.755	394.850	127.169
3.800	5.500	1.009	3.852	407.150	127.369
3.900	5.600	.980	3.949	419.450	127.569
4.000	5.700	.952	4.046	431.750	127.769
4.100	5.800	.926	4.144	444.050	127.969
4.200	5.900	.901	4.241	456.350	128.169
4.300	6.000	.877	4.339	468.650	128.369
4.400	6.100	.855	4.437	480.950	128.569
4.500	6.200	.833	4.535	493.250	128.769
4.600	6.300	.813	4.634	505.550	128.969
4.700	6.400	.794	4.732	517.850	129.169
4.800	6.500	.775	4.831	530.150	129.369
4.900	6.600	.758	4.929	542.450	129.569
5.000	6.700	.741	5.028	554.750	129.769
5.100	6.800	.725	5.127	567.050	129.969
5.200	6.900	.709	5.226	579.350	130.169
5.300	7.000	.695	5.325	591.650	130.369
5.400	7.100	.681	5.424	603.950	130.569
5.500	7.200	.667	5.523	616.250	130.769
5.600	7.300	.654	5.622	628.550	130.969
5.700	7.400	.641	5.721	640.850	131.169
5.800	7.500	.629	5.820	653.150	131.369
5.900	7.600	.618	5.919	665.450	131.569
6.000	7.700	.606	6.019	677.750	131.769
6.100	7.800	.596	6.118	690.050	131.969
6.200	7.900	.585	6.217	702.349	132.169
6.300	8.000	.575	6.317	714.649	132.369
6.400	8.100	.565	6.416	726.950	132.569
6.500	8.200	.556	6.516	739.250	132.769
6.600	8.300	.547	6.615	751.549	132.969
6.700	8.400	.538	6.715	763.849	133.169
6.800	8.500	.530	6.814	776.149	133.369
6.900	8.600	.521	6.914	788.449	133.569

Se procede ahora a obtener el tirante normal en la última sección del río, para iniciar desde este punto el análisis.

OBTENCION DEL TIRANTE NORMAL

Se calcula $Q_n/S^{1/2}$

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = \frac{(411)(.0315)}{(0.00061)} = 524.18$$

$\frac{Q_n}{S^{1/2}}$	d	A	P	R	$R^{2/3}$	$AR^{2/3}$
524.18	3.2	141.125	85.753	1.65	1.39	196.72
	4.2	247.250	124.569	1.98	1.58	390.08
	4.6	296.450	125.569	2.36	1.77	525.61

Este tirante normal, (o más bien la energía específica 2.998 m), correspondiente a este tirante, es el valor definitivo que usa el programa para obtener las elevaciones del agua en cada sección, usando iteraciones de la fórmula de sección-pendiente obtenida en el capítulo anterior. El programa incluye una subrutina para calcular áreas y perímetros en cada sección, lo que hace que cada iteración en cada sección sea hecha con mucha rapidez. En cambio hacer esto manualmente sería muy lento por tener que obtener curvas tirante-área-perímetro para cada sección.

ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO BEJUCO, NAY.

TABLA DE VALORES CRITICOS PARA UN GASTO= 411.00 M3/SEG.

ESTACION	PLANTILLA	ELEVACION BORDO DER.	ELEVACION BORDO IZQ.	ELEVACION	ENERGIA	TIRANTE	VELOCIDAD
15600.00	-1.70	2.00	1.50	2.20	2.97	3.90	3.89
15400.00	-1.95	2.00	1.50	2.05	2.68	4.00	3.51
15200.00	-2.14	2.00	2.00	2.26	2.91	4.40	3.56
15000.00	-2.20	1.00	1.00	2.70	4.41	4.90	5.79
14800.00	-1.95	2.00	2.00	2.65	3.65	4.60	4.44
14600.00	-2.36	1.00	2.00	2.24	2.83	4.60	3.39
14400.00	-2.45	2.00	2.00	2.35	3.00	4.80	3.58
14200.00	-1.90	2.00	1.00	2.40	3.21	4.30	3.97
13800.00	-1.70	2.00	2.00	2.60	3.76	4.30	4.77
13600.00	-2.10	1.00	1.00	2.50	4.17	4.60	5.73
13400.00	-2.30	1.00	1.00	2.40	4.03	4.70	5.65
13200.00	-1.40	1.00	1.00	2.10	3.29	3.50	4.83
13000.00	-2.05	1.00	2.00	2.65	3.78	4.70	4.70
12800.00	-1.80	1.00	2.00	2.00	3.10	3.80	4.65
12600.00	-2.70	1.00	1.00	2.40	4.07	5.10	5.72
12400.00	-2.40	1.50	1.50	2.40	3.93	4.80	5.48
12200.00	-2.35	1.00	2.00	2.35	3.51	4.70	4.78
11800.00	- .40	2.00	2.00	2.80	3.59	3.20	3.94
11600.00	- .60	2.00	2.00	2.30	3.15	2.90	4.09
11400.00	- .50	2.00	2.00	2.40	3.09	2.90	3.69
11200.00	- .10	2.00	2.00	2.70	3.52	2.80	4.02
11000.00	- .17	2.00	2.00	3.03	4.26	3.20	4.91
10800.00	- .10	3.00	3.00	3.70	4.91	3.80	4.88
10600.00	- .10	3.00	3.00	3.80	4.96	3.90	4.77
10400.00	.04	3.00	3.00	3.74	4.92	3.70	3.36
10200.00	.10	3.00	3.00	4.30	4.96	4.20	3.60
9800.00	.91	4.30	4.20	5.41	6.66	4.50	4.95
9600.00	1.83	4.50	3.00	5.53	7.04	3.70	5.44
9400.00	.93	3.00	3.00	5.33	7.12	4.40	5.92
9200.00	.88	3.00	4.00	5.48	7.20	4.60	5.80
9000.00	1.53	4.50	4.00	5.13	5.90	3.60	3.88
8800.00	1.48	4.00	4.00	5.58	6.90	4.10	5.10
8600.00	1.43	4.00	4.00	5.83	7.56	4.40	5.82
8400.00	1.53	4.00	4.00	5.53	6.92	4.00	5.22
8200.00	1.78	5.50	4.00	5.98	7.17	4.20	4.83
7800.00	1.54	5.00	5.00	5.94	6.57	4.40	3.52
7600.00	2.08	5.00	5.00	5.98	6.73	3.90	3.83
7200.00	2.53	5.00	5.00	6.25	7.62	3.70	5.22
7000.00	2.30	6.00	6.00	6.60	7.44	4.30	4.06
6800.00	3.02	6.00	6.00	7.22	8.38	4.20	4.78
6600.00	2.74	6.00	6.00	7.44	9.11	4.70	5.72
6400.00	3.33	6.00	6.00	7.43	9.08	4.10	5.70
6200.00	3.18	6.00	6.00	7.88	9.62	4.70	5.85

5860.00	3.54	6.00	7.00	7.54	8.92	4.00	5.21
5400.00	3.15	7.00	7.00	7.35	8.57	4.20	4.88
5200.00	3.42	8.00	7.00	7.32	8.17	3.90	4.07
5000.00	3.62	7.00	7.00	7.52	8.86	3.90	5.13
4145.00	3.99	8.00	8.00	8.29	9.56	4.30	4.99
4000.00	3.60	8.00	8.00	8.20	9.76	4.60	5.53
3800.00	4.83	9.00	8.00	8.43	9.17	3.60	3.81
3600.00	3.95	9.00	9.00	8.65	9.92	4.70	4.99
3400.00	4.23	9.00	9.00	8.53	9.83	4.30	5.04
3200.00	4.83	9.00	9.00	8.63	9.57	3.80	4.30
3000.00	5.40	10.00	10.00	8.90	9.82	3.50	4.25
2800.00	5.40	10.00	9.90	8.10	8.98	2.70	4.16
2600.00	5.40	10.00	10.20	8.60	9.54	3.20	4.29
2400.00	5.33	10.00	10.00	9.53	10.83	4.20	5.04
2200.00	5.60	10.00	10.00	9.40	10.27	3.80	4.14
2000.00	5.75	10.00	10.00	9.55	10.53	3.80	4.39
1800.00	6.75	11.50	11.00	9.85	10.68	3.10	4.04
1600.00	6.74	10.00	10.00	9.64	10.22	2.90	3.38
1400.00	6.17	11.00	11.50	10.67	11.71	4.50	4.52
1200.00	6.41	11.00	11.50	10.51	11.38	4.10	4.14
1000.00	6.97	11.00	11.50	10.67	11.67	3.70	4.44
800.00	7.33	12.50	12.50	10.03	10.71	2.70	3.65
600.00	7.75	12.00	11.00	10.55	11.44	2.80	4.18
400.00	7.59	12.00	12.50	10.59	11.72	3.00	4.71
200.00	7.54	13.00	12.50	10.64	11.48	3.10	4.07
.00	7.83	12.00	11.00	11.03	12.00	3.20	4.37

En base a los resultados obtenidos, se determinó que el tramo del río comprendido entre el kilómetro 3+000 y el 15+600, punto final de estudio, es el que requiere de protección contra desbordamientos e inundaciones, debido a esto, se diseñarán y construirán los bordos de protección en dicho tramo. Sin embargo, debido a que dichos bordos también funcionarán como caminos de acceso a la zona, se ligarán con la carretera internacional México-Nogales, aunque en ese tramo de 3 km no se presenten inundaciones.

SECCIONES TRANSVERSALES

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
1	0 + 000	12.00	1	2	0 + 000	13.00
	0 + 010	12.50	2		0 + 046	12.00
KM 0 + 000	0 + 018	12.00	3	KM 0 + 200	0 + 050	11.00
	0 + 026	11.00	4		0 + 056	10.00
	0 + 035	10.00	5		0 + 060	9.00
	0 + 038	9.00	6		0 + 062	8.00
	0 + 055	7.83	7		0 + 074	7.54
	0 + 068	9.00	8		0 + 086	8.00
	0 + 070	10.00	9		0 + 092	9.00
	0 + 076	11.00	10		0 + 094	10.00
			11		0 + 128	11.00
			12		0 + 136	12.00
			13		0 + 144	12.50
3	0 + 000	12.00	1	4	0 + 000	12.00
	0 + 002	11.00	2		0 + 005	11.00
KM 0 + 400	0 + 004	10.00	3	KM 0 + 600	0 + 009	10.00
	0 + 006	9.00	4		0 + 013	9.00
	0 + 016	8.00	5		0 + 018	9.00
	0 + 028	7.59	6		0 + 026	9.00
	0 + 036	8.00	7		0 + 037	8.00
	0 + 038	9.00	8		0 + 043	7.75
	0 + 041	10.00	9		0 + 049	8.00
	0 + 044	11.00	10		0 + 054	9.00
	0 + 048	12.00	11		0 + 061	10.00
	0 + 056	12.50	12		0 + 069	11.00
5	0 + 000	12.50	1	6	0 + 000	11.00
	0 + 015	12.00	2		0 + 016	10.00
KM 0 + 800	0 + 029	11.00	3	KM 1 + 000	0 + 020	9.00
	0 + 037	10.00	4		0 + 030	6.97
	0 + 048	9.00	5		0 + 045	8.00
	0 + 060	8.00	6		0 + 048	9.00
	0 + 074	7.33	7		0 + 050	10.00
	0 + 083	8.00	8		0 + 054	11.00
	0 + 100	9.00	9		0 + 062	11.50
	0 + 115	10.00	10			
	0 + 125	11.00	11			
	0 + 131	12.00	12			
	0 + 145	12.50	13			
7	0 + 000	11.00	1	8	0 + 000	11.00
	0 + 015	10.00	2		0 + 014	11.50
KM 1 + 200	0 + 024	9.00	3	KM 1 + 400	0 + 024	11.00
	0 + 037	8.00	4		0 + 028	10.00
	0 + 043	6.41	5		0 + 031	9.00
	0 + 046	8.00	6		0 + 034	8.00
	0 + 058	9.00	7		0 + 040	6.17
	0 + 066	10.00	8		0 + 043	8.00
	0 + 067	11.00	9		0 + 062	9.00
	0 + 072	11.50	10		0 + 067	10.00
			11		0 + 070	11.00
			12		0 + 078	11.50

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
9	0 + 000	10.00	1	10	0 + 000	11.50
	0 + 024	9.00	2		0 + 008	11.00
KM 1 + 600	0 + 040	9.50	3	KM 1 + 800	0 + 013	10.00
	0 + 054	9.00	4		0 + 017	9.00
	0 + 058	8.00	5		0 + 026	8.00
	0 + 060	7.00	6		0 + 031	7.00
	0 + 080	6.74	7		0 + 035	6.75
	0 + 095	8.00	8		0 + 041	7.00
	0 + 100	9.00	9		0 + 054	8.00
	0 + 104	10.00	10		0 + 063	9.00
			11		0 + 074	10.00
			12		0 + 083	11.00
11	0 + 000	10.00	1	12	0 + 000	10.00
	0 + 003	9.00	2		0 + 008	9.00
KM 2 + 000	0 + 005	8.00	3	KM 2 + 200	0 + 015	8.00
	0 + 007	7.00	4		0 + 019	8.00
	0 + 015	6.00	5		0 + 023	8.00
	0 + 027	5.75	6		0 + 027	7.00
	0 + 030	8.00	7		0 + 035	5.60
	0 + 037	9.00	8		0 + 043	7.00
	0 + 057	10.00	9		0 + 051	8.00
			10		0 + 060	9.00
			11		0 + 069	10.00
13	0 + 000	10.00	1	14	0 + 000	10.00
	0 + 038	10.00	2		0 + 005	9.00
KM 2 + 400	0 + 040	9.00	3	KM 2 + 600	0 + 014	8.00
	0 + 042	8.00	4		0 + 022	7.00
	0 + 045	7.00	5		0 + 030	6.00
	0 + 048	6.00	6		0 + 032	5.40
	0 + 052	5.33	7		0 + 052	6.00
	0 + 060	6.00	8		0 + 053	7.00
	0 + 062	7.00	9		0 + 055	8.00
	0 + 065	8.00	10		0 + 058	9.00
	0 + 070	9.00	11		0 + 060	10.00
	0 + 072	10.00	12		0 + 080	10.20
15	0 + 000	10.00	1	16	0 + 000	10.00
	0 + 028	10.00	2		0 + 012	10.00
KM 2 + 800	0 + 035	9.00	3	KM 3 + 000	0 + 015	9.00
	0 + 040	8.00	4		0 + 020	8.00
	0 + 042	7.00	5		0 + 025	7.00
	0 + 065	6.00	6		0 + 033	6.00
	0 + 068	5.40	7		0 + 039	5.40
	0 + 088	6.00	8		0 + 046	6.00
	0 + 090	7.00	9		0 + 051	7.00
	0 + 094	8.00	10		0 + 059	8.00
	0 + 096	9.00	11		0 + 068	9.00
	0 + 120	9.90	12		0 + 079	10.00

