

16
29

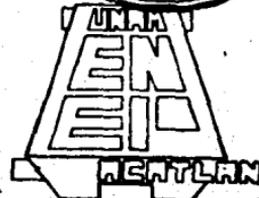


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" ACATLAN "

ESTUDIO DE PROTECCION MARGINAL EN EL RIO USUMACINTA A LA ALTURA DE JONUTA, TABASCO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
CRISPIN SANCHEZ HUERTA



ACATLAN, EDO. DE MEXICO 1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

I N D I C E

| | | PAGINA |
|-------|---|--------|
| I. | INTRODUCCION | 1 |
| I.1 | ANTECEDENTES | 1 |
| I.2 | GENERALIDADES | 2 |
| I.3 | OBJETIVO | 3 |
| I.4 | ALCANCE | 3 |
| I.5 | RECOPIACION DE INFORMACION | 4 |
| II. | TRABAJOS DE CAMPO | 5 |
| II.1 | Topografia | 5 |
| | II.1.1 Poligonal de Apoyo | 5 |
| | II.1.2 Batimetria | 7 |
| | II.1.3 Secciones Transversales | 7 |
| II.2 | Corrientes | 7 |
| II.3 | Muestras de Material del fondo y de las Margenes | 8 |
| II.4 | Ubicación y Características de los Materiales de Bancos de Préstamo | 8 |
| III. | ESTUDIOS DE GABINETE | 10 |
| III.1 | Régimen de Gastos-Tirantes | 10 |
| III.2 | Evolución Histórica de las Zonas Afectadas | 18 |

I N D I C E

| | PAGINA |
|---------|--|
| III.3 | Planteamiento de Alternativas de Solución 20 |
| III.3.1 | Materiales de Construcción 26 |
| III.3.2 | Dimensionamiento de las Obras 28 |
| III.3.3 | Procedimiento Constructivo 34 |
| III.4 | Selección de la Alternativa más Adecuada a la Zona en Estudio 37 |
| III.5 | Análisis de Costos de las Obras 38 |
| IV. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 49 |
| IV.1 | Conclusiones 49 |
| IV.2 | Recomendaciones 52 |
| IV.2.1 | Protecciones Marginales 52 |
| IV.2.2 | Espigones 52 |
| V. | ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION 55 |
| | BIBLIOGRAFIA 59 |
| | RELACION DE PLANOS 60 |

I. INTRODUCCION

I.1 ANTECEDENTES

El hombre, debido a la importancia que juega el agua para su supervivencia, desde sus orígenes y para su desarrollo, se ha establecido preferentemente en la zona próxima a las riberas de los ríos, para satisfacer sus necesidades biológicas y alimenticias.

En contraposición a las ventajas anteriores, durante las épocas de crecientes, los ríos provocan más daños que beneficios a las poblaciones aledañas, inundando los campos de cultivo a las zonas habitacionales, como consecuencia natural del equilibrio dinámico que los caracteriza.

Por todo lo anterior, el hombre ha intentado conocer las variaciones de los niveles del agua en los cuerpos acuáticos, mediante un registro sistemático de los mismos, primeramente en forma muy primitiva y rústica, hasta hoy en día, cuando en algunos de ellos, se desarrolla en forma compleja y automática.

Como uno de los efectos secundarios del equilibrio dinámico en los ríos, se tiene entre otros, el de la erosión progresiva de las márgenes y falla de los taludes por socavación al pie de los mismos, lo cual genera corrimientos laterales del cauce principal, poniendo en peligro las zonas aledañas, fenómenos cuyas soluciones se analizan, comparan y seleccionan en este estudio.

I.2 GENERALIDADES

La población de Jonuta, Cabecera Municipal del mismo nombre, se sitúa en la margen derecha del Río Usumacinta; está asentada sobre un centro ceremonial prehispánico aprovechando la gran terraza que construyeron los antiguos mayas chontales para sustentar sus estructuras. El relleno de dicha terraza alcanza en algunas partes hasta 6 metros de espesor y mantiene a salvo de las inundaciones a Jonuta.

Jonuta se localiza a 100 km aproximadamente del Golfo de México a los 18°05'03", de latitud norte y 92°05'36" de longitud este, tiene una altura sobre el nivel del mar de poco más de 100 metros, su clima es tropical húmedo con lluvias del orden de los 1 500 mm de precipitación media anual.

La temperatura es muy elevada, manteniéndose arriba de los 18°C durante todo el año, llegando a alcanzar los 45°C a la sombra en mayo y junio.

Las lluvias se distribuyen a lo largo del año y la estación más lluviosa es el verano. Su vegetación es la característica de la selva tropical y la sabana, pero a causa de la excesiva explotación de árboles y la agricultura extensiva, la vegetación tropical ha sufrido una severa modificación.

Los suelos de Jonuta son arcillosos, existiendo suelos lateríticos (especie de arcilla rojiza) y a causa de la erosión se nota una extensa transformación de éstos a suelos arenosos. La roca madre es una caliza del eoceno, denominada caliza Chinal.

I.3 OBJETIVO

El objetivo fundamental de estos estudios, consiste en elaborar el proyecto ejecutivo para la protección marginal del Río Usumacinta a la altura de Jonuta, Tabasco y obtener el costo de las obras que se requieren para lograr la estabilidad de los tramos del río que presentan problema de erosión marginal, describiendo el procedimiento constructivo con base en los materiales de construcción disponibles.

I.4 ALCANCES

El estudio que se propone está enfocado a resolver el problema de la erosión marginal a que se ve sujeto el tramo de río en cuya ribera se ubica la población de Jonuta, a la vez se protegerán terrenos de valor contra posibles y/o inminentes daños por el corrimiento lateral del cauce principal, requiriéndose para tal fin realizar un levantamiento detallado de la zona afectada, determinar las características de los sedimentos, estimar o medir las velocidades del flujo; esto último para condiciones de escurrimientos máximos, medios y mínimos.

Se recopilarán los datos existentes sobre las condiciones hidrológicas e hidráulicas en las zonas afectadas a fin de establecer su funcionamiento.

Con todo lo anterior, se definirá el tipo de obra más adecuado a construir en el tramo afectado.

Evaluada las diferentes alternativas y seleccionada la más conveniente, se establecerá la justificación de la misma, proponiendo un programa de construcción de acuerdo a las condiciones prevalecientes de la región, estimando los costos correspondientes al proyecto definitivo a ser construido de inmediato.