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
17 KM 3 + 200	0 + 000	9.00	1	18 KM 3 + 400	0 + 000	9.00
	0 + 004	8.00	2		0 + 058	9.00
	0 + 005	7.00	3		0 + 072	8.00
	0 + 009	6.00	4		0 + 073	7.00
	0 + 013	5.00	5		0 + 074	6.00
	0 + 016	4.83	6		0 + 078	5.40
	0 + 020	5.00	7		0 + 086	4.23
	0 + 025	6.00	8		0 + 090	5.00
	0 + 032	7.00	9		0 + 094	6.00
	0 + 045	8.00	10		0 + 096	7.00
	0 + 057	9.00	11		0 + 098	8.00
					12	0 + 102
19 KM 3 + 600	0 + 000	9.00	1	20 KM 3 + 800	0 + 000	9.00
	0 + 002	8.00	2		0 + 038	9.00
	0 + 004	7.00	3		0 + 046	8.00
	0 + 006	6.00	4		0 + 088	7.00
	0 + 009	5.00	5		0 + 090	6.00
	0 + 011	4.00	6		0 + 094	5.00
	0 + 013	3.95	7		0 + 100	4.83
	0 + 015	4.00	8		0 + 104	5.00
	0 + 018	5.00	9		0 + 106	6.00
	0 + 022	6.00	10		0 + 110	7.00
	0 + 026	7.00	11		0 + 114	8.00
	0 + 030	8.00	12			
	0 + 033	9.00	13			
21 KM 4 + 000	0 + 000	8.00	1	22 KM 4 + 145	0 + 000	8.00
	0 + 002	7.00	2		0 + 003	7.00
	0 + 004	6.00	3		0 + 004	6.00
	0 + 005	5.00	4		0 + 005	5.00
	0 + 014	4.00	5		0 + 012	3.99
	0 + 018	3.60	6		0 + 019	5.00
	0 + 019	4.00	7		0 + 025	6.00
	0 + 020	5.00	8		0 + 026	7.00
	0 + 022	6.00	9		0 + 032	8.00
	0 + 023	7.00	10			
	0 + 024	8.00	11			
23 KM 5 + 000	0 + 000	7.00	1	24 KM 5 + 200	0 + 000	8.00
	0 + 003	6.00	2		0 + 047	7.00
	0 + 006	5.00	3		0 + 050	6.00
	0 + 010	4.00	4		0 + 054	5.00
	0 + 016	3.62	5		0 + 057	4.00
	0 + 021	4.00	6		0 + 060	3.42
	0 + 025	5.00	7		0 + 062	4.00
	0 + 026	6.00	8		0 + 079	5.00
	0 + 030	7.00	9		0 + 081	6.00
			10		0 + 094	7.00

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
25 KM 5 + 400	0 + 000	7.00	1	26 KM 5 + 860	0 + 000	6.00
	0 + 002	6.00	2		0 + 004	5.00
	0 + 004	5.00	3		0 + 007	4.00
	0 + 009	4.00	4		0 + 014	3.34
	0 + 013	3.15	5		0 + 019	4.00
	0 + 017	4.00	6		0 + 021	5.00
	0 + 023	5.00	7		0 + 023	6.00
	0 + 030	6.00	8		0 + 027	7.00
	0 + 035	7.00	9		0 + 029	7.50
			10		0 + 030	7.00
27 KM 6 + 200	0 + 000	6.00	1	28 KM 6 + 400	0 + 000	6.00
	0 + 002	5.00	2		0 + 002	5.00
	0 + 004	4.00	3		0 + 004	4.00
	0 + 007	3.18	4		0 + 012	3.33
	0 + 012	4.00	5		0 + 018	4.00
	0 + 016	5.00	6		0 + 020	5.00
	0 + 019	6.00	7		0 + 022	6.00
	0 + 021	6.00	8			
29 KM 6 + 600	0 + 000	6.00	1	30 KM 6 + 800	0 + 000	6.00
	0 + 003	5.00	2		0 + 002	5.00
	0 + 005	4.00	3		0 + 004	4.00
	0 + 007	3.00	4		0 + 012	3.02
	0 + 010	2.74	5		0 + 018	4.00
	0 + 012	3.00	6		0 + 020	5.00
	0 + 015	4.00	7		0 + 023	6.00
	0 + 019	5.00	8		0 + 035	6.00
	0 + 022	6.00	9			
31 KM 7 + 000	0 + 000	6.00	1	32 KM 7 + 200	0 + 000	5.00
	0 + 002	6.00	2		0 + 006	4.00
	0 + 004	5.00	3		0 + 018	3.00
	0 + 006	4.00	4		0 + 022	2.53
	0 + 007	3.00	5		0 + 026	3.00
	0 + 013	2.30	6		0 + 027	4.00
	0 + 016	4.00	7		0 + 030	5.00
	0 + 020	5.00	8			
	0 + 024	5.00	9			
	0 + 028	5.00	10			
	0 + 032	6.00	11			
	0 + 038	6.00	12			
	0 + 042	5.00	13			
	0 + 044	4.00	14			
	0 + 048	4.00	15			
	0 + 050	5.00	16			
	0 + 051	6.00	17			
	0 + 056	6.00	18			

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
33	0 + 000	5.00	1	34	0 + 000	5.00
	0 + 004	4.00	2		0 + 030	5.50
KM 7 + 600	0 + 008	3.00	3	KM 7 + 800	0 + 056	5.00
	0 + 014	2.08	4		0 + 058	4.00
	0 + 020	3.00	5		0 + 061	3.00
	0 + 024	4.00	6		0 + 063	2.00
	0 + 025	5.00	7		0 + 066	1.54
	0 + 050	5.50	8		0 + 068	2.00
	0 + 078	5.00	9		0 + 071	3.00
			10		0 + 072	4.00
			11		0 + 074	5.00
			12		0 + 100	5.00
35	0 + 000	5.50	1	36	0 + 000	4.00
	0 + 008	5.00	2		0 + 007	3.00
KM 8 + 200	0 + 016	4.00	3	KM 8 + 400	0 + 011	2.00
	0 + 018	3.00	4		0 + 014	1.53
	0 + 025	2.00	5		0 + 019	2.00
	0 + 028	1.78	6		0 + 023	3.00
	0 + 032	2.00	7		0 + 028	4.00
	0 + 034	3.00	8			
	0 + 035	4.00	9			
37	0 + 000	4.00	1	38	0 + 000	4.00
	0 + 002	3.00	2		0 + 003	3.00
KM 8 + 600	0 + 004	2.00	3	KM 8 + 800	0 + 010	2.00
	0 + 007	1.43	4		0 + 013	1.48
	0 + 010	2.00	5		0 + 016	2.00
	0 + 019	3.00	6		0 + 018	3.00
	0 + 021	4.00	7		0 + 021	4.00
			8		0 + 032	4.00
39	0 + 000	4.50	1	40	0 + 000	3.00
	0 + 040	4.00	2		0 + 004	2.00
KM 9 + 000	0 + 042	3.00	3	KM 9 + 200	0 + 009	1.00
	0 + 045	2.00	4		0 + 011	.88
	0 + 050	1.53	5		0 + 013	1.00
	0 + 057	2.00	6		0 + 015	2.00
	0 + 059	3.00	7		0 + 018	3.00
	0 + 062	4.00	8		0 + 020	4.00
	0 + 070	4.00	9			
41	0 + 000	3.00	1	42	0 + 000	4.50
	0 + 003	2.00	2		0 + 003	4.00
KM 9 + 400	0 + 013	1.00	3	KM 9 + 600	0 + 005	3.00
	0 + 014	0.93	4		0 + 008	2.00
	0 + 016	1.00	5		0 + 013	1.83
	0 + 017	2.00	6		0 + 020	2.00
	0 + 019	3.00	7		0 + 025	3.00

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
43 KM 9 + 800	0 + 000	4.30	1	44 KM 10 + 200	0 + 000	3.00
	0 + 010	4.00	2		0 + 010	3.00
	0 + 012	3.00	3		0 + 012	2.00
	0 + 014	2.00	4		0 + 014	2.00
	0 + 015	1.00	5		0 + 015	1.00
	0 + 016	.91	6		0 + 016	0.10
	0 + 017	1.00	7		0 + 017	1.00
	0 + 023	2.00	8		0 + 024	2.00
	0 + 027	3.00	9		0 + 027	3.00
	0 + 031	4.00	10		0 + 056	3.50
	0 + 035	4.20	11		0 + 082	3.00
45 KM 10 + 400	0 + 000	3.00	1	46 KM 10 + 600	0 + 000	3.00
	0 + 036	3.00	2		0 + 002	3.00
	0 + 038	2.00	3		0 + 003	2.00
	0 + 042	1.00	4		0 + 006	1.00
	0 + 048	.04	5		0 + 010	.00
	0 + 056	1.00	6		0 + 011	-.10
	0 + 060	2.00	7		0 + 012	.00
	0 + 064	3.00	8		0 + 024	1.00
	0 + 098	3.00	9		0 + 028	2.00
			10		0 + 031	3.00
			11		0 + 035	3.00
47 KM 10 + 800	0 + 000	3.00	1	48 KM 11 + 000	0 + 000	2.00
	0 + 004	3.00	2		0 + 010	1.00
	0 + 006	2.00	3		0 + 014	.00
	0 + 008	1.00	4		0 + 022	-.17
	0 + 012	.00	5		0 + 027	.00
	0 + 015	-.10	6		0 + 031	1.00
	0 + 019	.00	7		0 + 036	2.00
	0 + 024	1.00	8			
	0 + 030	2.00	9			
	0 + 033	3.00	10			
	0 + 037	3.00	11			
49 KM 11 + 200	0 + 000	2.00	1	50 KM 11 + 400	0 + 000	2.00
	0 + 018	1.00	2		0 + 054	1.00
	0 + 022	.00	3		0 + 062	0.00
	0 + 026	-.10	4		0 + 070	-0.50
	0 + 030	.00	5		0 + 075	0.00
	0 + 045	1.00	6		0 + 080	1.00
	0 + 059	2.00	7		0 + 084	2.00
51 KM 11 + 600	0 + 000	2.00	1	52 KM 11 + 800	0 + 000	2.00
	0 + 008	1.00	2		0 + 004	1.00
	0 + 017	0.00	3		0 + 008	0.00
	0 + 028	-.60	4		0 + 015	-0.40
	0 + 036	.00	5		0 + 020	0.00
	0 + 047	1.00	6		0 + 028	1.00
	0 + 058	2.00	7		0 + 038	2.00
			8		0 + 066	2.00

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
53	0 + 000	1.00	1	54	0 + 000	1.50
	0 + 002	.00	2		0 + 002	1.00
KM 12 + 200	0 + 004	-1.00	3	KM 12 + 400	0 + 005	.00
	0 + 007	-2.00	4		0 + 007	-1.00
	0 + 010	-2.35	5		0 + 009	-2.00
	0 + 012	-2.00	6		0 + 012	-2.40
	0 + 016	-1.00	7		0 + 014	-2.00
	0 + 020	.00	8		0 + 018	-1.00
	0 + 022	1.00	9		0 + 021	.00
	0 + 036	2.00	10		0 + 023	1.00
			11		0 + 025	1.50
55	0 + 000	1.00	1	56	0 + 000	1.00
	0 + 004	.00	2		0 + 004	.00
KM 12 + 600	0 + 006	-1.00	3	KM 12 + 800	0 + 008	-1.00
	0 + 008	-2.00	4		0 + 014	-1.80
	0 + 012	-2.70	5		0 + 024	-1.00
	0 + 015	-2.00	6		0 + 028	.00
	0 + 017	-1.00	7		0 + 030	1.00
	0 + 019	.00	8		0 + 078	2.00
	0 + 021	1.00	9			
57	0 + 000	1.00	1	58	0 + 000	1.00
	0 + 001	0.00	2		0 + 006	.00
KM 13 + 000	0 + 003	-1.00	3	KM 13 + 200	0 + 011	-1.00
	0 + 004	-2.00	4		0 + 016	-1.40
	0 + 006	-2.05	5		0 + 022	-1.00
	0 + 007	-2.00	6		0 + 029	0.00
	0 + 009	-1.00	7		0 + 034	1.00
	0 + 013	0.00	8			
	0 + 023	1.00	9			
	0 + 039	2.00	10			
59	0 + 000	1.00	1	60	0 + 000	1.00
	0 + 003	.00	2		0 + 003	.00
KM 13 + 400	0 + 005	-1.00	3	KM 13 + 600	0 + 006	-1.00
	0 + 007	-2.00	4		0 + 010	-2.00
	0 + 010	-2.30	5		0 + 012	-2.10
	0 + 013	-2.00	6		0 + 015	-2.00
	0 + 016	-1.00	7		0 + 017	-1.00
	0 + 019	.00	8		0 + 019	.00
	0 + 022	1.00	9		0 + 021	1.00
61	0 + 000	2.00	1	62	0 + 000	2.00
	0 + 006	1.00	2		0 + 036	1.00
KM 13 + 800	0 + 010	.00	3	KM 14 + 200	0 + 044	0.00
	0 + 012	-1.00	4		0 + 048	-1.00
	0 + 017	-1.70	5		0 + 052	-1.90
	0 + 022	-1.00	6		0 + 056	-1.00
	0 + 024	.00	7		0 + 058	0.00
	0 + 030	1.00	8		0 + 062	1.00
	0 + 036	2.00	9			

NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION	n	NO. SECCION	ESTACION	ELEVACION
63 KM 14 + 400	0 + 000	2.00	1	64 KM 14 + 600	0 + 000	1.00
	0 + 038	2.00	2		0 + 005	.00
	0 + 044	1.00	3		0 + 010	-1.00
	0 + 048	.00	4		0 + 016	-2.00
	0 + 050	-1.00	5		0 + 019	-2.36
	0 + 053	-2.00	6		0 + 022	-2.00
	0 + 056	-2.45	7		0 + 026	-1.00
	0 + 060	-2.00	8		0 + 032	.00
	0 + 062	-1.00	9		0 + 033	1.00
	0 + 065	.00	10		0 + 038	2.00
	0 + 074	1.00	11		0 + 096	2.00
	0 + 082	2.00	12			
65 KM 14 + 800	0 + 000	2.00	1	66 KM 15 + 000	0 + 000	1.00
	0 + 004	1.00	2		0 + 003	.00
	0 + 005	.00	3		0 + 005	-1.00
	0 + 016	-1.00	4		0 + 008	-2.00
	0 + 020	-1.95	5		0 + 011	-2.20
	0 + 022	-1.00	6		0 + 013	-2.00
	0 + 026	.00	7		0 + 015	-1.00
	0 + 028	1.00	8		0 + 017	.00
	0 + 032	2.00	9		0 + 020	1.00
	0 + 036	2.00	10			
	0 + 042	3.00	11			
	0 + 056	3.00	12			
	0 + 066	2.00	13			
67 KM 15 + 200	0 + 000	2.00	1	68 KM 15 + 400	0 + 000	2.00
	0 + 004	2.00	2		0 + 030	1.00
	0 + 008	1.00	3		0 + 032	.00
	0 + 012	.00	4		0 + 040	-1.00
	0 + 016	-1.00	5		0 + 042	-1.95
	0 + 022	-2.00	6		0 + 050	-1.00
	0 + 026	-2.14	7		0 + 052	.00
	0 + 028	-2.00	8		0 + 056	1.00
	0 + 030	-1.00	9		0 + 094	1.50
	0 + 034	.00	10			
	0 + 040	1.00	11			
	0 + 046	2.00	12			
	0 + 088	2.00	13			
69 KM 15 + 600	0 + 000	2.00	1	70		
	0 + 010	2.00	2			
	0 + 026	1.00	3			
	0 + 030	.00	4			
	0 + 034	-1.00	5			
	0 + 039	-1.70	6			
	0 + 044	-1.00	7			
	0 + 047	.00	8			
	0 + 052	1.00	9			
	0 + 076	1.50	10			