I.5 RECOPIACION DE INFORMACION

Se recabó la información climatológica e hidrométrica disponible preexistente en Jonuta, en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; la información topográfica y cartográfica se obtuvo de los planos de la ciudad elaborados para el Gobierno del Estado y de las cartas topográficas y geológicas de las zonas en estudio editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Asimismo, se adquirieron fotografías aéreas de las zonas afectadas en las empresas particulares que realizan dichas actividades, con el fin de establecer una comparación entre condiciones actuales y anteriores.

De la misma manera, se consultó la bibliografía y publicaciones técnicas más recientes, con el fin de aplicar las metodologías actualizadas en relación a obras de protección en meandros de ríos. (Ver bibliografía al final).

II. TRABAJOS DE CAMPO

II.1 Topografía.

II.1.1 Poligonal de Apoyo

Se levantó una poligonal de apoyo por ambas márgenes del Río Usamacinta, con tres kilómetros aproximadamente a cada lado del sitio en estudio, la cual se estableció a cada 100 metros y durante todo su desarrollo, se tuvo una precisión lineal mayor a $1 : 3\,000$, en tanto que la precisión angular tuvo una tolerancia de $1/\sqrt{n}$, donde n es el número de ángulos de la poligonal.

Los datos principales de los levantamientos efectuados en campo, se muestran en la tabla No. II.1.1, los cuales se obtuvieron con base en un sistema de estacados colocados estratégicamente para efectuar seccionamientos y batimetría detallada de Jonuta.

El alineamiento horizontal de los vértices de la poligonal, se muestra en el plano No. II.1.1, en él se puede observar que se colocaron en lugares protegidos, fuera de zonas de erosión o depósito.

NIVELACION

Una vez colocadas las mojoneras, se procedió a la nivelación de perfil de los vértices para determinar la cota correspondiente, la cual se realizó con una precisión mayor a $0.01/\sqrt{K}$, donde K es el desarrollo de la poligonal en kilómetros, que se encuentra dentro de los límites establecidos por las especificaciones técnicas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El nivel de referencia fue arbitrario y el definitivo lo indicará la dependencia correspondiente al inicio de la ejecución, de acuerdo con bancos de nivel establecidos en las zonas aledañas a los sitios en estudio.

POLISOMAL DE APOYO EN JONUTA, TABASCO

| VERTICE | | CADERMIENTO Ka | DISTANCIA a | ANGULO | | | COORDENADAS | | |
|---------|---------|-------------------|----------------|--------|-----|-----|-------------|-----------|-------|
| DE | A | | | Gr | Nin | Seg | X | Y | Z |
| | PI-0 | 0+000.00 | | | | | 20 952.90 | 10 302.45 | 49.63 |
| PI-0 | PI-1 | 0+200.05 | 200.05 | 90 | 00 | 04 | 20 775.50 | 10 110.79 | 50.22 |
| PI-1 | PI-2 | 0+461.19 | 261.15 | 167 | 26 | 33 | 20 656.38 | 10 072.62 | 51.05 |
| PI-2 | PI-3 | 0+586.28 | 125.08 | 150 | 33 | 18 | 20 587.70 | 10 050.97 | 51.40 |
| PI-3 | PI-4 | 0+658.29 | 72.01 | 179 | 43 | 52 | 20 420.84 | 10 109.18 | 50.63 |
| PI-4 | PI-5 | 0+835.01 | 176.73 | 143 | 16 | 23 | 20 364.45 | 10 124.18 | 50.99 |
| PI-5 | PI-6 | 0+893.36 | 58.35 | 184 | 19 | 38 | 20 269.58 | 10 125.90 | 53.14 |
| PI-6 | PI-7 | 0+988.25 | 94.89 | 193 | 52 | 00 | 20 236.08 | 10 110.87 | 54.62 |
| PI-7 | PI-8 | 1+024.97 | 36.72 | 205 | 11 | 08 | 20 227.07 | 10 127.03 | 53.00 |
| PI-8 | PI-Baux | 1+043.47 | 18.50 | 94 | 58 | 48 | 20 094.30 | 10 060.08 | 51.89 |
| PI-Baux | PI-9 | 1+192.16 | 148.69 | 267 | 37 | 43 | 20 000.00 | 10 060.00 | 31.85 |
| PI-9 | PI-10 | 1+303.97 | 111.82 | 185 | 44 | 33 | 19 879.02 | 10 189.79 | 51.80 |
| PI-10 | PI-11 | 1+529.05 | 225.08 | 90 | 00 | 48 | 20 021.20 | 10 291.30 | 50.48 |
| PI-11 | PI-12 | 1+703.76 | 174.70 | 93 | 00 | 48 | 20 261.22 | 10 335.18 | 50.54 |
| PI-12 | PI-13 | 1+947.75 | 243.99 | 154 | 50 | 08 | 20 471.22 | 10 320.72 | 49.96 |
| PI-13 | PI-14 | 2+158.24 | 210.49 | 165 | 41 | 53 | 20 541.11 | 10 333.05 | 50.32 |
| PI-14 | PI-15 | 2+229.22 | 70.97 | 193 | 56 | 48 | 20 737.45 | 10 445.35 | 50.30 |
| PI-15 | PI-16 | 2+465.97 | 236.75 | 203 | 58 | 08 | 20 834.91 | 10 602.77 | 50.29 |
| PI-16 | PI-17 | 2+634.45 | 168.47 | 200 | 40 | 53 | 21 053.62 | 10 475.30 | 50.82 |
| PI-17 | PI-0 | 2+887.59 | 253.14 | 95 | 06 | 34 | | | |

Tabla No. 11.1.1

MONUMENTACION

Los seis vértices más importantes de la poligonal levantada en el sitio analizado se monumentaron con mojoneras de concreto, para una fácil y rápida localización del levantamiento realizado.

II.1.2 Batimetría

Tomando como base los vértices de la poligonal de apoyo, se efectuó el levantamiento de detalle de un tramo del río que abarca la zona afectada por la erosión; la configuración del fondo se muestra en el plano No. II.1.1.

Las enfilaciones para el levantamiento se hicieron a cada 100 m, cuando el terreno, la lluvia y la velocidad de la embarcación y de la corriente así lo permitieron.

En cada una de las enfilaciones se hicieron lecturas (fijas) con intervalos de 30 segundos, a una velocidad de la embarcación suficiente para mantener las condiciones de navegación segura; la ubicación de las lecturas se realizó por medio de la intersección de ángulos y distancias medidos con distanciómetro automático. Las lecturas de profundidades se realizaron con un ecosonda marca Raytheon.

II.1.3 Secciones Transversales

Se levantaron secciones transversales a cada 100 m para ligar la línea de la superficie libre del agua (S.L.A.) con la poligonal de apoyo en tierra y obtener así la sección completa para posteriormente estar en posibilidades de calcular las características hidráulicas correspondientes.

II.2 CORRIENTES

Con el fin de conocer la magnitud de las corrientes en las zonas de estudio, se efectuaron mediciones de velocidad en las áreas aledañas a la margen en proceso de erosión, utilizando flotadores superficiales obteniéndose una velocidad de 1.25 m/s.

II.3 MUESTREOS DE MATERIAL DEL FONDO Y DE LAS MARGENES

Se tomaron muestras de material del lecho del Río Usumacinta en la zona de estudio en 3 secciones: al inicio, en la parte media y al final del área delimitada por la poligonal de apoyo, en ambas márgenes y al centro del cauce, de tal manera que se obtuvieron 9 muestras.

Las muestras que se tomaron fueron superficiales, obtenidas por medio de muestreador de almeja y sus características así como las curvas granulométricas indican que el material que constituye el lecho del Río Usumacinta a la altura de Jonuta, corresponde a la clasificación de limos arenosos, ya que el porcentaje más bajo de material que pasa la malla 200, es del 77 %, por lo que se le practicó la prueba del hidrómetro.

El diámetro promedio de las partículas fue de 0.015 mm con una densidad promedio de 2.62.

El alto contenido de material fino en las muestras, indican que el río discurre en la zona de planicie, cuyas características principales son las pendientes muy reducidas, alineamiento sinuoso en planta y material fino en el lecho.

II.4 UBICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE BANCO DE PRESTAMO

Uno de los bancos que mejor material tiene es el denominado Tuliá, localizado aproximadamente en las coordenadas 17° 38' de latitud norte y 92° 20' de longitud oeste, limitado al SE por el poblado La Calzada y al NW por una estación de microondas, con comunicación directa a la carretera federal 186. Este banco de material se encuentra aproximadamente a 80 Km de Jonuta (Ver croquis de localización).

De acuerdo con la carta geológica de la zona, editada por la Dirección General de Geografía (escala 1:250 000), el banco Tuliá está constituido por roca caliza, (To (cz)) de ambiente marino de facies de plataforma con gran influencia terrígena, son principalmente calcarenitas de grano medio, contiene clásticos terrígenos subangulosos; la roca muestra un color gris claro con tonos de amarillo a gris oscuro y es parte de la Formación Mompuyil del Oligoceno inferior y tiene una morfología de sierras altas y escarpadas. La unidad forma el núcleo de anticlinales que contrastan notablemente

con la topografía adyacente y tiene una extensión notable hacia la porción central del Área.

El análisis del material de este banco indica que la roca tiene un peso específico de 2 200 a 2 400 Kg/m³; la extensión para la explotación, es prácticamente ilimitada.

III. ESTUDIOS DE GABINETE

III.1 Régimen de Gastos-Tirantes

Con base en la información topográfica y batimétrica recabada en campo, se determinan las características hidráulicas en diferentes secciones transversales correspondientes a la zona en estudio, con lo que se pueden trazar las curvas gastos-tirantes para el Río Usumacinta a la altura de la población de Jonuta.

Para lograr lo anterior, se elaboró un programa de computadora a fin de calcular el Área hidráulica, el perímetro mojado, radio hidráulico y gasto para un nivel de la superficie libre del agua conocido, cuyos resultados se indican en las tablas III.1.1, III.1.2 y III.1.3. El programa de computadora se muestra al final del capítulo.

La configuración en planta de acuerdo a las secciones transversales del río se indican en el plano No. II.1.1.

Conocidos los gastos para las diferentes elevaciones de la superficie libre del agua, se graficaron las curvas correspondientes, las cuales se aprecian en las figuras III.1.1, III.1.2 y III.1.3, observándose lo siguiente:

JONUTA RIO USUMACINTA

Sección 1. Figura III.1.1 sección aguas arriba de la zona más erosionada.

A sección llena, que corresponde a una elevación de la superficie libre del agua (ESLA) de 50 m aproximadamente, para el nivel de referencia adoptado se tendría un gasto (Q) de 3 450 m³/seg, un perímetro mojado (PM) de 255 m y un ancho (B) del cauce con el mismo valor; la velocidad (V) es de 2.0 m/seg y tiene un Área hidráulica (AH) aproximada de 1 700 m² y un radio hidráulico (Rh) de 6.5 m.

Sección 6. Figura III.1.2 sección en la zona más erosionada.

A sección llena, se tienen los siguientes valores:

| | |
|---|-------------------------|
| Elevación de la superficie libre del agua (ESLA): | 51 m |
| Gasto aproximado (Q): | 3 500 m ³ /s |
| Perímetro mojado (PM): | 200 m |
| Ancho del cauce (B): | 195 m |
| Velocidad media máxima (V): | 2.2 m/seg |
| Área hidráulica (AH): | 1 600 m ² |
| Radio hidráulico (Rh): | 8.0 m |

Sección 10. Figura III.1.3 sección aguas abajo de la zona más erosionada.