DATOS DEL BOLETIN HIDROLOGICO

GASTOS MAXIMOS ANUALES

MES	GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG	VOLUMEN ANUAL MILES M3	GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG	VOLUMEN ANUAL MILES M3
ENE					.98	.42	.65	1,728
FEB					.42	.18	.25	617
MAR	.05	.03	.03	89	.20	.09	.14	382
ABR	.03	.02	.03	66	.09	.04	.06	150
MAY					.05	.00	.03	73
JUN	73.10	.02	3.89	10,070	13.90	.00	.84	2,167
JUL	125.00	2.56	22.64	60,645	56.80	5.78	13.59	36,322
AGO	101.00	3.83	12.81	34,321	199.00	2.87	18.58	49,771
SEP	235.00	4.06	41.99	108,831	75.40	5.11	28.22	73,137
OCT	74.60	3.57	12.55	33,622	10.50	4.95	6.72	18,003
NOV	22.50	1.64	4.10	10,620	5.48	3.37	4.47	11,595
DIC	1.64	.98	1.35	3,628	3.37	.72	1.89	5,068
ANUAL	235.00		8.28	261,890	199.00		6.29	199,013
		1960						
ENE	.72	.08	.21	557	.47	.23	.31	842
FEB	.08	.03	.05	128	.23	.08	.13	322
MAR	.04	.03	.03	84	.10	.02	.06	151
ABR	.03	.03	.03	69	.02	.00	.02	43
MAY	.03	.02	.02	62	.02	.00	.00	3
JUN					228.00	.00	5.96	15,444
JUL	56.80	.00	5.41	14,496	261.00	.53	22.90	61,343
AGO	76.90	3.56	16.77	44,906	131.00	2.46	16.74	44,840
SEP	165.00	2.65	21.88	56,714	403.00	6.36	35.73	92,620
OCT	11.10	1.06	2.00	5,347	33.90	2.03	4.80	12,864
NOV	4.14	.30	.84	2,181	2.03	.65	.88	2,281
DIC	4.58	.22	1.02	2,729	.65	.50	.50	1,339
ANUAL	165.00		4.02	127,273	403.00		7.34	232,092

DATOS DEL BOLETIN HIDROLOGICO

GASTOS MAXIMOS ANUALES

(continuación)

MES	1962			VOLUMEN MENSUAL MILES M3	1963			VOLUMEN MENSUAL MILES M3
	GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG		GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG	
ENE	.50	.35	.35	938	.49	.11	.25	664
FEB	.35	.15	.15	363	.15	.05	.09	211
MAR	.15	.08	.08	201	.09	.00	.03	74
ABR	.08	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
MAY	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
JUN	113.00	.00	6.68	17,308	.00	.00	.00	0
JUL	99.20	3.84	15.03	40,264	196.00	.00	25.99	69,623
AGO	102.00	5.00	25.20	67,503	106.00	5.28	20.22	54,164
SEP	262.00	6.00	39.89	105,368	162.00	3.65	13.72	35,568
OCT	82.90	2.54	10.13	27,123	77.30	3.44	11.23	30,087
NOV	7.82	.78	1.71	4,436	4.76	.98	1.64	4,261
DIC	1.05	.48	.72	1,929	1.03	.46	.77	2,072
ANUAL	262.00		8.33	263,453	196.00		6.16	196,724
		1964				1965		
ENE	.48	.20	.31	831	.17	.05	.08	216
FEB	.20	.08	.13	325	.05	.01	.03	74
MAR	.08	.02	.04	113	.01	.00	.00	5
ABR	.02	.00	.01	15	.00	.00	.00	0
MAY	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
JUN	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
JUL	68.80	.00	2.04	5,468	17.60	.00	.98	2,620
AGO	209.00	2.10	14.82	39,687	105.00	1.48	11.33	30,335
SEP	92.30	4.85	19.61	50,842	117.00	2.47	10.83	28,063
OCT	65.60	1.10	6.74	18,045	59.30	.43	4.23	11,338
NOV	1.10	.26	.58	1,506	.48	.13	.24	624
DIC	.29	.14	.21	566	3.35	.10	.42	1,116
ANUAL	209.00		3.71	117,398	117.00		2.35	74,391

DATOS DEL BOLETIN HIDROLOGICO

GASTOS MAXIMOS ANUALES

(continuación)

MES	GASTO	GASTO	GASTO	VOLUMEN	GASTO	GASTO	GASTO	VOLUMEN
	MAXIMO	MINIMO	MEDIO	MENSUAL	MAXIMO	MINIMO	MEDIO	MENSUAL
	M3/SEG	M3/SEG	M3/SEG	MILES M3	M3/SEG	M3/SEG	M3/SEG	MILES M3
	1966				1967			
ENE	.34	.08	.15	394	.35	.17	.25	660
FEB	.16	.06	.10	246	.20	.03	.10	238
MAR	.07	.00	.03	76	.03	.00	.01	17
ABR	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
MAY	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
JUN	23.22	.00	.49	1,265	.00	.00	.00	0
JUL	47.32	1.98	7.41	19,855	30.92	.00	2.87	7,680
AGO	232.00	2.36	23.25	62,270	119.68	1.30	15.12	40,497
SEP	147.69	3.75	19.12	49,560	211.80	7.15	31.82	82,485
OCT	15.48	2.44	5.86	15,684	41.48	1.40	6.40	17,150
NOV	3.51	.59	1.92	4,969	1.90	.61	1.10	2,850
DIC	.80	.23	.38	1,013	.61	.40	.51	1,372
ANUAL	232.00		4.89	155,334	211.80		4.85	152,949
	1968				1969			
ENE	.40	.10	.24	649	.40	.14	.25	671
FEB	.10	.07	.08	203	.14	.07	.10	231
MAR	.09	.08	.09	234	.07	.00	.02	62
ABR	.08	.00	.05	136	.00	.00	.00	0
MAY	.00	.00	.00	0				
JUN	.00	.00	.00	0				
JUL	23.64	.00	2.01	5,386				
AGO	125.19	1.76	15.25	40,851	210.80	4.50	28.42	76,114
SEP	112.15	3.14	18.98	49,194	100.36	5.67	23.36	60,545
OCT	39.88	1.47	5.74	15,303	133.96	3.17	15.41	41,270
NOV	1.80	.56	1.00	2,596	3.17	.50	1.44	3,727
DIC	1.80	.26	.55	1,483				
ANUAL	125.19		3.67	116,115	210.80		5.75	182,620

DATOS DEL BOLETIN HIDROLOGICO

GASTOS MAXIMOS ANUALES

(continuación)

MES	GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG	VOLUMEN MENSUAL MILES M3	1970		1971	
					GASTO MAXIMO M3/SEG	GASTO MINIMO M3/SEG	GASTO MEDIO M3/SEG	VOLUMEN MENSUAL MILES M3
ENE					.17	.09	.14	364
FEB					.09	.00	.04	109
MAR					.00	.00	.00	0
ABR					.00	.00	.00	0
MAY					.00	.00	.00	0
JUN					5.00	.00	.62	1,099
JUL					47.36	.10	4.74	12,699
AGO	171.30	24.00	41.09	110,059	174.56	1.80	16.77	44,929
SEP	238.20	8.22	34.83	90,279	142.72	2.78	32.62	84,545
OCT	15.60	1.22	4.21	11,278	168.00	3.00	12.09	32,384
NOV	1.31	.49	.89	2,295	3.00	.77	1.34	3,483
DIC	.49	.15	.31	829	.77	.28	.47	1,259
ANUAL	238.20		6.78	214,740	174.56		5.72	180,867
					1972		1973	
ENE	.50	.16	.30	793	.89	.25	.47	1,256
FEB	.16	.02	.09	237	.25	.13	.16	394
MAR	.05	.00	.01	29	.13	.00	.05	139
ABR	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
MAY	.00	.00	.00	0	.00	.00	.00	0
JUN	.55	.00	.06	168	32.50	.00	.55	1,422
JUL	59.00	.06	4.51	12,074	80.25	.30	9.35	25,050
AGO	72.30	1.02	8.89	23,823	163.60	3.68	27.09	72,554
SEP	93.42	3.20	14.93	38,709	256.00	6.51	43.10	111,716
OCT	24.45	.95	4.15	11,113	90.92	1.01	7.66	20,312
NOV	68.14	.44	3.47	8,993	2.90	.67	1.03	2,673
DIC	2.65	.46	.95	2,536	.67	.20	.35	950
ANUAL	93.42		3.11	98,455	256.00		7.48	236,666

GASTOS COMPLEMENTARIOS

AÑO	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
GASTO	119	242	206	113	127	248	200	106	80

AÑO	1983	1984	1985						
GASTO	300	220	162						

5.3 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ADECUADA

LOCALIZACION DE LOS BORDOS

Debe proporcionarse un cauce de sección suficiente para transmitir el gasto de diseño con un bordo libre razonable y que proteja contra la acción del oleaje. La anchura del cauce entre los bordos y la altura de éstos está relacionada estrechamente. Cuando la planicie de inundación del río es plana, el incremento de anchura del cauce permitirá hacer bordos más bajos. El costo de un sistema de bordos, incluye el costo del terreno que ocuparán bordos y cauce, más el costo de la construcción de estos bordos. Por lo tanto, es necesario determinar por tanteos la combinación de anchura del cauce y altura de bordos que ofrezca los mayores beneficios. Las corrientes tributarias pequeñas no se bordean, pero reciben tratamiento como problemas de drenaje interno.

Si el cauce del río es bastante recto y los valores de los terrenos son iguales aproximadamente en los dos lados de la corriente, generalmente los bordos se espaciarán equidistantes de cada lado del río. Sin embargo, usualmente el curso del río no es recto y las líneas del bordo faldean por el exterior de los codos, por lo que el cauce bordeado será menos tortuoso que el cauce natural de aguas bajas.

En ningún caso, debe ir un bordo cerca de un codo para que la socavación de las márgenes lo debilite. En los puntos en donde se pueden presentar erosiones en las márgenes el bordo debe revestirse y protegerse quizá con diques permeables para asegurarlo de fallas.

La altura libre se considera como la distancia vertical desde la parte superior o corona del bordo, hasta la superficie del agua en la condición de diseño. Esta distancia debe ser suficiente para prevenir que las olas o fluctuaciones en la superficie del agua desborden los lados.

No existe una regla aceptada universalmente para la determinación de la altura libre, ya que la acción de la ola o de la fluctuación de la superficie del agua puede ser creada por muchas causas incontrolables. Olas pronunciadas y fluctuaciones de la superficie del agua son de esperarse en conducciones donde la velocidad es tan alta y la pendiente tan pronunciada que el flujo se hace muy inestable, o en curvas donde la alta velocidad y un ángulo de deflexión grande pueden causar la sobre-elevación del agua en la parte convexa de la curva.

Alturas libres variando desde el 5% hasta el 30% de la profundidad media del flujo son comúnmente utilizadas en el diseño. Vista en planta la zona que se tiene que proteger, se localizan los bordos procurando que queden lo más separados posible de las orillas (si las construcciones lo permiten) o bien sobre el barrote del río si existe.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS BORDOS

Anteriormente se realizó el tránsito libre de la avenida de diseño y se obtuvo un perfil de las elevaciones del agua y de las orillas del cauce. El siguiente paso consiste en determinar la elevación de la corona de los bordos, para esto se hizo lo siguiente.

- Se ajustó la línea de la superficie del agua a una recta, obteniendo la pendiente media como:

$$S_m = \frac{E_1 - E_2}{L}$$

Donde . E1 = Elevación del km 0+000, (aguas arriba)
E2 = Elevación del km 15+600, (aguas abajo)
L = Longitud del tramo.

Resultando $S_m = 0.000566$

- Se calculó el bordo o altura libre considerándolo como el 30% del tirante medio del agua, obtenido a partir de la corrida del programa:

Tirante medio = 3.97 m

Bordo libre = $0.30 (3.97) = 1.19 \text{ m} \sim 1.20 \text{ m}$

- La corona de los bordos se obtuvo como la suma de las elevaciones correspondientes a la línea recta del agua, en cada sección, más la altura libre calculada en el punto anterior.

El siguiente paso es ubicar en planta a los bordos, es decir, obtener su separación, tal que el nivel del agua en cada sección coincida o se aproxime a la definida por la línea de SLA (Superficie Libre del Agua), ya establecida, quedando el bordo libre como margen de seguridad.

Para esto se procedió como sigue:

- Se eligieron secciones a lo largo del cauce, en puntos donde se presentaban cambios notables en la topografía de las secciones transversales.
- Se supuso una separación inicial de los bordos, equidistantes a las orillas del cauce, y se dedujeron nuevas secciones, incluyendo los bordos, con el fin de transitar la avenida de diseño entre estos y comparar la Superficie Libre del Agua obtenida con la establecida.
- Se realizaron varias iteraciones o tanteos hasta que se obtuvo una separación adecuada, donde los tirantes del agua considerando bordos, no rebasan los tirantes prefijados.

Las separaciones analizadas fueron de 200, 250 y 300 metros entre bordos, resultando la de 300 la más adecuada, en cuanto a que la superficie del agua se mantiene abajo de la corona de los bordos, incluyendo la altura libre de 1.20 m.

Al observar la elevación del agua en cada sección analizada, se encontró que en las secciones del kilómetro 6+000 al 14+000, la diferencia de alturas entre la corona prefijada y el agua era de entre 1.5 a 3.0 metros, cuando debiera ser de 1.2 m, que es el bordo libre.

Se procedió entonces a reducir la elevación de la corona en las secciones comprendidas dentro de ese tramo, con el objeto de tener menos volumen de material en la formación de los bordos, lo que se traduce en un menor costo de construcción.

Al hacer esto, la pendiente de los bordos ya no resulta uniforme, como se había establecido, sino que presenta cambios en las secciones donde se disminuyó la altura de la corona.

A continuación se muestran las tablas correspondientes a la ejecución del programa "Bernoulli" únicamente para la opción de 300 metros de separación, que fue la que resultó la más adecuada, como se mencionó. Se realizó el mismo procedimiento de obtención del tirante normal que para el análisis a funcionamiento libre.

Se procede ahora a definir la sección geométrica de los bordos, donde los datos que se necesita calcular son los taludes y el ancho de la corona.

RESULTADOS DEL PROGRAMA "BERNOULLI"

SEPARACION ENTRE BORDOS = 300 M

ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO BEJUCO, NAY.

TABLA DE VALORES CRITICOS PARA UN GASTO= 411.00 M3/SEG.

ESTACION	PLANTILLA	ELEVACION BORDO DER.	ELEVACION BORDO IZQ.	ELEVACION	ENERGIA	TIRANTE	VELOCIDAD
15600.00	-1.70	3.40	3.40	1.70	2.03	3.40	2.54
15400.00	-1.95	3.51	3.51	1.75	2.07	3.70	2.52
14000.00	-1.90	4.31	4.31	1.90	2.34	3.80	2.93
13400.00	-2.30	4.65	4.65	1.70	2.07	4.00	2.70
13000.00	-2.05	4.87	4.87	1.45	1.85	3.50	2.79
12600.00	-2.70	5.10	5.10	1.40	1.71	4.10	2.47
12200.00	-2.35	5.32	5.32	2.25	2.58	4.60	2.53
11800.00	-.40	5.55	5.55	2.30	2.59	2.70	2.40
11400.00	-.50	5.78	5.78	1.70	2.04	2.20	2.57
10200.00	.10	6.46	6.46	3.50	3.81	3.40	2.48
9400.00	.93	6.91	6.91	3.83	4.14	2.90	2.45
7600.00	2.08	7.93	7.93	5.38	5.73	3.30	2.61
7000.00	2.30	8.27	8.27	6.30	6.60	4.00	2.41
6400.00	3.33	8.61	8.61	6.53	6.79	3.20	2.26
5400.00	3.15	9.17	9.17	7.35	7.66	4.20	2.48
5000.00	3.62	9.40	9.40	7.62	7.94	4.00	2.51
4145.00	3.99	9.88	9.88	8.09	8.41	4.10	2.52
3600.00	3.95	10.19	10.19	8.55	8.91	4.60	2.66
2400.00	5.33	10.87	10.87	10.03	10.37	4.70	2.57
1600.00	6.74	11.32	11.32	9.64	10.22	2.90	3.38
1200.00	6.41	11.55	11.55	10.51	11.38	4.10	4.14

ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

En el análisis de estabilidad se recurre a la mecánica de suelos, la cual nos permite conocer las propiedades de los materiales tales como ángulo de fricción interna ϕ , granulometría, tipo de material, cohesión, resistencia al esfuerzo cortante, permeabilidad, etc.; con lo anterior es posible conocer el grado de seguridad que tendrá un bordo según la combinación de materiales que se tengan así como el talud de los mismos.