| | |
|-------|-------------------------|
| ESLA: | 51 m |
| Q: | 3 400 m ³ /s |
| PM: | 255 m |
| B: | 255 m |
| V: | 2 m/s |
| AH: | 1 700 m ² |
| Rh: | 6.7 m |

| ELEV. DEL NOBIA S.S.N.S. | PERIMETRO NOBIA m | AREA HIDRAULICA m ² | RADIO HIDRAULICO m | ANCHO m | VELOCIDAD m/s | GASTO m ³ /s |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|------------------|----------------------------|
| 30.000 | 256.798 | 1705.950 | 6.643 | 253.000 | 1.999 | 3410.288 |
| 47.730 | 252.016 | 1642.793 | 6.519 | 250.250 | 1.974 | 3242.857 |
| 47.500 | 247.234 | 1580.825 | 6.394 | 245.500 | 1.949 | 3080.648 |
| 47.250 | 242.452 | 1520.043 | 6.269 | 240.750 | 1.923 | 2923.595 |
| 47.000 | 237.671 | 1460.430 | 6.145 | 236.000 | 1.898 | 2771.634 |
| 46.750 | 234.758 | 1401.544 | 5.920 | 233.250 | 1.851 | 2594.476 |
| 46.500 | 233.946 | 1342.825 | 5.694 | 234.500 | 1.804 | 2422.083 |
| 46.250 | 234.933 | 1284.294 | 5.467 | 233.750 | 1.755 | 2254.515 |
| 46.000 | 234.020 | 1225.950 | 5.239 | 233.000 | 1.706 | 2091.834 |
| 47.730 | 232.557 | 1167.872 | 5.022 | 231.625 | 1.659 | 1937.379 |
| 47.500 | 231.093 | 1110.138 | 4.804 | 230.250 | 1.611 | 1787.908 |
| 47.250 | 229.629 | 1052.747 | 4.585 | 228.875 | 1.561 | 1643.477 |
| 47.000 | 228.166 | 995.700 | 4.364 | 227.500 | 1.511 | 1504.143 |
| 46.750 | 224.121 | 939.325 | 4.191 | 223.500 | 1.470 | 1381.276 |
| 46.500 | 220.076 | 883.950 | 4.017 | 219.500 | 1.429 | 1263.495 |
| 46.250 | 216.031 | 829.575 | 3.840 | 215.500 | 1.387 | 1150.777 |
| 46.000 | 211.986 | 776.200 | 3.662 | 211.500 | 1.344 | 1043.103 |
| 45.750 | 207.820 | 723.841 | 3.483 | 207.375 | 1.300 | 940.853 |
| 45.500 | 203.654 | 672.512 | 3.302 | 203.250 | 1.254 | 843.620 |
| 45.250 | 199.488 | 622.216 | 3.119 | 199.125 | 1.208 | 751.389 |
| 45.000 | 195.322 | 572.950 | 2.933 | 195.000 | 1.159 | 664.153 |
| 44.750 | 191.051 | 524.781 | 2.777 | 188.750 | 1.118 | 586.716 |
| 44.500 | 182.780 | 478.575 | 2.618 | 182.500 | 1.075 | 514.287 |
| 44.250 | 174.509 | 433.731 | 2.457 | 176.250 | 1.030 | 446.785 |
| 44.000 | 170.238 | 390.450 | 2.294 | 170.000 | .984 | 384.132 |
| 43.750 | 165.966 | 348.544 | 2.107 | 163.250 | .930 | 324.003 |
| 43.500 | 160.674 | 307.825 | 1.916 | 160.500 | .873 | 268.607 |
| 43.250 | 155.392 | 268.294 | 1.721 | 155.750 | .812 | 217.959 |
| 43.000 | 151.111 | 229.950 | 1.522 | 151.000 | .748 | 172.095 |
| 42.750 | 141.847 | 193.356 | 1.363 | 141.750 | .695 | 134.470 |
| 42.500 | 132.583 | 159.075 | 1.200 | 132.500 | .639 | 101.606 |
| 42.250 | 123.320 | 127.106 | 1.031 | 123.250 | .577 | 73.366 |
| 42.000 | 114.056 | 97.450 | .854 | 114.000 | .509 | 49.636 |
| 41.750 | 104.804 | 70.103 | .669 | 104.762 | .433 | 30.332 |
| 41.500 | 95.553 | 45.049 | .472 | 95.524 | .343 | 15.448 |
| 41.250 | 86.301 | 22.343 | .259 | 86.286 | .230 | 5.134 |
| 41.000 | 77.049 | 1.926 | .025 | 77.048 | .048 | .093 |

Tabla III.1.1

Sección 1

| ELEV. DEL AGUA m.s.n.m. | PERIMETRO MÓJADO m | AREA HIDRAULICA m ² | RADIO HIDRAULICO m | ANCHO m | VELOCIDAD m/s | GASTO m ³ /s |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|------------------|----------------------------|
| 50.000 | 202.427 | 1589.350 | 7.851 | 194.000 | 2.235 | 3551.635 |
| 49.750 | 197.759 | 1541.428 | 7.794 | 189.375 | 2.224 | 3427.061 |
| 49.500 | 193.090 | 1494.663 | 7.741 | 184.750 | 2.214 | 3308.565 |
| 49.250 | 188.422 | 1449.053 | 7.690 | 180.125 | 2.204 | 3193.701 |
| 49.000 | 183.754 | 1404.600 | 7.644 | 175.500 | 2.195 | 3083.225 |
| 48.750 | 180.935 | 1361.055 | 7.521 | 172.861 | 2.172 | 2955.653 |
| 48.500 | 178.157 | 1318.169 | 7.399 | 170.222 | 2.148 | 2831.339 |
| 48.250 | 175.358 | 1275.944 | 7.276 | 167.583 | 2.124 | 2710.252 |
| 48.000 | 172.540 | 1234.378 | 7.153 | 164.944 | 2.100 | 2592.359 |
| 47.750 | 169.762 | 1193.471 | 7.030 | 162.306 | 2.076 | 2477.625 |
| 47.500 | 166.963 | 1153.225 | 6.907 | 159.667 | 2.052 | 2366.018 |
| 47.250 | 164.165 | 1113.638 | 6.784 | 157.028 | 2.027 | 2257.505 |
| 47.000 | 161.366 | 1074.711 | 6.660 | 154.389 | 2.002 | 2152.053 |
| 46.750 | 158.443 | 1036.459 | 6.542 | 151.625 | 1.979 | 2050.751 |
| 46.500 | 155.520 | 998.899 | 6.423 | 148.861 | 1.955 | 1952.476 |
| 46.250 | 152.598 | 962.029 | 6.304 | 146.097 | 1.930 | 1857.192 |
| 46.000 | 149.675 | 925.850 | 6.186 | 143.333 | 1.906 | 1764.861 |
| 45.750 | 147.001 | 890.331 | 6.057 | 140.819 | 1.880 | 1673.458 |
| 45.500 | 144.326 | 855.440 | 5.927 | 138.306 | 1.853 | 1584.070 |
| 45.250 | 141.652 | 821.178 | 5.797 | 135.792 | 1.826 | 1499.068 |
| 45.000 | 138.978 | 787.544 | 5.667 | 133.278 | 1.798 | 1416.018 |
| 44.750 | 132.187 | 755.053 | 5.712 | 126.659 | 1.808 | 1344.832 |
| 44.500 | 125.397 | 724.225 | 5.775 | 120.000 | 1.821 | 1318.784 |
| 44.250 | 118.606 | 695.055 | 5.860 | 113.361 | 1.839 | 1278.015 |
| 44.000 | 111.815 | 667.544 | 5.970 | 106.722 | 1.862 | 1242.725 |
| 43.750 | 110.132 | 641.053 | 5.821 | 105.208 | 1.830 | 1173.430 |
| 43.500 | 108.448 | 614.940 | 5.670 | 103.694 | 1.799 | 1106.154 |
| 43.250 | 106.764 | 589.206 | 5.519 | 102.181 | 1.767 | 1040.084 |
| 43.000 | 105.081 | 563.850 | 5.366 | 100.667 | 1.734 | 977.608 |
| 42.750 | 103.274 | 538.888 | 5.218 | 99.028 | 1.702 | 917.069 |
| 42.500 | 101.468 | 514.334 | 5.069 | 97.329 | 1.669 | 858.556 |
| 42.250 | 99.661 | 490.194 | 4.919 | 95.750 | 1.636 | 801.975 |
| 42.000 | 97.854 | 466.461 | 4.767 | 94.111 | 1.602 | 747.391 |
| 41.750 | 95.924 | 443.154 | 4.620 | 92.347 | 1.569 | 695.347 |
| 41.500 | 93.994 | 420.280 | 4.471 | 90.583 | 1.535 | 645.286 |
| 41.250 | 92.064 | 397.862 | 4.322 | 88.819 | 1.501 | 597.131 |
| 41.000 | 90.134 | 375.878 | 4.170 | 87.056 | 1.466 | 550.885 |

Tabla III.1.2

Sección 6

| ELEV. DEL AGUA S.S.N.A. | PERIMETRO MOZADO m | AREA HIDRAULICA m ² | RADIO HIDRAULICO m | ARCHO m | VELOCIDAD m/s | GASTO m ³ /s |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|------------------|----------------------------|
| 50.000 | 218.677 | 1618.872 | 7.403 | 216.000 | 2.149 | 3478.518 |
| 49.750 | 212.820 | 1565.599 | 7.356 | 210.188 | 2.140 | 3349.914 |
| 49.500 | 204.964 | 1513.779 | 7.314 | 204.375 | 2.132 | 3226.628 |
| 49.250 | 201.108 | 1463.411 | 7.277 | 198.563 | 2.124 | 3108.612 |
| 49.000 | 195.251 | 1414.497 | 7.244 | 192.750 | 2.118 | 2995.820 |
| 48.750 | 193.787 | 1366.486 | 7.053 | 191.344 | 2.080 | 2842.792 |
| 48.500 | 192.263 | 1318.825 | 6.859 | 189.938 | 2.042 | 2693.335 |
| 48.250 | 190.748 | 1271.517 | 6.665 | 188.531 | 2.003 | 2547.461 |
| 48.000 | 189.274 | 1224.560 | 6.470 | 187.125 | 1.964 | 2405.180 |
| 47.750 | 187.232 | 1178.025 | 6.292 | 185.156 | 1.928 | 2271.146 |
| 47.500 | 185.191 | 1131.982 | 6.113 | 183.188 | 1.891 | 2140.728 |
| 47.250 | 183.149 | 1086.431 | 5.932 | 181.219 | 1.854 | 2013.921 |
| 47.000 | 181.107 | 1041.372 | 5.750 | 179.250 | 1.816 | 1890.724 |
| 46.750 | 178.942 | 996.822 | 5.571 | 177.156 | 1.778 | 1771.995 |
| 46.500 | 176.777 | 952.794 | 5.390 | 175.063 | 1.739 | 1656.874 |
| 46.250 | 174.612 | 909.290 | 5.207 | 172.969 | 1.700 | 1545.359 |
| 46.000 | 172.447 | 866.310 | 5.024 | 170.875 | 1.659 | 1437.450 |
| 45.750 | 170.406 | 823.837 | 4.835 | 168.906 | 1.617 | 1332.462 |
| 45.500 | 168.364 | 781.857 | 4.644 | 166.938 | 1.575 | 1231.084 |
| 45.250 | 166.322 | 740.368 | 4.451 | 164.969 | 1.531 | 1133.327 |
| 45.000 | 164.280 | 699.372 | 4.257 | 163.000 | 1.486 | 1039.199 |
| 44.750 | 162.187 | 658.875 | 4.062 | 160.976 | 1.440 | 948.933 |
| 44.500 | 160.095 | 618.884 | 3.866 | 158.953 | 1.393 | 862.528 |
| 44.250 | 158.002 | 579.399 | 3.667 | 156.929 | 1.345 | 779.404 |
| 44.000 | 155.909 | 540.420 | 3.466 | 154.905 | 1.296 | 700.184 |
| 43.750 | 153.815 | 501.962 | 3.266 | 152.756 | 1.245 | 625.062 |
| 43.500 | 151.477 | 464.041 | 3.063 | 150.608 | 1.193 | 553.696 |
| 43.250 | 149.261 | 426.658 | 2.858 | 148.459 | 1.139 | 486.119 |
| 43.000 | 147.046 | 389.812 | 2.651 | 146.310 | 1.084 | 422.375 |
| 42.750 | 144.887 | 353.597 | 2.454 | 143.412 | 1.029 | 363.920 |
| 42.500 | 141.127 | 318.106 | 2.254 | 140.513 | .972 | 309.353 |
| 42.250 | 138.168 | 283.340 | 2.051 | 137.614 | .915 | 258.712 |
| 42.000 | 135.209 | 249.299 | 1.844 | 134.716 | .851 | 212.050 |
| 41.750 | 132.870 | 215.904 | 1.625 | 132.442 | .782 | 168.808 |
| 41.500 | 130.531 | 183.078 | 1.403 | 130.168 | .709 | 129.766 |
| 41.250 | 128.191 | 150.820 | 1.177 | 127.894 | .630 | 95.083 |
| 41.000 | 125.852 | 119.131 | .947 | 125.621 | .545 | 64.969 |