Considerando el funcionamiento que tendrá el bordo, es importante al mismo tiempo la estabilidad y estanqueidad del mismo. Que sea estable implica un conocimiento amplio de la resistencia al esfuerzo cortante del material que lo compone, y para que sea estanco debe tenerse un material que sea sensiblemente impermeable. En general, los materiales que mejor resistencia tienen son los suelos friccionantes de partículas gruesas, aunque son los más permeables. Recíprocamente, los materiales con alto grado de impermeabilidad, como los suelos arcillosos, tienen serias limitaciones de resistencia.

La falla más frecuente en un talud es por deslizamiento, y en un terraplén se presenta cuando los esfuerzos cortantes originados por el peso del material y las fuerzas de filtración exceden la magnitud de la resistencia al corte de los materiales del bordo.

METODO DE ANALISIS DE ESTABILIDAD

El método que se empleará para obtener la estabilidad de los taludes de nuestros bordos, es el llamado Método Sueco o de las dovelas.

El método toma se basa en las siguientes hipótesis:

- a) Se supone una falla circular.
- b) El análisis es bidimensional, correspondiente a un estado de deformación plana.
- c) Se acepta la ley de resistencia de Mohr-Coulomb.
- d) La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en toda la superficie de falla.
- e) No hay interacción entre las dovelas.

SUELOS CON FRICCIÓN Y COHESION

Ley de la resistencia al esfuerzo cortante:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

El método se puede resumir así:

1. Propóngase un círculo de falla.
2. Divídase en dovelas el círculo elegido.

Analícemos por ejemplo la dovela 8. Su peso será W_8 y existirán dos fuerzas de reacción: una normal N_8 y una tangencial T_8 , además por la acción de las dovelas adyacentes se presentarán las fuerzas normales P_7 y P_9 y las tangenciales T_7 y T_9 .

De la hipótesis e), se sigue que P_7 y P_9 se contrarrestan y el momento producido por T_7 y T_9 se desprecia, por lo tanto el equilibrio de la dovela se establece con las fuerzas W_8 , N_8 y T_8 . Figura 5.4.

3. Calcúlese el momento motor de todas las dovelas, será por lo tanto:

$$M_m = R \sum T_i$$

Las fuerzas normales N_i , no producen momentos porque su línea de acción pasa por cero.

4. Obténgase el momento resistente:

$$M_r = R \sum L_i$$

5. Determínese el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum L_i}{\sum T_i}$$

6. Compárese el F.S., con el valor de 1.5, que se ha fijado empíricamente, debiendo ser mayor el F.S..

Obteniéndose finalmente el Factor de Seguridad mediante la fórmula:

$$F.S. = \frac{EN \tan \phi + CL}{ET}$$

FIGURA 5.1.2. CIRCULO DE FALLA DIVIDIDO EN DOVELAS.

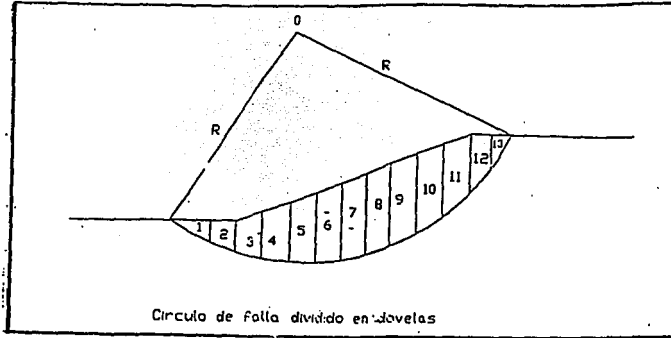
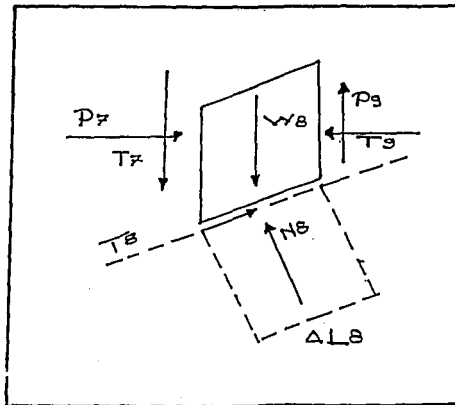


FIGURA 5.1.3. EQUILIBRIO DE LA DOVELA No. 8.



OBTENCION DEL TALUD MAS ESTABLE

Se procede ahora a calcular la estabilidad de los bordos, definiendo para esto, como primera alternativa, un talud de 2:1.

Las propiedades mecánicas del material (arena arcillosa) para fines de este trabajo, se tomarán de la siguiente manera:

Peso específico seco=	1,950 kg/m ³
Peso específico húmedo=	2,200 kg/m ³
Angulo de fricción interna=	30°
Cohesión=	1.5 ton/m ²

Los datos geométricos son:

Ancho de corona=	4.0 m
Altura máxima=	5.0 m
Talud=	2:1

Se propusieron tres círculos de falla en diferentes posiciones y se obtuvieron sus correspondientes factores de seguridad, los cuales resultaron de:

F.S.

- Círculo Número 1	3.10
- Círculo Número 2	2.95
- Círculo Número 3	2.75

Como estos factores de seguridad resultan bastante altos, se reduce el talud a 1.5:1, y se vuelve a calcular su mínimo factor de seguridad, también analizando tres círculos de falla, con los siguientes resultados:

F.S.

- Círculo Número 1	2.37
- Círculo Número 2	2.22
- Círculo Número 3	2.01

Con esto se concluye que el talud de 1.5:1 también resulta ser estable, y aún queda un margen de seguridad, ya que el mínimo F.S. queda bastante arriba de 1.5, por lo que es con este último talud con el que se diseñarán los bordos y se obtendrán las cantidades de obra.

En las páginas siguientes se muestran las tablas usadas para el cálculo de la estabilidad de los taludes mencionados.

Estos análisis se resumen en los planos Número 3 y 4 (RELACION DE PLANOS), donde se muestra la topografía general de la zona de estudio, la localización en planta de los bordos, con su separación final obtenida y el perfil longitudinal de los mismos; en este último se indica además la superficie del agua y el desplante por el eje de cada bordo.

En el plano 5 se muestran las secciones tipo propuestas para la construcción de los bordos, además de los cortes transversales indicados en los planos 3 y 4.

5.4. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

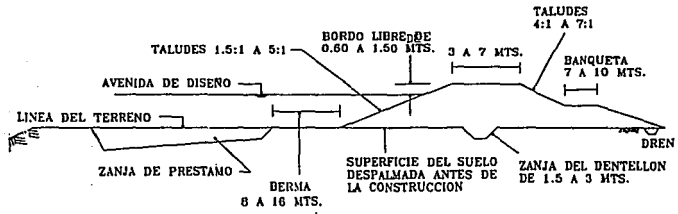
BORDOS Y MUROS DE DEFENSA

Los bordos y muros de defensa, son esencialmente presas longitudinales construidas paralelamente al río en lugar de hacerlos transversales al cauce. Un bordo es un dique de tierra, mientras que un muro de defensa generalmente es una construcción de mampostería. En general, los bordos y muros deben cumplir con el mismo criterio estructural que las presas ordinarias.

Los bordos son utilizados con más frecuencia para el control de avenidas, porque pueden construirse con un costo relativamente bajo por los materiales usados y aprovechables en el lugar. Generalmente los bordos se construyen con material excavado de zanjas de préstamo paralelas a la línea del bordo. El material debe colocarse en capas y compactarse, con el material de mínima permeabilidad colocado a lo largo del talud del lado del río. Generalmente no hay un buen material para un núcleo impermeable, por lo que, la mayoría de los bordos, son terraplenes homogéneos.

Las secciones transversales de los bordos deben ser ajustadas para adaptarse al sitio y a los materiales disponibles. En la figura 5.1. se muestran los detalles de un bordo típico. El material se excava de una zanja de préstamo paralela al bordo, y entre la punta del bordo y la zanja se deja una berma adecuada para evitar el colapso del banco de la zanja. La anchura de la corona de los bordos de defensa, usualmente está determinada por la utilización que se le vaya a dar teniendo una magnitud mínima de aproximadamente 3 metros para permitir el movimiento del equipo de conservación.

SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN BORDO DE DEFENSA



FACTOR DE SEGURIDAD PARA TALUD 1.5:1

CIRCULO DE FALLA NO. 1

DOVELA	AREA (m2)	PESO ESP. (ton/m3)	W (ton)	θ Grados	$N=W\cos\theta$ (ton)	$T=W\sin\theta$ (ton)
1	.85	1.95	1.66	68.70	.99	2.55
	.49	2.20	1.08			
	SUMA=		2.74			
2	1.08	1.95	2.11	52.77	3.62	4.76
	1.76	2.20	3.87			
	SUMA=		5.98			
3	.88	1.95	1.72	37.87	6.89	5.36
	3.19	2.20	7.02			
	SUMA=		8.73			
4	.14	1.95	.27	30.65	4.95	2.93
	2.49	2.20	5.48			
	SUMA=		5.75			
5	5.11	2.20	11.24	21.80	10.44	4.17
6	3.25	2.20	7.15	12.53	6.98	1.55
7	2.70	2.20	5.94	4.09	5.92	.42
8	2.05	2.20	4.51	-2.86	4.50	-.23
9	1.43	2.20	3.15	-14.04	3.05	-.76
10	.33	2.20	.73	-26.57	.65	-.32
SUMAS					48.00	20.44

$\phi = 30$
 $C = 1.50$
 $L = 13.78$ $CL = 20.67$

$$F.S. = \frac{ENi \tan \phi + CL}{ET} = \frac{48.00 + 20.67}{20.44} = 2.37$$

FACTOR DE SEGURIDAD PARA TALUD 1.5:1
CIRCULO DE FALLA NO. 2

DOVELA	AREA (m ²)	PESO ESP. (ton/m ³)	W (ton)	θ Grados	N=Wcosθ (ton)	T=Wsenθ (ton)
1	.78	1.95	1.52	60.80	.89	1.60
	.14	2.20	.31			
	SUMA=		1.83			
2	.96	1.95	1.87	50.44	2.54	3.07
	.96	2.20	2.11			
	SUMA=		3.98			
3	.85	1.95	1.66	39.81	4.82	4.02
	2.10	2.20	4.62			
	SUMA=		6.28			
4	.18	1.95	.35	30.96	5.39	3.24
	2.70	2.20	5.94			
	SUMA=		6.29			
5	2.75	2.20	6.05	22.48	5.59	2.31
6	2.40	2.20	5.28	14.83	5.10	1.35
7	1.90	2.20	4.18	7.13	4.15	.52
8	1.25	2.20	2.75	.82	2.75	.04
9	.63	2.20	1.39	-8.53	1.37	-.21
10			0		0	.00
SUNAS					32.61	15.94

φ = 30
 C = 1.50
 L = 10.99 CL = 16.49

$$F.S. = \frac{ENi \tan \phi + CL}{ET} = \frac{32.61 + 16.49}{15.94} = 2.22$$

FACTOR DE SEGURIDAD PARA TALUD 1.5:1
CIRCULO DE FALLA NO. 3

DOVELA	AREA (m2)	PESO ESP. (ton/m3)	W (ton)	θ Grados	N=Wcosθ (ton)	T=Wsenθ (ton)
1	1.89	1.95	3.69	51	2.57	3.17
	.18	2.20	.40			
	SUMA=		4.08			
2	1.04	1.95	2.03	40.60	3.34	2.87
	1.08	2.20	2.38			
	SUMA=		4.40			
3	.23	1.95	.45	32	3.40	2.13
	1.62	2.20	3.56			
	SUMA=		4.01			
4	1.70	2.20	3.74	26.50	3.35	1.67
5	1.50	2.20	3.30	21.80	3.06	1.23
6	1.21	2.20	2.66	14	2.58	.64
7	.60	2.20	1.32	10.30	1.30	.24
SUMAS					19.61	11.94

φ= 30
C= 1.50
L= 8.49

CL= 12.74

$$F.S. = \frac{ENi \tan \phi + CL}{ET} = \frac{19.61 + 12.74}{11.94} = 2.01$$

Los taludes de los bordos, usualmente son muy tendidos debido a la calidad relativamente mala de los materiales de construcción. Los taludes deben protegerse contra la erosión con césped, plantaciones de arbustos y árboles o con zampeados de piedra. Por razones estéticas, los bordos pueden construirse con taludes aún más tendidos, que los necesarios por estabilidad. Los bordos quedan entonces menos sobresalientes y cuando están adyacentes al área de un parque, facilita a la gente cruzarlos para el acceso a la orilla del río.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION.

GENERALIDADES.

OBJETO Y DISPOSICION DE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS.

DEFINICION.- Se entenderá por Especificaciones Técnicas, el conjunto de disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, estipula para la ejecución de estas obras y que el contratista se obliga a cumplir.

OBJETO DE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS.

El objeto de estas especificaciones, es complementar las estipulaciones contenidas en los contratos. Además, definir las obras cuya realización se pretende lograr en cada uno de los conceptos de trabajo, que permita calificar la idoneidad de los resultados obtenidos.

ESPECIFICACIONES TECNICAS.

Contienen todas las estipulaciones relativas a los diversos conceptos de trabajo que intervienen en la ejecución de las obras o sea, la definición de la obra que se requiere en cada concepto de trabajo, las normas técnicas a que debe sujetarse su ejecución. La forma en que se medirá el trabajo ejecutado y la base sobre la cual se pagarán al contratista las compensaciones a que se tenga derecho.

IDENTIFICACION Y LOCALIZACION.

La identificación y localización de una Especificación determinada, se hará mediante el número clave de la misma, que se formará agrupando en forma decimal y en el orden que se señala, los números del Capítulo, Cláusula, Inicio y Fracción que le corresponden en el texto de esta tesis.

MODIFICACIONES DE LAS ESPECIFICACIONES.

Si después de entregar al Contratista los planos y especificaciones correspondientes a las obras y al iniciar los trabajos o durante la ejecución de los mismos, se hace necesario hacer las modificaciones o adiciones al proyecto y a las cantidades de obra, La Secretaría podrá hacerlas al Contratista se obligará a ejecutarlas, sin exigir aumento en los precios unitarios, salvo en casos excepcionales en que se trate de modificaciones o adiciones fundamentales en los cuales, siempre que el contratista demuestre a satisfacción de la Secretaría, que esas modificaciones o adiciones implican al conjunto de las obras, aumento considerable en los costos.

DEFINICION DE TERMINOS.

ACARREO.- Acarreo inicial efectuado en una distancia fijada en el proyecto de un kilómetro sin incluir carga y descarga de los materiales, el cual se compensará al Contratista de acuerdo a los conceptos específicos del Catálogo.

APROBADO.- Término usado al referirse a planos y documentos en general, relativo al Contrato y a éstas Especificaciones y requiere significar el acto de los funcionarios de la Secretaría o de otras Dependencias Oficiales Gubernamentales o de las personas en que dichos organismos hayan delegado poder para ello y quienes, después de revisión concienzuda, autorizan con su firma dichos planos o documentos para que adquieran vigencia total y forzosa.

CATALOGO.- Es la relación de los diversos conceptos de trabajo que intervienen en la ejecución de las obras que lleva a cabo el contratante.

CONCEPTOS DE TRABAJO.- Es la descripción resumida de cada uno de los trabajos que deben integrar la obra.

CONTRATANTE.- Para los trabajos que llevará a cabo el Contratista, el Contratante será la compañía que elaborará el proyecto, Catálogo de conceptos de Trabajo, Especificaciones Técnicas, realizará la supervisión de las obras y formulará las estimaciones.

CONTRATISTA.- Es la persona, firma o corporación que mediante contrato celebrado con el Contratante, tome a su cargo la ejecución de las obras, ya sea que obre por sí o por medio de sus representantes debidamente autorizados.