Tabla III.1.3

Sección 10

SITIO JONUTA

CARACTERISTICAS DE LA SECCION 1

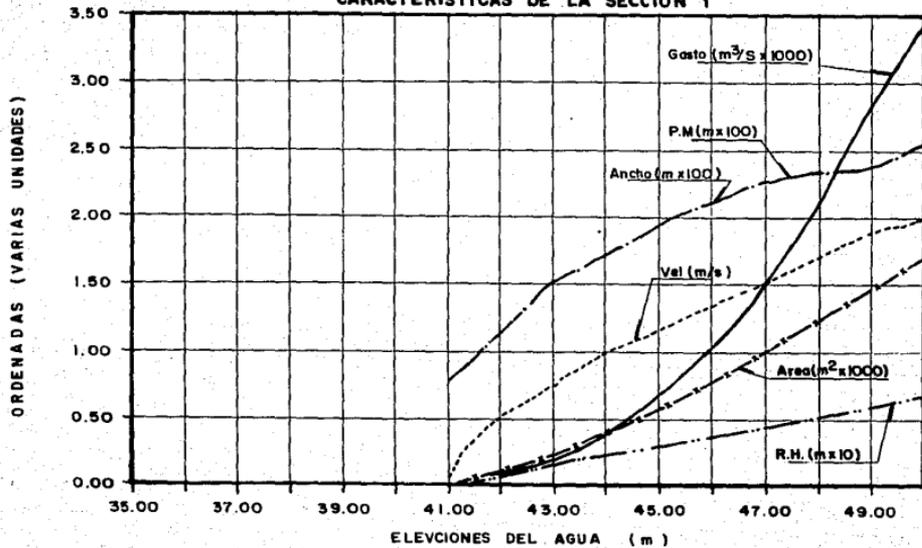
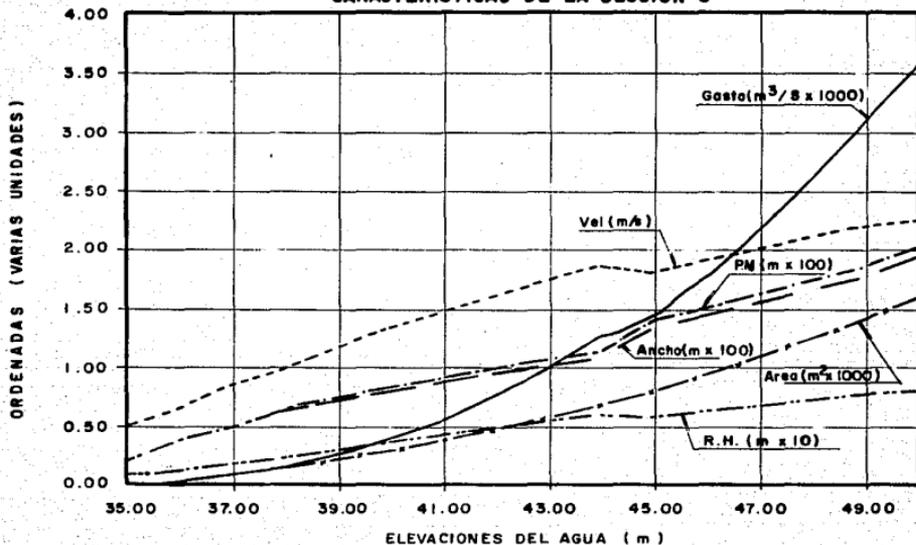


Fig. III.1.

SITIO JONUTA
CARACTERÍSTICAS DE LA SECCION 6



SITIO JONUTA

CARACTERISTICAS DE LA SECCION 10

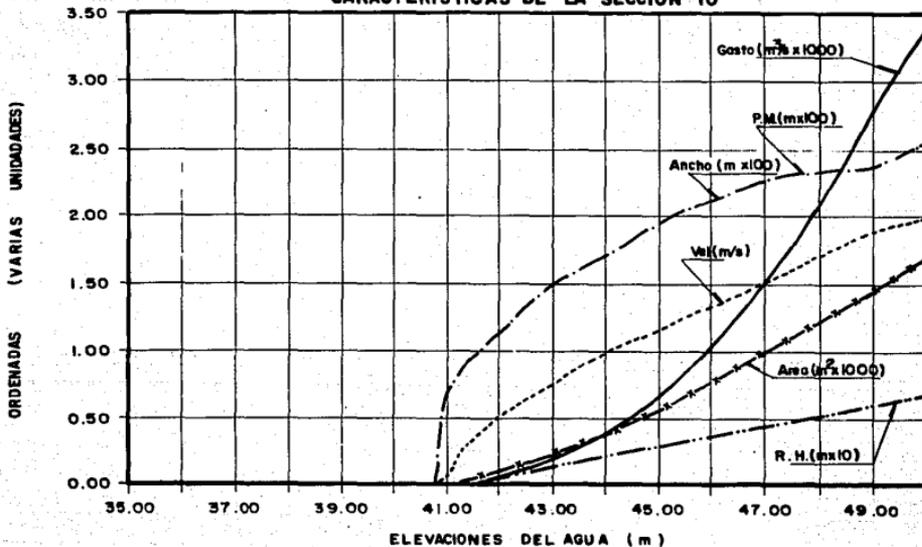


Fig. III 1.3

Como puede observarse, a igualdad de condiciones en las 3 secciones analizadas, resultan valores muy similares para el gasto a sección llena, ya que cuando el área hidráulica es menor, la velocidad se incrementa para hacer cumplir la ley de continuidad $Q_1 = AH_1 \times V_1 = AH_2 \times V_2 = AH_3 \times V_3$, lo cual resulta razonable y lógico.

III.2 Evolución Histórica de las Zonas Afectadas.

Con el fin de ubicar las zonas afectadas relativas a las características de los tramos de río y los fenómenos que se presentan en las mismas, a continuación se explican las 3 partes o zonas en que Lebediev divide a un río:

a) Zona de Montaña.

Presenta las características de pendientes pronunciadas en el lecho del río, dimensiones considerables de los sedimentos (bolcos y cantos rodados) y áreas sin agricultura. Como el lecho del río yace en zona montañosa cuando se presenta una avenida, los niveles del agua se elevan sin desbordar el cauce.

b) Zona intermedia.

En este caso, la pendiente del lecho y las dimensiones de los sedimentos disminuyen en relación a los de la zona de montaña; los sedimentos consisten principalmente en arenas y gravas y el lecho se encuentra por lo general, entre colinas; esta zona se forma a través de procesos de sedimentación y está sujeta a inundaciones cuando la capacidad hidráulica del río se ve excedida. Normalmente en esta zona se lleva a cabo un proceso de sedimentación.

c) Zona de planicie.

En esta zona se tienen pendientes aún más reducidas, los sedimentos son finos, transportados y gradualmente depositados por el río. Esta zona es plana, favoreciendo así a la agricultura en áreas extensas. También sufren inundaciones que son de mayor duración que las de las zonas intermedias, porque sus gastos son mayores que la capacidad de drenaje de las pequeñas pendientes que las caracterizan. Otro aspecto importante que presentan los ríos en esta zona, es la formación de meandros, que se generan cuando la

pendiente estable del río es menor que la pendiente general en la zona de planicie, compensando la diferencia con una longitud mayor del cauce o con una profundidad mayor en el mismo.

Por lo anteriormente citado, se puede decir que la población de Jonuta, en los tramos de río en estudio, se localiza en la planicie del Usumacinta, ya que presenta una pendiente general muy reducida; (del orden de 0.001 o menor) el río transporta y fluye sobre material muy fino (en estos casos, se trata de limos y arenas finas), y se ubica en meandros.

En los meandros, la estructura del flujo se vuelve helicoidal, debido a la aceleración centrípeta; todas las partículas de agua situadas en una vertical en un instante determinado experimentan el mismo gradiente de presiones laterales (radiales). Simultáneamente, la aceleración centrípeta requerida para mantener a las partículas en una trayectoria circular, es mayor en una zona cercana al fondo, debido a la diferencia de velocidades. Por lo tanto, las partículas en la superficie tienden a desplazarse hacia afuera y las del fondo hacia adentro.

Una de las principales características del flujo helicoidal generado en un meandro de un río, es que en la zona exterior de la curva (extradós), se presenta una fuerte erosión, mientras que en la zona interior (intradós), se tiene un proceso de sedimentación; esta situación evoluciona hasta que después de un cierto tiempo, puede suceder el corte del meandro al presentarse una avenida con un periodo de retorno alto (10 años o más).

En este caso, los meandros han evolucionado con erosión en la parte exterior de la curva y con sedimentación en la parte interior de la curva por tal motivo, la erosión progresiva amenaza a los asentamientos humanos, por lo que en este trabajo y en los capítulos sucesivos, se analizan las diversas formas de proteger la zona en peligro.

III.3 Planteamiento de Alternativas de Solución

Para resolver el problema de la erosión progresiva en la margen derecha del Río Usumacinta, se utilizan obras como espigones, muros y diques longitudinales, así como rectificaciones. A continuación se indican las características generales de estas obras, con el fin de establecer una comparación entre su funcionamiento y su posible costo.

ESPIGONES

Son estructuras en forma de diques o pantallas interpuestas a la corriente y empotradas en uno de sus extremos a la orilla. Sirven para alejar las líneas de corriente de la orilla, con lo cual el material que la constituye no puede ser erosionado. Para lograr este objetivo, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros: localización en planta, longitud, separación entre espigones, elevaciones y pendientes de la corona, orientación y la permeabilidad del espigón.

Una de las ventajas de los espigones, es que permiten que la obra en su conjunto continúe trabajando aunque uno o dos de los espigones hayan sido socavados en sus extremos, destruidos y separados de la margen; además el costo inicial de construcción y el de mantenimiento es menor en general, que el de las otras obras.

Las principales desventajas de los espigones consisten en que permiten que el tramo de margen comprendida entre ellos, pueda ser ligeramente erosionada inmediatamente después de su construcción; además, disminuyen la sección hidráulica y aumentan la rugosidad de las orillas, provocando con ello un aumento en el tirante del río, así como erosión a la margen contraria a su colocación.

MUROS Y DIQUES LONGITUDINALES

Son estructuras apoyadas directamente en la margen de un río, a fin de evitar que la corriente del agua haga contacto y erosione el material de la orilla que protegen.

La geometría en planta de los muros y diques se determina en forma similar a la de los espigones.

Durante la construcción de estas obras se debe evitar que el material que forma la orilla, salga a través de los huecos o juntas que pueda tener el revestimiento de protección del muro o dique; por lo tanto, se deberá colocar un filtro entre ambos materiales que puede ser de productos sintéticos o bituminosos, o bien de materiales pétreos debidamente graduados.

Las principales ventajas que presentan estas obras, consisten en que evitan por completo los corrimientos laterales de las márgenes, tanto en tramos rectos como en las curvas más forzadas, o sea fijan completamente las márgenes.

Por otra parte, los muros longitudinales son en general, obras más costosas que los espigones y requieren mayor cuidado en su proyecto y construcción; asimismo, cuando falla una parte de un muro longitudinal, puede extenderse esa falla y destruirse toda la obra, sobre todo si la avenida dura varios días.

CANALIZACIONES. DRAGADO

Una forma de reducir las erosiones marginales en una zona de un meandro, es la de aumentar la capacidad hidráulica del cauce principal del río, lo cual es posible lograr dragando parte o toda la zona de depósitos (intradós) de la curva; con esto se pretende restablecer las condiciones que prevalecían antes de la evolución natural del meandro, es decir cuando el río fluía por un tramo recto o casi recto.

Esta solución no es definitiva, ya que para tal objeto es necesario construir aguas arriba del inicio de la zona del dragado, una obra de encauzamiento (espigón o ataguía), lo cual hace ver este tipo de solución como la más cara de las analizadas en el presente estudio.

Materiales

Los espigones se pueden construir de madera, troncos, ramas de árboles, piedra, elementos prefabricados de concreto, acero y alambre, etc. Los más comunes en México, se construyen con tablaestacados y enrocamiento colocado suelto o en gaviones (cajas formadas con malla de alambre).

Los muros longitudinales pueden construirse con losas de concreto, gaviones, piezas prefabricadas de concreto de diferentes formas y enrocamiento.

Dadas las condiciones prevalecientes en Jonuta, las obras que se analizan a continuación, se propone construir las con enrocamiento, por la disponibilidad del material en la zona y su relativa economía en cuanto a explotación, transporte y colocación respecto a los otros tipos de materiales de construcción citados con anterioridad.