CONCURSOS.- Es la licitación pública que se celebra para otorgar el contrato para la ejecución de una o varias obras en función de las proposiciones que se acepten las empresas participantes.

CONTRATO.- Documento en que se hace constar las obligaciones y derechos del contratante para la realización de las obras.

DESMONTE.- Corte de árboles y arbustos, desenraíce, limpia del terreno en que se efectuarán dichas operaciones, quema del producto no utilizable y retiro de éste fuera de la zona de trabajo.

DESPALME.- Remoción de las capas superficiales del terreno natural que por sus características, no sean aprovechables para la construcción, que se encuentren localizados sobre los bancos de préstamo, así como la remoción de la capa superficial del terreno que no sea adecuado para la cimentación de un terraplén o estructuras.

ESPECIFICACIONES COMPLEMENTARIAS.- Disposiciones o instrucciones que dice el Contratante o la Secretaría, para ser aplicadas en determinado trabajo y modifiquen o adicionen a las Especificaciones Generales.

OBRA.- Trabajo o construcción efectuado de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la Dependencia, cumpliendo con lo estipulado en la Especificaciones Técnicas y las Especificaciones Complementarias si las hubiera.

PRECIOS UNITARIOS.- Remuneración pecuniaria al Contratista por unidad de obra que ejecute en cada concepto y comprenda el pago de todas las erogaciones que haya efectuado el Contratista para la ejecución del mismo, de acuerdo con las Especificaciones, así como gastos indirectos, intereses del capital invertido y utilidad.

PROGRAMA DE TRABAJO.- Documento que muestra las cantidades de obra que deberá realizar el Contratista en cada uno de los conceptos del Catálogo y en cada uno de los meses que comprenda el plazo de entrega de las obras.

SOBREACARREO.- Transporte de materiales que se efectúa a una distancia mayor del primer kilómetro fijado como acarreo para los conceptos de trabajo correspondientes.

BANCO DE PRESTAMO.- Las áreas mostradas en el plano de localización de bancos de préstamo y/o indicadas por el ingeniero y los sitios propuestos por el Contratista y aprobados por el Contratante para la extracción de materiales naturales que sean necesarios para la ejecución de las obras, como terracerías para bordos, diques, caminos o para la obtención de agregados de concreto.

BANCO DE DESPERDICIO.- Sitio aprobado por el Contratante para depositar definitivamente materiales que no vayan a ser utilizados para la ejecución de las obras y que provengan de bancos.

ESPECIFICACIONES GENERALES.

A.8 CLASIFICACION DE LAS EXCAVACIONES.

El material de las excavaciones será clasificado en los términos que señalan las especificaciones siguientes:

a) CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA.

Para los conceptos de trabajo correspondientes, la clasificación de las excavaciones en cuanto a la dureza del material, se entenderá por "cualquier material, excepto roca", todos aquellos materiales que pueden ser excavados eficientemente por tractor de orugas con arado, con potencia de hasta 160 caballos en la barra, no requiriendo el uso de explosivos aunque por conveniencia se utilicen estos para aumentar el rendimiento, así como todas las fracciones de rocas, que cubiquen aisladamente menos de 0.75 de metro cúbico.

b) EN ROCA FIJA.

Para los conceptos de trabajo correspondientes, se entenderá por "roca fija" el material que no quede dentro de la clasificación anterior.

Para clasificar el material, se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción, según lo estipulado anteriormente. En caso de que el volumen por clasificar este compuesto por volúmenes parciales de material común y roca fija, se determinará en forma estimativa el porcentaje con que cada uno de estos materiales intervienen en la composición del volumen total. La clasificación de excavaciones formuladas en las estimaciones parciales, podrá ser revisada y/o modificada al hacerse la estimación final cuando la Secretaría lo juzgue para considerar errónea lo hecho en las estimaciones parciales.

c) EN CUALQUIER MATERIAL.

Se entenderá por excavaciones "en cualquier material" las ejecutadas por el contratista, sin que la dependencia considere ninguna clasificación del terreno de acuerdo con su dureza y consistencia y que el Postor al determinar el precio unitario propuesto, hizo sus debidas consideraciones respecto a los materiales que tendrá que excavar, por lo que no se admitirá ninguna reclamación sobre el particular.

El terreno natural sobre el que se desplantarán los bordos compactados, se le deberá dar un tratamiento de conformación,

humedecido y rodillado antes de depositar el material procedente de excavaciones o zona de almacenamiento.

En la formación de los bordos, el material deberá colocarse en capas uniformes de 20 cm de espesor, compactándose al 100% de la prueba de densidad relativa SARH o al 95% de la prueba Proctor SARH. Para ello será necesario aplicar, toda el agua requerida para el humedecimiento del material, hasta alcanzar una humedad cercana a la óptima.

A.10 ACARREOS.

Los precios estipulados en los conceptos de trabajo correspondientes específicamente a acarreos o los que incluyen acarreos, o transportes, no variarán por el hecho de que el contratista tenga que ocupar determinados sindicatos o gremios, o cubrirles algunas regalías o cuotas por no utilizar sus servicios, pues se considera que el Postor previó esas circunstancias.

Así mismo, no será motivo de modificación de los precios unitarios, ni de reclamación, el hecho de que el contratista tenga que efectuar los acarreos por rutas que haya elegido el contratista que ocasionen daños, ya sea en las mismas obras o a terceros.

A.11 SOBREEXCAVACIONES.

Se entiende por "sobreexcavación" para los efectos de estas Especificaciones, la parte de una excavación practicada en exceso que queda fuera de las líneas y niveles mostrados por la propia excavación, en los planos o indicados por el Ingeniero, ya sea por error, por falta de precaución, o no haber empleado el procedimiento o el equipo adecuado, o bien por haberla efectuado deliberadamente sin aprobación por escrito del Ingeniero, por facilitar sus operaciones de construcción.

A.12 COLOCACION DE MATERIALES EN BORDOS.

Los bordos se formarán con los materiales mostrados en los planos del proyecto. Los taludes entre los diversos materiales indicados en los planos del proyecto podrán sufrir alguna modificación, si durante la ejecución de la obra, la cantidad y calidad de los materiales lo hace necesario.

El contratista efectuará la construcción de los bordos, colocando los distintos materiales que los forman dentro de las líneas de proyecto.

El Ingeniero marcará en forma visible, las trazas correspondientes a cada uno de los materiales, así como las curvas

de nivel que sirvan como referencia al contratista para su colocación. El avance de la colocación lo llevará el contratista en forma tal, que se conserve sensiblemente la misma elevación entre los distintos materiales, transversalmente al eje, con una tolerancia de 1 metro de desnivel entre una zona y otra.

Los distintos materiales se colocarán en capas sensiblemente horizontales y con el espesor que fijen las especificaciones correspondientes.

Si en los parámetros de los bordos, se nota falta de materiales en el momento de trazar las líneas de proyecto, el contratista deberá complementar estas zonas hasta dichas líneas cumpliendo, en la colocación de ésta faltante, con las especificaciones que corresponde y según el material de que se trate.

A.13 CONSTRUCCION DE REVESTIMIENTO PARA CAMINOS, EN LA CORONA DE LOS BORDOS.

DEFINICION Y EJECUCION

Se entiende por revestimiento de los caminos, la capa o capas de los materiales seleccionados que se colocan sobre las terracerías, a fin de servir como superficie de rodamiento.

La construcción de los revestimientos se iniciará en la última fase de la construcción de los bordos y cuando las terracerías se encuentran terminadas dentro de las tolerancias fijadas en las especificaciones correspondientes.

Los materiales que sean utilizados en el revestimiento se obtendrán de los bancos de préstamo que se indican en los proyectos o los que sean señalados por el Ingeniero.

El material de revestimiento se colocará con la humedad óptima compactándolo al 100% de la prueba de compactación relativa SARH.

La compactación deberá ser uniforme en los 20 cm de espesor del revestimiento de tal modo que calas de 15 cm de espesor tomadas a cualquier profundidad resulten con el grado mínimo de compactación indicado.

Este concepto podrá incluir todas o algunas de las operaciones siguientes: desyerbe, limpia, despalle de los bancos de préstamo, extracción, cribado de material, trituración parcial o total, desperdicios, carga, descarga y acarreo en el primer kilómetro del material al sitio de su colocación, acamellonamiento, mezclado o en seco, humedecido uniformado, tendido, compactado y afinado.

A.14 BANCOS

La dependencia proporcionará un plano de localización de bancos, para la obtención de materiales que intervengan en la construcción de la obra, con sus volúmenes probables, tipos de material, localización, caminos existentes, distancias de acarreos y sobrecarreos; verificando que los bancos que se elijan para estudiar las proposiciones de los precios unitarios sean los materiales adecuados para la ejecución de las obras, ya que en caso contrario, la dependencia podrá fijar bancos de los contenidos en el plano correspondiente que cumplan con las especificaciones.

A.15 ABASTECIMIENTO DE AGUA.

El suministro de agua necesaria para el acondicionamiento de bancos para los trabajos de terracerías, lavado de agregados, y curado de los concretos deberá ser previsto en el programa del contratista.

ESPECIFICACIONES PARTICULARES.

5. CONTROL DE RIOS

5.1 TERRACERIAS

5.1.1.1. DESMONTE, DESEÑRAICE, DESYERBE Y LIMPIA DEL TERRENO PARA PROPOSITOS DE CONSTRUCCION.

Por el precio unitario estipulado para este concepto, el contratista efectuará la limpia dentro de las zonas que marquen los planos o indique el Ingeniero, que consistirá en la ejecución de las siguientes operaciones:

1. Arrancar desde su raíz toda la vegetación existente (árboles, arbustos y hierbas).
2. Retirar el producto de esta operación hasta el lugar indicado por el Ingeniero, situado a una distancia máxima de 40 metros de las líneas que limitan las zonas de limpia o bien incinerarlo una vez que haya sido retirado.
3. El material aprovechable proveniente del desmonte será propiedad de la dependencia y deberá ser estibado, no pudiendo ser utilizados por el contratista sin el previo consentimiento del Ingeniero.

En ningún caso la dependencia hará más de un pago por el desmonte ejecutado en la misma superficie, por lo que el contratista deberá procurar efectuarlo en las fechas convenientes para que el terreno se conserve limpio hasta que se ejecuten los

trabajos de ejecución posteriores. Para fines de pago se estimará la superficie, medida en su proyección horizontal y expresada en hectáreas con aproximación a un decimal.

5.1.1.1.a. DESMONTE EN BANCOS DE PRESTAMO.

Por el precio unitario estipulado para este concepto, el contratista efectuará la limpia dentro de las zonas que marquen los planos o que indique el Ingeniero, que consistirá en la ejecución de las siguientes actividades:

1. Arrancar desde su raíz toda la vegetación existente (árboles, arbustos y hierbas).
2. Retirar el producto de esta operación hasta el lugar indicado por el Ingeniero, situado a una distancia máxima de 40 metros de las líneas que limitan las zonas de limpia o bien incinerarlo una vez que haya sido retirado.
3. El material aprovechable proveniente del desmonte será propiedad de la dependencia y deberá ser estibado, no pudiendo ser utilizados por el contratista sin el previo consentimiento del Ingeniero.

En ningún caso la dependencia hará más de un pago por el desmonte ejecutado en la misma superficie, por lo que el contratista deberá procurar efectuarlo en las fechas convenientes para que el terreno se conserve limpio hasta que se ejecuten los trabajos de ejecución posteriores. Para fines de pago se estimará la superficie, medida en su proyección horizontal y expresada en hectáreas con aproximación a un decimal.

5.1.1.2. DESPALME DE SUELO NO APTO PARA EL DESPLANTE DE LOS BORDOS.

Por el precio unitario estipulado para este concepto, el contratista deberá despaldar y retirar de la zona de construcción de las obras, el material y/o suelo vegetal no apto para el desplante de las mismas, en el espesor y ancho estipulados en los planos de proyecto, según las siguientes operaciones:

1. Despaldar (excavar) el material y/o suelo vegetal no apto para el desplante de las obras.
2. Retirar el producto fuera de la franja definida por las trazas exteriores de las obras según los planos de proyecto y/o las indicaciones del Ingeniero.
3. Distribuir y acomodar el material despaldado en la forma indicada en los planos de proyecto.

Para fines de pago se determinará el volumen de material despalmado en metros cúbicos con aproximación de un decimal según las líneas de proyecto.

5.1.1.3. DESPALME EN BANCOS DE PRESTAMO

Por el precio unitario consignado para este concepto, el contratista deberá remover las capas superficiales del terreno natural cuyo material no sea del tipo adecuado para la utilización del material del banco; dichos trabajos se harán después de haber efectuado los desmontes correspondientes en caso de que éstos se hayan requerido.

El material producto del despalmado deberá ser retirado fuera de las líneas de construcción y rellenos, pero siempre se colocará haciendo el movimiento dentro de la zona de acarreo libre que se considerará a una distancia límite de 60 metros medidos a partir de las trazas de las zonas despalmadas.

Para efectos de pago se medirán en metros cúbicos los volúmenes de material excavados para efectuar el despalmado y a esta cantidad, con aproximación de un decimal, se le aplicará el precio unitario correspondiente del catálogo.

5.1.1.4. REGRESO DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DESPALME.

Una vez terminados los trabajos de terracerías y/o cuando a juicio del Ingeniero se requiera, por el precio unitario consignado para este concepto, el Contratista deberá regresar el material producto del despalmado a los sitios que el propio determine para que sea utilizado como relleno en zonas alledañas de préstamo o como refuerzo adicional sobre los taludes en los terraplenes, haciendo el movimiento dentro de la distancia de acarreo libre que se considerará de 60 metros del centro de gravedad que se va a regresar al centro del lugar de colocación.

Para efectos de pago, se medirá en metros cúbicos con aproximación de un decimal, el volumen de material producto del despalmado que efectivamente haya sido regresado por órdenes y a satisfacción del Ingeniero, aplicando a dicho volumen el precio unitario correspondiente del catálogo.

5.1.2. EXCAVACIONES.

5.1.2.1. EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA, PARA ALOJAR ENROCAMIENTO.

Se entenderá por excavaciones en cualquier material excepto roca, para alojar enrocamiento y excavación en roca fija, las que

realice el Contratista para alojar las zonas de enrocamiento y de rezaga del bordo, para ello se sujetará a lo estipulado en los planos de proyecto.

Las excavaciones para alojar las zonas de enrocamiento y rezaga, deberán realizarse hasta llegar a las líneas y niveles que señalen los planos de proyecto.

Si en algún punto se excava material más allá de las líneas de proyecto, la sobreexcavación se rellenará por cuenta del Contratista, con materiales producto de la excavación, en la forma que lo ordene el Ingeniero.

El producto de las excavaciones, el Contratista lo colocará en el o los sitios que determine el Ingeniero, o en las zonas de bordo, de acuerdo con los planos de proyecto.

Para la formación del bordo con el producto de la excavación, el Contratista deberá tender el material en capas uniformes, de acuerdo con el concepto de compactación correspondiente.

5.1.2.2. EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA, PARA LA CONSTRUCCION DE CUNETAS O DRENES PARA PRESTAMO LATERAL, EN LA CONTRUCCION DE LOS BORDOS.

Por el precio unitario consignado para este concepto el Contratista ejecutará la excavación de los drenes o cunetas de acuerdo con las líneas de proyecto o que le sean ordenados por el Ingeniero. En caso de que el material excavado sea roca, este concepto se pagará por separado. El material producto de excavación será colocado y extendido en capas uniformes de espesor no mayor de 20 cms. de acuerdo con el equipo de compactación que emplee el contratista en las zonas de construcción de los bordos.

Los drenes o cunetas o cauces deberán ser excavados o ampliados de acuerdo con las líneas de proyecto, en tal forma que el afine de su plantilla o de sus taludes tengan una tolerancia en más o menos 10 cms. con respecto a las líneas de proyecto de manera que no queden obstáculos que impidan el debido escurrimiento del agua y que ocasionen azolves. Las banquetas mostradas en los planos deberán dejarse con el ancho mínimo estipulado en el proyecto de la sección y con el emparejamiento necesario para que permita el tránsito de vehículos.

Para efectos de pago se estimará el volumen excavado y se aplicará a este volumen el precio estipulado en el catálogo para este concepto.

5.1.3. CONSTRUCCION DE BORDOS Y TERRAPLENES.

5.1.3.1. TERRAPLEN PARA BORDOS Y CAMINOS FORMADOS CON MATERIAL OBTENIDO DE PRÉSTAMO CON ACARREO.

5.1.3.1.1. MAYOR QUE 50 Y HASTA 100 MTS.

Por el precio unitario para estos conceptos, el Contratista ejecutará todos los trabajos necesarios para formar terraplenes de acuerdo con las líneas de proyecto, incluyendo las operaciones siguientes:

1. La extracción del material de la zona de préstamo y su transporte hasta el sitio de su utilización, incluyendo la carga y descarga del mismo cuando se requiera.
2. El tendido del material en capas uniformes de espesor no mayor de 20 cms. de acuerdo con el equipo de compactación que emplee el Contratista, en la inteligencia de que la primera capa de desplante del terraplén será de un espesor igual a la mitad del espesor de las capas subsecuentes.
3. La escarificación cuando se usen rodillos lisos, de la superficie de desplante y de cada capa para ligarla con la siguiente. Se entenderá por rodillos lisos los que no estén provistos en su superficie de rodamiento de elementos que penetren en el terreno.
4. La obtención, acarreo y empleo del agua que sea necesaria para dar la humedad óptima del material, sea que esta se aplique en los bancos de préstamo, en el terraplén o en ambas partes.
5. La eliminación de materias inaceptables, tales como piedras de dimensiones que impidan la compactación, así como las ramas, raíces y hierbas.
6. Los afines necesarios para dejar los terraplenes conforme a las líneas de proyecto.
7. Cualquier otro trabajo que sea necesario para construir los terraplenes consolidados.

Para efectos de pago, al precio unitario para estos conceptos se aplicará el volumen en metros cúbicos y en el sitio de colocación del terraplén construido bajo estas especificaciones, según el proyecto y/o las ordenes del Ingeniero.

5.1.3.2 COMPENSACION ADICIONAL POR COMPACTACION DE LOS TERRAPLENES CONSTRUIDOS SEGUN LOS CONCEPTOS 5.1.2.1., 5.1.2.2. Y 5.1.3.1.

Cuando sea necesario, de acuerdo con los planos de proyecto o las ordenes del Ingeniero, el Contratista deberá compactar los conceptos arriba mencionados, a base de pasadas de rodillo pata de cabra, rodillo vibratorio, o cualquier otro equipo que se requiera de acuerdo con las prescripciones de las especificaciones o en su defecto con las que determine el Ingeniero.

El precio unitario consignado en el catálogo para este concepto, incluirá todas las operaciones siguientes:

1. Adaptación del espesor y extendido de las capas del material de los terraplenes construidos según los conceptos arriba mencionados a las necesidades del proceso de compactación.
2. Aplicación de la humedad en el grado que se requiera incluyendo el suministro del agua necesaria.
3. Escarificación del material cuando esto sea necesario a juicio del Ingeniero.
4. Compactación del material con las pasadas del rodillo pata de cabra, etc. que permita compactar el material al 95% de la prueba de densidad relativa SARH o de la prueba proctor SARH.

Para efectos de pago, se determinaran los volúmenes compactados, limitados por las líneas de proyecto o las ordenes del Ingeniero y las secciones del terreno en que se desplanten dichos bordos.

5.1.3.3. OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE ENROCAMIENTO PROVENIENTE DE BANCOS DE PRESTAMO.

Por el precio unitario consignado para este concepto, el Contratista efectuará todas las maniobras necesarias para la explotación de los bancos de piedra, excepto el desmonte cuando lo haga, este se efectuará con cargo al concepto 5.1.1.1.

Despalmará el banco cuando sea necesario, depositando el producto de este despálme en una zona distante 40 mts. de los límites del banco, en forma tal que no interfiera con el desarrollo normal de los trabajos, ejecutará la excavación del material pétreo de tal manera que el tamaño de las rocas sea el especificado, seleccionará este eliminando el que no reúna las condiciones de tamaño, densidad y resistencia al intemperismo estipuladas en el proyecto.

Se requerirán ejecutar las operaciones necesarias para lograr un enrocamiento que estará constituido con fragmentos de roca sana, densa y resistente al intemperismo y bien graduada en tamaños, no se permitirá el uso de tierra suelta, arena o polvo de roca en cantidades mayores de 5% en peso de los materiales de enrocamiento, se deberá lograr en lo posible que las rocas mayores queden distribuidas uniformemente y que los fragmentos menores sirvan para rellenar sus huecos.

Las cantidades de obra ejecutadas con cargo a este concepto se medirán en el sitio de colocación, estando limitadas por las líneas que indica el proyecto y la superficie del terreno en el que se desplantó el enrocamiento, estos volúmenes se expresarán en metros cúbicos en unidades enteras.

5.1.3.4. OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE REZAGA PROVENIENTE DE BANCOS DE PRESTAMO.

Se entenderá por rezaga al material formado por partículas de roca sana, densa y resistente al intemperismo, con tamaño máximo de 10cm., que resulte como producto de la explotación de bancos de préstamo que se colocará en los taludes del bordo, sobre las zonas constituidas por material permeable, de acuerdo a los planos de proyecto. No se aceptarán partículas de suelo en cantidades mayores del 5% en peso.

Las cantidades de obra ejecutadas con cargo a este concepto se medirán en el sitio de colocación, estando limitadas por las líneas que indica el proyecto y la superficie del terreno en el que se desplantó la rezaga, estos volúmenes se expresarán en metros cúbicos en unidades enteras y en estaciones de 20 mts.

El volumen de rezaga colocado en exceso no será motivo de pago.

5.1.3.5. OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE MATERIALES PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS.

Por el precio unitario consignado para este concepto, el Contratista ejecutará todas las operaciones necesarias para la extracción u obtención de el o los materiales necesarios para la formación del revestimiento para caminos en la cantidad y proporciones indicadas en el proyecto.

Se incluye las siguientes operaciones:

La carga de material en las unidades de transporte, su descarga en los sitios y distribución indicados por el Ingeniero, la mezcla de los materiales que integrarán el revestimiento con el número de bandeadas e incorporación de agua necesarias, así como el

extendido y planchado del material que formará el revestimiento en la forma y cantidad de pasadas necesarias para una compactación al 95% de la prueba Porter usada por la SCT.

Los volúmenes de obra para este concepto serán determinados con las dimensiones medidas en el sitio de colocación y de acuerdo con las dimensiones limitadas por las líneas de proyecto y la superficie de la corona de los terraplenes terminados a satisfacción del Ingeniero.

Para obtener la compensación al contratista a los volúmenes de obra determinados como indica, con aproximación de un decimal, le será aplicado el precio unitario consignado en el catálogo para este concepto.

5.1.3.6. ACARREO EN EL PRIMER KILOMETRO DE LOS MATERIALES CORRESPONDIENTES A LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL CONCEPTO 5.1.3.3.

Por este concepto, el contratista que en general será similar al que se usa para agregados de concreto o de rezaga, según lo indiquen los planos y/o el Ingeniero. Incluye la operación de acarreo en el primer Kilómetro de acarreo libre.

Para efectos de pago se considerarán como volúmenes a pagar los determinados por las líneas de proyecto entre el material colocado y su apoyo expresado en metros cúbicos con una aproximación de un decimal, al que se le aplicará el precio unitario consignado en el catálogo para este concepto para obtener la compensación del contratista.

5.1.3.7. ACARREO EN EL PRIMER KILOMETRO DE LOS MATERIALES CORRESPONDIENTES A LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL CONCEPTO 5.1.3.4.

Por este concepto, el contratista que en general será similar al que se usa para agregados de concreto o de rezaga, según lo indiquen los planos y/o el Ingeniero. Incluye la operación de acarreo en el primer Kilómetro de acarreo libre.

Para efectos de pago se considerarán como volúmenes a pagar los determinados por las líneas de proyecto entre el material colocado y su apoyo expresado en metros cúbicos con una aproximación de un decimal, al que se le aplicará el precio unitario consignado en el catálogo para este concepto para obtener la compensación del contratista.

**5.1.3.8. ACARREO EN EL PRIMER KILOMETRO DE LOS MATERIALES
CORRESPONDIENTES A LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL
CONCEPTO 5.1.3.5.**

Por este concepto, el contratista que en general será similar al que se usa para agregados de concreto o de rezaga, según lo indiquen los planos y/o el Ingeniero. Incluye la operación de acarreo en el primer kilómetro de acarreo libre.

Para efectos de pago se considerarán como volúmenes a pagar los determinados por las líneas de proyecto entre el material colocado y su apoyo expresado en metros cúbicos con una aproximación de un decimal, al que se le aplicará el precio unitario consignado en el catálogo para este concepto para obtener la compensación del contratista.

**5.1.4.1. ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO
NO. 5.1.3.3. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.**

Los precios unitarios correspondientes a estos conceptos, se aplicarán adicionalmente a los del concepto 5.1.3.3. para el pago de los acarreos en los kilómetros subsecuentes al primero, de los materiales producto de las excavaciones, de bancos de préstamo para la formación de terraplenes y para enrocamientos para el revestimiento de caminos y para la formación de filtros o zonas de transición en los trabajos de control de ríos.

La distancia de acarreo, se medirá por la ruta más corta que sea factible a juicio del Ingeniero y el volumen de material acarreado será el efectivamente colocado, medido en los terraplenes y trincheras.

Para efectos de pago, el precio unitario de este concepto, al producto del volumen acarreado por la distancia de sobreacarreo que será expresada en kilómetros con aproximación hasta medio km. y el volumen del material transportado se medirá en m^3 -km.

**5.1.4.2. ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO
NO. 5.1.3.4. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.**

Los precios unitarios correspondientes a estos conceptos, se aplicarán adicionalmente a los del concepto 5.1.3.4. para el pago de los acarreos en los kilómetros subsecuentes al primero, de los materiales producto de las excavaciones, de bancos de préstamo para la formación de terraplenes y para enrocamientos para el revestimiento de caminos y para la formación de filtros o zonas de transición en los trabajos de control de ríos.

La distancia de acarreo, se medirá por la ruta más corta que sea factible a juicio del Ingeniero y el volumen de material acarreado será el efectivamente colocado, medido en los terraplenes y trincheras.

Para efectos de pago, el precio unitario de este concepto, al producto del volumen acarreado por la distancia de sobrecarreo que será expresada en kilómetros con aproximación hasta medio km. y el volumen del material transportado se medirá en m³-km.

5.1.4.3. ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO NO. 5.1.3.5. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.

Los precios unitarios correspondientes a estos conceptos, se aplicarán adicionalmente a los del concepto 5.1.3.5. para el pago de los acarreos en los kilómetros subsecuentes al primero, de los materiales producto de las excavaciones, de bancos de préstamo para la formación de terraplenes y para enrocamientos para el revestimiento de caminos y para la formación de filtros o zonas de transición en los trabajos de control de ríos.

La distancia de acarreo, se medirá por la ruta más corta que sea factible a juicio del Ingeniero y el volumen de material acarreado será el efectivamente colocado, medido en los terraplenes y trincheras.

Para efectos de pago, el precio unitario de este concepto, al producto del volumen acarreado por la distancia de sobrecarreo que será expresada en kilómetros con aproximación hasta medio km. y el volumen del material transportado se medirá en m³-km.

5.5 CATALOGO DE CONCEPTOS

CANTIDADES DE OBRA

En esta sección se obtienen de manera resumida los volúmenes correspondientes a la construcción de los bordos; siguiendo los conceptos establecidos en las especificaciones, para obtener posteriormente el presupuesto final.

1. Desmonte, desenraice, desyerbe y limpia del terreno para propósitos de construcción.

Para obtener esta superficie, se tomó una altura promedio de 1.72 m de bordos, para obtener la proyección horizontal de 9.17 m, que considerando 5 metros a cada lado para movimiento de maquinaria y equipo, dieron un ancho de 20 metros, la superficie de desmonte resulta entonces:

$$\text{Desmonte} = \frac{(20 \text{ m}) (15600 \text{ m}) (2)}{10,000} = 62.4 \text{ Ha.}$$

2. Desmonte en bancos de préstamo

El área para este concepto, es de 3 Ha.

3. Despalle del suelo no apto para el despalme de los bordos.

Este volumen se obtiene considerando 30 cm de despalle, y multiplicando por el ancho de 9.17 y por la longitud total de cada bordo:

$$\text{Despalle} = 2 (9.17) (0.30) (15600) = 86,000 \text{ m}^3$$

4. Despalle en bancos de préstamo.

Para este volumen se considera 1 metro de despalle, lo que resulta:

$$\text{Despalle} = (3 \text{ Ha}) (1 \text{ m}) = 30,000 \text{ m}^3$$

5. Regreso del material producto del despalle.

Este volumen se obtiene como la suma de los dos conceptos anteriores:

$$\text{Regreso} = (86,000) + (30,000) = 116,000 \text{ m}^3$$

6. Excavación en cualquier material excepto roca, para alojar enrocamiento.

Este volumen corresponde a la trinchera excavada en el pie interior de cada talud, en las zonas de protección con enrocamiento, obteniéndose como:

$$\text{Excavación} = (5.63 \text{ m}^2) (3,110 \text{ m}) = 17,500 \text{ m}^3$$

7. Excavación en cualquier material excepto roca, para la construcción de cunetas o drenes para préstamo lateral en la construcción de los bordos.

Este volumen corresponde al material cementante que será usado, en proporción del 20%, en la formación de los terraplenes, que se obtiene como:

$$\text{Excavación} = 0.20(365,700 \text{ m}^3) = 73,140 \text{ m}^3$$

8. Terraplén para bordos y caminos formados con material obtenido de préstamo con acarreo.

Para obtener las cantidades de obra correspondientes a la formación de los bordos, se hizo de la siguiente manera:

- Se establecieron secciones a cada 500 metros y se obtuvo la altura de cada bordo, considerando 30 cm de despalme y una base recta.
- Se obtuvieron las áreas de cada sección, que multiplicadas por la mitad de la distancia nos dieron los volúmenes parciales entre ellas.
- Se sumaron esos volúmenes parciales para obtener un total, como si no hubiera enrocamientos.

Estos volúmenes son sin considerar el enrocamiento de las zonas con protección, el cual debe obtenerse y restarse de los valores anteriores.

El volumen de terraplén resulta:

VOL. TOTAL	401,000 m ³
VOL. ENROC.	35,300 m ³
VOL. NETO	365,700 m ³

El volumen total resulta de:

$$v = 0.8(365,700 \text{ m}^3) = 292,600 \text{ m}^3$$

CUBICACION DE BORDOS DE PROTECCION (CORONA = 4.00 m)

TERRAPLEN EN BORDO M.I.						TERRAPLEN EN BORDO M.D.				
ALTURA BORDO	ESTACION KH + H	AREA (M2)	SUMA DE AREAS	DISTANCIA (D/2)	VOLUMEN (M3)	ALTURA BORDO	AREA (M2)	SUMA DE AREAS	DISTANCIA (D/2)	VOLUMEN (M3)
.80	2 + 000	4.16	4.16	0	0	1.50	9.38	9.38	0	0
.80	2 + 500	4.16	8.32	250	2080	1.40	8.54	17.92	250	4479
1.20	3 + 000	6.96	11.12	250	2780	1.50	9.38	17.92	250	4479
1.80	3 + 500	12.06	19.02	250	4755	1.60	10.24	19.62	250	4904
2.00	4 + 000	14.00	26.06	250	6515	2.60	20.54	30.78	250	7695
2.10	4 + 500	15.02	29.02	250	7254	2.30	17.14	37.68	250	9419
1.60	5 + 000	10.24	25.26	250	6314	2.30	17.14	34.27	250	8568
2.40	5 + 500	18.24	28.48	250	7120	2.40	18.24	35.38	250	8844
2.40	6 + 000	18.24	36.48	250	9120	2.50	19.38	37.62	250	9404
2.10	6 + 500	15.02	33.26	250	8314	2.80	22.96	42.34	250	10584
2.30	7 + 000	17.14	32.15	250	8038	1.80	12.06	35.02	250	8755
2.10	7 + 500	15.05	32.15	250	6038	2.30	17.14	29.20	250	7299
1.90	8 + 000	13.02	28.03	250	7028	2.80	22.96	40.10	250	10024
1.70	8 + 500	11.14	24.15	250	6038	1.90	13.02	35.98	250	8994
2.00	9 + 000	14.00	25.14	250	6284	1.80	12.06	29.08	250	6269
1.70	9 + 500	11.14	25.14	250	6284	1.50	9.38	21.44	250	5359
1.80	10 + 000	12.06	23.20	250	5799	2.10	15.02	24.39	250	6098
1.90	10 + 500	13.02	25.08	250	6269	1.30	7.74	22.75	250	5688
3.90	11 + 000	38.42	51.43	250	12358	2.30	17.14	24.07	250	6218
3.50	11 + 500	32.35	70.79	250	17698	2.10	15.02	32.15	250	8038
2.20	12 + 000	16.06	48.44	250	12109	.90	4.82	19.83	250	4958
1.90	12 + 500	13.02	29.08	250	7269	3.10	26.82	31.63	250	7908
2.80	13 + 000	22.96	35.98	250	8994	2.30	17.14	43.95	250	10988
1.90	13 + 500	13.02	35.98	250	8994	1.30	7.74	24.87	250	6218
1.40	14 + 000	8.54	21.56	250	5389	1.80	12.06	19.80	250	4949
2.50	14 + 500	19.38	27.92	250	6979	1.00	5.50	17.56	250	4390
2.80	15 + 000	22.96	42.34	250	10584	1.40	8.54	14.04	250	3510
2.50	15 + 600	19.38	42.34	250	10584	2.70	21.74	30.28	250	7569
SUMAS					209,461					191,600

9. Compensación adicional por compactación de los terraplenos construidos, según los conceptos nos. 5.1.2.1., 5.1.2.2. y 5.1.3.1.

Este volumen es la suma de los dos conceptos anteriores:

Compensación = 365,800 m³

10. Obtención, carga, descarga y colocación de enrocamiento proveniente de bancos de préstamo.

Según se muestra en el plano número 5, (VER RELACION DE PLANOS), en las zonas de protección con enrocamiento, se excava una trinchera para alojar la rezaga y roca con una profundidad mínima

de 1.5 metros por 2 metros de ancho en el fondo y con talud 1:1; el espesor del enrocamiento sobre el talud del bordo será de 0.80 m.

Para obtener este volumen se procedió de la siguiente manera:

- Se midió en planta la longitud total de las zonas de enrocamiento, para ambos bordos, resultando:
 - Bordo izquierdo 1,110 metros.
 - Bordo derecho 2,000 metros.
- Se obtuvo un volumen unitario considerando una altura promedio de 2.5 metros de bordo y con las dimensiones indicadas arriba.
- Este volumen unitario se multiplicó por las longitudes correspondientes para obtener el volumen total de enrocamiento en cada bordo, como sigue:

Volumen unitario: 11.34 m³/m
Volumen total bordo izquierdo: $11.34 \times 1,110 = 12,593 \text{ m}^3$
Volumen total bordo derecho: $11.34 \times 2,000 = 22,690 \text{ m}^3$
Volumen total de enrocamiento = 35,300 m³

11. obtención, carga, descarga y colocación de rezaga, proveniente de bancos de préstamo.

Este volumen se obtiene como el 10% del volumen de enrocamiento, o sea:

$$\text{Rezaga} = 0.10(35,300) = 3,530 \text{ m}^3$$

12. Obtención, carga, descarga y colocación de materiales para revestimiento de caminos.

El espesor del revestimiento es de 20 cm, por lo tanto el volumen se obtiene como:

$$\text{Revestimiento} = 2(15600)(4)(.2) = 25,000 \text{ m}^3$$

13. Acarreo en el primer kilómetro de los materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas en el concepto 5.1.3.3.

$$\text{Acarreo} = 35,300 \text{ m}^3$$

14. Acarreo en el primer kilómetro de los materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas en el concepto 5.1.3.4.

Acarreo = 3,530 m³

15. Acarreo en el primer kilómetro de los materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas en el concepto 5.1.3.5.

Acarreo = 25,000 m³

16. Acarreo de los materiales necesarios para el concepto 5.1.3.3. en los kilómetros subsiguientes al primero.

Tomando una distancia promedio de 15 km. hasta los bancos de préstamo, el sobreacarreo resulta de:

Sobreacarreo = 35,300 m³ (15 km) = 530,000 m³-km.

17. Acarreo de los materiales necesarios para el concepto 5.1.3.4. en los kilómetros subsiguientes al primero.

Tomando una distancia promedio de 15 km. hasta los bancos de préstamo, el sobreacarreo resulta de:

Sobreacarreo = 3,530 m³ (15 km) = 53,900 m³-km.

18. Acarreo de los materiales necesarios para el concepto 5.1.3.5. en los kilómetros subsiguientes al primero.

Tomando una distancia promedio de 15 km. hasta los bancos de préstamo, el sobreacarreo resulta de:

Sobreacarreo = 25,000 m³ (15 km) = 375,000 m³-km.

A continuación se muestra el presupuesto para el proyecto de bordos de protección, los precios unitarios usados se tomaron de un trabajo similar, realizado por la Comisión Nacional del Agua.

CATALOGO DE CONCEPTOS

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
5.	CONTROL DE RIOS				
5.1.	TERRACERIAS				
5.1.1.	DESMONTE				
5.1.1.1.	DESMONTE, DESENRAICE, DESYERBE Y LIMPIA DEL TERRENO PARA PROPOSITOS DE CONSTRUCCION.	HA	62.4	151,375	9,445,800
5.1.1.1.a.	DESMONTE EN BANCOS DE PRESTAMO	HA	3	151,375	454,125
5.1.1.2.	DESVALME DEL SUELO NO APTO PARA EL DESPLANTE DE LOS BORDOS.	M ³	86,000	413	35,518,000
5.1.1.3.	DESVALME EN BANCOS DE PRESTAMO.	M ³	30,000	413	12,390,000
5.1.1.4.	REGRESO DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DESVALME.	M ³	116,000	3,776	438,016,000
5.1.2.	EXCAVACIONES				
5.1.2.1.	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA PARA ALOJAR ENROCAMIENTO	M ³	17,500	3,566	62,405,000
5.1.2.2.	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA PARA LA CONSTRUCCION DE CUJETAS O DRECHES PARA PRESTAMO LATERAL EN LA CONSTRUCCION DE LOS BORDOS.	M ³	73,140	3,566	260,817,240
5.1.3.	CONSTRUCCION DE BORDOS Y TERRAPLENES				
5.1.3.1.	TERRAPLEN PARA BORDOS Y CAMINOS FORMADOS CON MATERIAL OBTENIDO DE PRESTAMO CON ACARREO.				
5.1.3.1.1.	MAYOR QUE 50 Y HASTA 100 METROS.	M ³	292,600	5,986	1,751,503,600
5.1.3.2.	COMPENSACION ADICIONAL POR COMPACTACION DE LOS TERRAPLENES CONSTRUIDOS SEGUN LOS CONCEPTOS NOS. 5.1.2.1. Y 5.1.3.1.	M ³	365,800	1,055	385,919,000
5.1.3.3.	OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE ENROCAMIENTO PROVENIENTE DE BANCOS DE PRESTAMO.	M ³	35,300	20,842	735,722,600
5.1.3.4.	OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE REZGA PROVENIENTE DE BANCOS DE PRESTAMO	M ³	3,530	20,842	73,572,260

5.1.3.5.	OBTENCION, CARGA, DESCARGA Y COLOCACION DE MATERIALES PARA REVESTIMIENTO DE CAMINO.	M ³	25,000	20,842	521,050,000
5.1.3.6.	ACARREO EN EL PRIMER KILOMETRO DE LOS MATERIALES CORRESPONDIENTES A LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL CONCEPTO 5.1.3.3.	M ³	35,300	3,776	133,292,800
5.1.3.7.	ACARREO EN EL PRIMER KILOMETRO DE LOS MATERIALES CORRESPONDIENTES A LAS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL CONCEPTO 5.1.3.4.	M ³	3,530	3,776	13,329,280
5.1.3.8.	ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS EXCAVACIONES EJECUTADAS EN EL CONCEPTO 5.1.3.5.	M ³	25,000	3,776	94,400,000
5.1.4.1.	ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO NUMERO 5.1.3.3. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.	M ³ -KH	530,000	376	199,280,000
5.1.4.2.	ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO NUMERO 5.1.3.4. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.	M ³ -KH	53,900	376	20,266,400
5.1.4.3.	ACARREO DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL CONCEPTO NUMERO 5.1.3.5. EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.	M ³ -KH	375,000	376	141,000,000
IMPORTE TOTAL COSTO DIRECTO DICIEMBRE DE 1992					84,888,382,105

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este trabajo se pretendió abordar un tema que recientemente puso de manifiesto algunas deficiencias en la infraestructura del país en lo relativo a la protección contra inundaciones; intentando proporcionar un aspecto general de la forma en que se aborda la solución a estos problemas, así como de los factores que deben considerarse para obtener los resultados deseados.

Al desarrollar este trabajo, se pudo observar que el estudio hidráulico de un cauce no es una tarea sencilla, ya que son bastantes las variables que intervienen en este proceso.

Estas variables son en su mayoría de tipo aleatorio, como lo es el gasto máximo que conducirá el río, el cual puede sobrepasar en cualquier momento al estimado en los análisis estadísticos, sea cual fuere el periodo de retorno considerado. Como ejemplo de esto tenemos los daños causados por la abundante precipitación ocurrida en los últimos años, que provocó avenidas extraordinarias superiores a las de diseño de varias obras hidráulicas del país.

En el caso del río "El Bejuco", objeto de este trabajo, la selección del periodo de retorno no se realizó de una manera escrupulosa, ya que se consideró que en caso de ser rebasados los bordos por alguna avenida superior a la de diseño, los daños causados por ésta a las zonas agrícolas de las riberas, serían de poca importancia en comparación al aumento en el costo de la obra que significaría diseñar en exceso los bordos para una avenida que probablemente no se presente.

Sin embargo, el río "El Bejuco" es un cauce pequeño, que inclusive en algunas ocasiones llega a secarse. Pero el mismo análisis en un río de grandes dimensiones necesitaría forzosamente de un enfoque mucho más cuidadoso, donde la selección de los

parámetros para su estudio se haría considerando que una avenida que sobrepasara a la de diseño, provocaría daños catastróficos a las áreas próximas a él; incluso a las zonas urbanas que suelen situarse a las orillas de los grandes ríos.

Es por esto que es recomendable, en caso de diseñar bordos de protección para un río de tamaño considerable, realizar a fondo un análisis económico entre el costo de la obra y el costo de los daños por la falla de la misma.

En lo que respecta a la información topográfica, ésta es uno de los datos de mayor importancia en el diseño de los bordos, ya que lo primero que se necesita para transitar la avenida de diseño es contar con secciones transversales del cauce lo más detalladas posibles. En el caso de este trabajo, se contó con hojas de plancheta a escala 1:2,000 de toda la zona de estudio; fue sobre estas hojas donde se establecieron las secciones usadas para el análisis, tanto en el funcionamiento libre del cauce como para obtener la separación de los bordos, mediante los tanteos usados. Sin embargo, por facilidad en el dibujo de los planos finales, se aumentó esta escala con el fin de tener solo dos planos generales, que son los que se incluyen en este trabajo.

Otro de los conceptos importantes en el diseño de un bordo lo es la estabilidad de la estructura, para lo cual es necesario contar con un estudio geotécnico a detalle de la zona, para conocer las características mecánicas de los materiales con que serán formados los bordos; en este caso, no se contó con esta información, por lo que (además de no ser el objetivo primordial del estudio), se propusieron estos valores basándose en trabajos similares ya realizados, para efectos de obtener la geometría de los bordos (taludes); realizándose también el análisis de estabilidad de la manera más sencilla.

Sin embargo, en un caso real o de mayores dimensiones, es necesario contar con estos datos en forma completa, así como realizar el análisis de estabilidad tomando en cuenta todos los

factores que en estos casos intervienen (sismo, subpresión, empuje hidrostático, etc.), ya que una falla del bordo sería de graves consecuencias como se menciona más adelante.

Finalmente, se obtuvo el catálogo de conceptos de la construcción de los bordos, además de proporcionarse, como ejemplo ilustrativo, las especificaciones técnicas que se manejan en la SARH, para este tipo de estructuras. Los precios unitarios, para diciembre de 1992, se obtuvieron de la misma dependencia, con los cuales se obtuvo el costo final aproximado de la construcción.

A continuación se mencionan en forma breve algunas recomendaciones relativas a aspectos de diseño de los bordos en general:

Los bordos longitudinales deben estar perfectamente contruidos porque las gentes al disponer de este tipo de protección se confiarán más, no tomarán las precauciones que acostumbraban hacer, construirán más obras costosas al saber que no se les dañarán con las inundaciones y sobre todo, porque de romperse un bordo, las inundaciones ocurrirán con mayor rapidez y alcanzarán niveles mayores que antes de la construcción, al menos en una zona cercana a la rotura.

Por el alto costo que llega a alcanzar este tipo de obra y por el peligro que representa tener tirantes demasiado altos en el río no se debe seleccionar la protección contra inundaciones utilizando únicamente este tipo de solución, sino en combinación con alguna otra.

Los bordos complican el drenaje de las tierras que deben proteger, por lo que se hace necesario tener o dar facilidades para desaguar las áreas en todas las etapas de flujo. Por lo regular las descargas a través de los bordos se hacen por gravedad mediante conductos equipados con compuertas de charnela o de marea, que evitan que el flujo regrese a las áreas que se desean proteger cuando el perfil del agua en el río es mayor que en aquellas.

Cuando la etapa de inundación se prolonga y no es posible la descarga por gravedad, el agua debe almacenarse en forma temporal en las partes más bajas detrás de los bordos, y eliminarse de manera continua por medio de bombeo.

Los muros de defensa y bordos pueden cruzar las líneas férreas y caminos. En algunos casos la rasante de la vía o camino puede estar elevada por arriba del muro de defensa, pero muchas veces esto representa un costo no garantizado en relleno del acceso, puentes más altos y pendientes excesivas. Otra solución, es dejar un claro en el muro de defensa para camino o ferrocarril. En este último caso, es necesaria una estructura de cierre para que el claro pueda bloquearse durante la presencia de aguas altas. Comúnmente se utilizan agujas de madera para aberturas angostas, y para aberturas anchas se emplean tablonos o compuertas metálicas, siendo el requisito primario que la compuerta pueda ser cerrada con la rapidez suficiente para evitar inundaciones.

Aun cuando un bordo de defensa no falle durante una avenida, un nivel alto de agua muy prolongado puede hacer subir a la línea de saturación hasta un punto en donde la infiltración a través del bordo puede causar en los terrenos protegidos una amplia inundación con aguas de poca altura. Es aconsejable construir un dren de zanja o de tubería a lo largo del pie trasero del bordo y el talud seco o trasero debe ser suficientemente tendido para contener si es posible a la línea de filtración. Se hace posible ahorrar terraplén construyendo el talud externo con una berma que aumenta la anchura de la base sin necesitarse un relleno pesado por arriba de la línea de saturación. La capa de suelo superficial debe quitarse antes de colocar la terracería del bordo. Cuando las filtraciones amenazan con la creación de un problema serio, puede utilizarse un dentellón de pantalla con pilotes.

Debido a lo tendido de los taludes de un bordo de defensa, cuando se tiene una altura considerable se necesita una anchura de la base muy grande. El valor predial de los terrenos que ocupará un bordo puede ser razonable en áreas rurales, pero en las ciudades en

general se dificulta conseguir el terreno suficiente para construir los diques de tierra. En este caso es preferible la solución a base de muros de concreto. Estos muros se diseñan para resistir la presión hidrostática (incluyendo la subpresión) ejercida por el agua cuando tenga el nivel de la avenida de diseño. También debe resistir los empujes de tierras cuando estén bajo los niveles de las aguas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA :

- TITULO: INGENIERIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS.
AUTOR: RAY K. LINSLEY, JOSEPH B. FRANZINI.
EDITORIAL: CECSA.
- TITULO: FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA DE SUPERFICIE
AUTOR: FRANCISCO J. APARICIO MIJARES.
EDITORIAL: LIMUSA.
- TITULO: DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS.
AUTOR: RECURSOS HIDRAULICOS, PUBLICACION TECNICA.
EDITORIAL: COMPANIA EDITORIAL CONTINENTAL.
- TITULO: MANUAL DE HIDRAULICA.
AUTOR: J.M. DE AZEVEDO, GUILLERMO ACOSTA A.
EDITORIAL: HARLA.
- TITULO: HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS.
AUTOR: VEN TE CHOW.
EDITORIAL: DIANA.
- TITULO: MECANICA DE SUELOS, TOMOS 1,2 Y 3.
AUTOR: JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ.
EDITORIAL: LIMUSA.
- TITULO: HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS.
AUTOR: RICHARD H. FRENCH.
EDITORIAL: MC. GRAW HILL.
- TITULO: OBRAS HIDRAULICAS.
AUTOR: FRANCISCO TORRES HERRERA.
EDITORIAL: LIMUSA.
- TITULO: MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES, HIDROTECNIA.
AUTOR: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
- TITULO: MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES, GEOTECNIA.
AUTOR: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
- TITULO: MANUAL DE DRENAJE.
AUTOR: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
- TITULO: CALCULO DEL CLIMA DE ACUERDO AL 2° SISTEMA DE
AUTOR: THORNTWAITE.
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS.
- TITULO: MANUAL PARA LA ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN
AUTOR: CUENCAS Y PRESAS PEQUEÑAS.
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS.

TITULO: BOLETIN HIDROLOGICO #30. REGION HIDROLOGICA # 11.
AUTOR: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS.

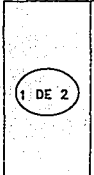
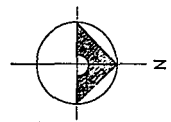
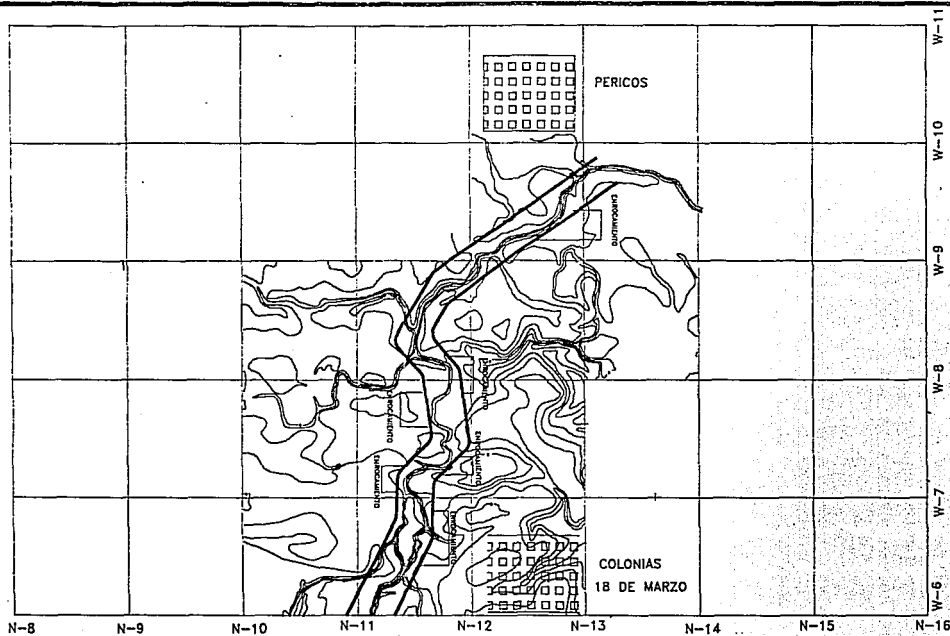
TITULO: ESTUDIO Y PROYECTO DE CONTROL DE AVENIDAS DEL RIO
ASUNCION, A LA ALTURA DE CABORCA, SONORA.
AUTOR: TESIS PROFESIONAL DE ALFONSO RODRIGUEZ F.

TITULO: MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS FLUVIALES PARA LA
PROTECCION CONTRA INUNDACIONES.
AUTOR: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.

TITULO: RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y REVISION DE
ESTRUCTURAS PARA EL CONTROL DE AVENIDAS.
TOMO I.
AUTOR: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.

TITULO: RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y REVISION DE
ESTRUCTURAS PARA EL CONTROL DE AVENIDAS.
TOMO II.
AUTOR: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.

RELACION DE PLANOS

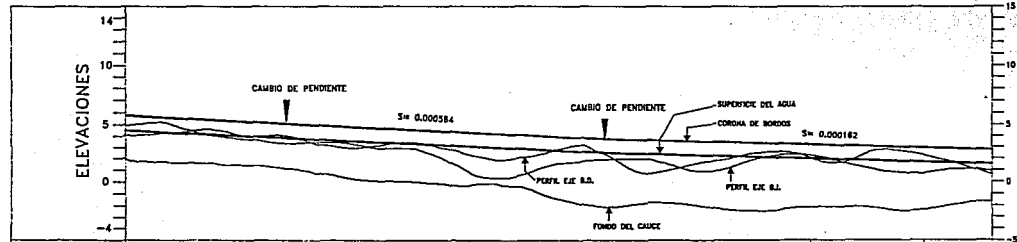


INDICE DE PLANOS

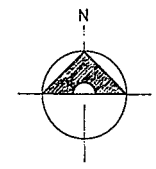
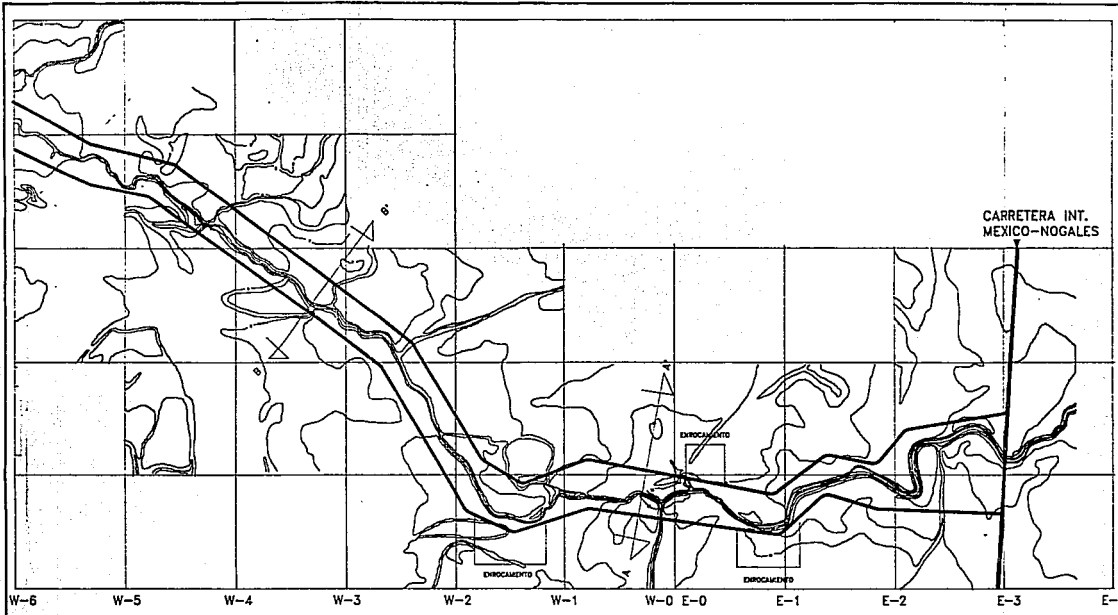
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
 ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 ALEJANDRO KATT SANTANA
 TEMA: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO
 DEL CAUCE DEL RIO BEJUCCO, NAY. PARA
 EL DISEÑO DE BORDOS DE PROTECCIÓN.

PLANO GENERAL

PLANO NO. HOJA 2 DE 2 MARZO 1993

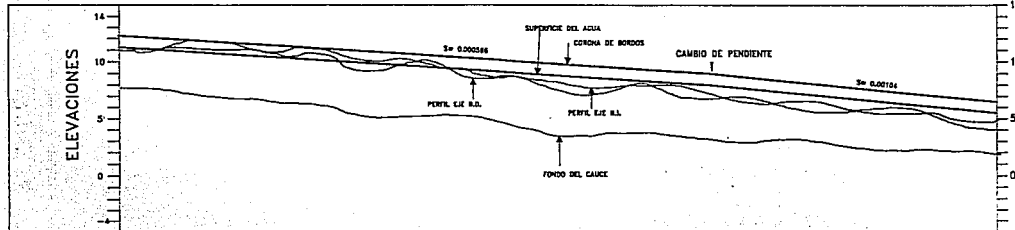


PERFIL EJE B.D.	4.38	4.90	2.85	2.23	3.10	1.97	1.83	2.02	0.78
PERFIL EJE B.I.	4.88	3.68	3.18	2.27	1.83	2.83	2.27	0.84	0.84
FONDO DEL CAUCE	2.00	1.33	0.30	-0.17	-1.40	-2.05	-2.10	-2.20	-1.70
ESTACION	8+000	8+500	10+000	11+000	12+000	13+000	14+000	15+000	15+600



N-10
N-9
N-8
N-7

W-6 W-5 W-4 W-3 W-2 W-1 W-0 E-0 E-1 E-2 E-3 E-4



PERFIL EJE B.D.	10.90	11.81	14.81	14.44	7.44	7.45	6.38	6.19	4.35
PERFIL EJE B.I.	10.89	11.27	10.89	9.77	9.22	8.15	8.58	5.53	4.59
FOFDO DEL CAUCE	7.83	8.97	8.75	8.48	5.60	5.82	5.23	5.30	2.00
ESTACION	0+000	1+000	2+000	3+000	4+000	5+000	6+000	7+000	8+000

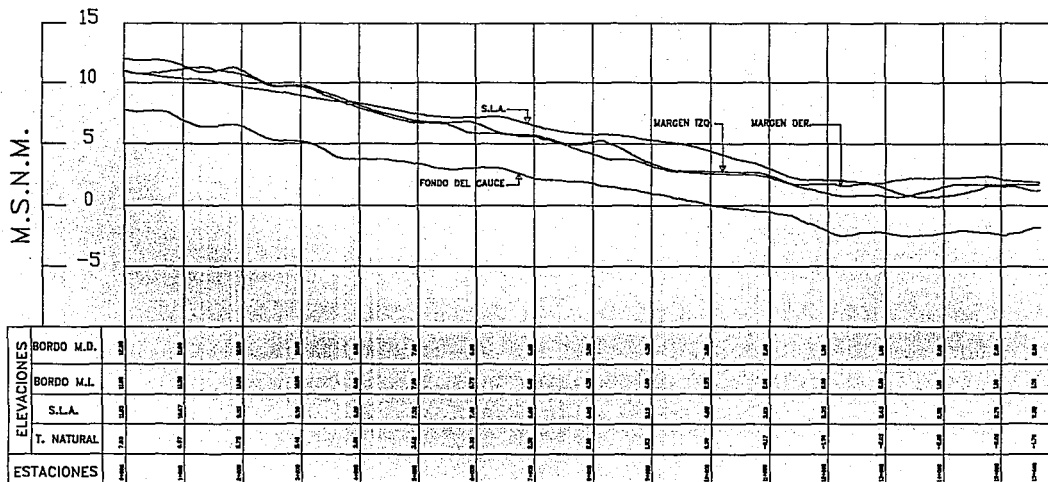
2 DE 2



INDICE DE PLANOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
 TESIS PROFESIONAL
 ALEJANDRO KATT SANTANA
 TEMA: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL CAUCE DEL RIO BEJUCO, NAY, PARA EL DISEÑO DE BORDOS DE PROTECCION.
 PLANO GENERAL
 PLANO NO. HOJA 1 DE 2 MARZO 1993

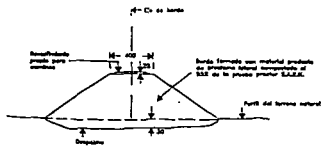
ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO "EL BEJUCO", NAY.



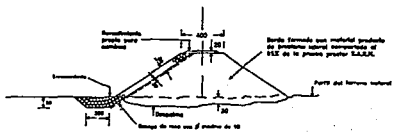
NOTA:

PARA ESTE ANALISIS SE TRANSITO LA AVENIDA DE 411.00 M³/SEC. CORRESPONDIENTE A UN TR= 50 AÑOS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AGATLAN	
TESIS PROFESIONAL	
ALEJANDRO KATT SANTANA	
TEMA: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL CAUCE DEL RIO BEJUCO, NAY. PARA EL DISEÑO DE BORDOS DE PROTECCION.	
PLANO NO.	MARZO 1993



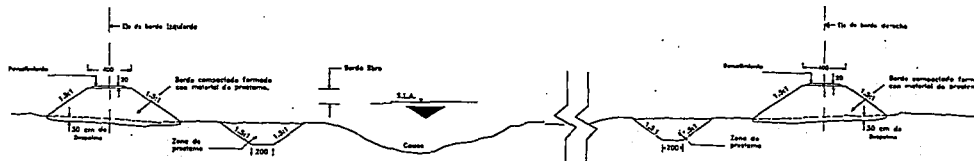
SECCION TIPO DE BORDO



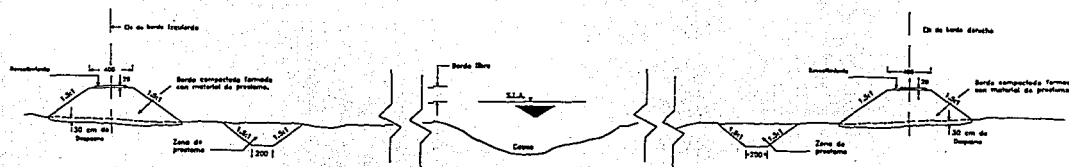
SECCION TIPO DE BORDO CON ENROCAMIENTO

ETAPAS DE CONSTRUCCION

- I. Delinear y desplayar de la zona de desplante.
- II. Construcción del borde con material de granulacion inferior, ubicado en espesor de 75 mm y compactado al 100% de la prueba de Calidad Rotativa e al 812 de la prueba de Calidad Rotativa.
- III. En zona de profundos con amarramiento, se establece una hincada para evitar la mezcla y masa con una profundidad mínima de 150 cm.
- IV. El perfilamiento de la zona del borde será con material gramo, pero quedará formando un espesor de 75 mm, compactado al 100% de la prueba de Calidad Rotativa.



CORTE A-A'



CORTE B-B'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL
ALEJANDRO KATT SANTANA
TEMA: ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL BORDO DEL CARRETERO EN EL DISEÑO DE BORDOS DE BARRERA
SECCIONES TÍPICAS Y OBRAS TRANSVERSALES
PLANO No. 1