A continuación se describen y analizan las posibles alternativas para el sitio en estudio, lo que permitirá seleccionar la más conveniente, aunque no necesariamente la más económica.

ALTERNATIVA 1. ESPIGONES DE ENCAUZAMIENTO

Se propone proteger contra la erosión la margen derecha del Río Usumacinta mediante la construcción de ocho espigones, con el alineamiento en planta y separaciones que se indican en el plano III.3.1, que es el resultado de aplicar la metodología recomendada al respecto en el Manual de Diseño de Obras Civiles, de la CFE tema de Hidráulica, Capítulo II, Hidráulica Fluvial.

En la tabla III.3.1 se indican las características principales de los ocho espigones, como son longitud de trabajo (longitud efectiva del arranque al extremo de la corona que se encuentra en agua), profundidad a la que se desplanta, y volumen aproximado de material de rezaga del banco Tulijá, ubicado a 80 km aproximadamente del sitio. Asimismo, se consideró conveniente que la corona de estas obras tuviera un ancho de 4 metros, para facilitar el acceso y maniobras de los camiones de volteo, así como las correspondientes a un tractor, para una mejor distribución y colocación del material. Asimismo, la elevación de la corona en la sección de arranque, deberá coincidir con la elevación de la margen.

CANTIDADES DE OBRA DE LA PROTECCION MARGINAL
CON ESPIGONES EN JONUTA, TABASCO

| ESPIGON | LONGITUD (m) | PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (m) | SEPARACION DE (m) | VOLUMEN (m ³) |
|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | 20.0 | 7 | 70 | 1 209 |
| 2 | 24.0 | 6 | 85 | 628 |
| 3 | 32.0 | 7 | 70 | 1 137 |
| 4 | 35.5 | 10 | 50 | 2 610 |
| 5 | 24.5 | 13 | 45 | 3 198 |
| 6 | 21.0 | 15 | 45 | 3 700 |
| 7 | 20.5 | 15 | 45 | 6 647 |
| 8 | 17.0 | 14 | 65 | 7 164 |
| P O R H U N D I M I E N T O (33 %) | | | | 8 677 |
| P O R E R O S I O N (20 %) | | | | 6 994 |
| T O T A L | | | | 41 964 |

TABLA No. III.3.1

Con este conjunto de obras, si los sedimentos del río son arenosos, los espigones alejarán la margen actualmente en proceso de erosión, de tal forma que se generen zonas de calma relativa entre espigón y espigón, las cuales se llenan poco a poco con sedimentos, hasta que se forme una nueva orilla estable.

El volumen resultante de enrocamiento fue de 41 964 m³, el cual se debe colocar en el sitio de proyecto durante la época de estiaje, aprovechando el descenso de los niveles del agua, así como la ausencia de precipitaciones.

ALTERNATIVA 2. MUROS MARGINALES DE ENROCAMIENTO

La margen derecha del Río Usumacinta frente a la población de Jonuta, la cual está sujeta a un proceso erosivo, también puede protegerse con un muro marginal a base de enrocamiento.

Al considerar las velocidades del flujo y profundidad de la corriente, y además el procedimiento de explotación de la cantera y por tanto de colocar material de un único tamaño, se propone que el material a colocar esté comprendido entre 5 y 50 cm de diámetro representativo y el ancho de la carpeta o protección sea de 85 cm.

Para garantizar la estabilidad de la protección, se propone cubrir el talud con ese material y además colocar un delantal con ancho mínimo igual a una vez el tirante de la zona. Dicho delantal sufrirá algún acomodo o destrucción parcial en su extremo, pero protegerá al material colocado sobre el talud.

La longitud por proteger es la misma que se recomienda proteger con espigones en la alternativa 1, y sus características se muestran en los planos III.3.2.1 y III.3.2.2.

El volumen total de la protección es de 46 217 m³. Deberá colocarse desde un chalón teniendo en mente que deben vaciarse 0.85 m³ por cada m² en la zona horizontal del delantal y hasta 1.53 m³ por cada m² horizontal cuando el talud de la protección marginal sea de 1.5:1.

ALTERNATIVA 3. CANALIZACION Y DRAGADO

En esta zona y sobre la margen izquierda se propone como alternativa No. 3 una rectificación del Río Usumacinta. El trazo o alineamiento de dicha rectificación se muestra en el plano III.3.3, donde se aprecia que la curva cóncava en margen derecha se prolonga con un dique de encauzamiento (espigón). Posteriormente, la mayor longitud de la rectificación es cóncava en la margen izquierda, para unirse nuevamente al Río Usumacinta frente al poblado de Jonuta pero aguas abajo de la zona sujeta a erosión.

Para hacer la rectificación se deberá construir un cauce piloto con un ancho de 100 m, y profundidad de 8.00 m, dimensiones que son necesarias para garantizar una velocidad erosiva en la arcilla que pueda haber en la zona de la rectificación. De haber sólo arena, las dimensiones del cauce piloto hubieran resultado con un ancho menor.

En esta obra, primero debe excavar el cauce piloto en forma completa y el producto de la excavación colocarse en la isla que se va a formar.

Una vez abierto el canal, parte del gasto pasará por él y se reducirán las velocidades en la margen que se está erosionando frente a Jonuta.

Como hay material cohesivo en la rectificación y puesto que ello no reduce la longitud de recorrido de la corriente, por lo tanto, no hay incremento de pendiente, entonces no puede esperarse que en forma natural y en corto tiempo el río abandone el cauce actual y forme un único cauce por la rectificación.

Por lo anterior debe ayudarse al río en forma artificial a cerrar el cauce actual. Para ello deberá construirse un dique de encauzamiento en la margen derecha que desvíe la corriente hacia el cauce piloto y reduzca el área hidráulica del cauce actual. Además parte del material excavado y depositado en la isla deberá colocarse en el cauce actual para reducir también su sección hidráulica y así acelerar el desvío.

En el arranque del cauce piloto y sobre su margen derecha deberá colocarse una protección de enrocamiento que en forma de dique o espigón se prolongue hacia aguas arriba.

Cuando el cauce piloto se haya ampliado a unos 150 m, el espigón y dique de encauzamiento deberán unirse, ya sea con roca o material de la excavación para lograr el cierre completo del cauce actual.

El volumen de excavación es aproximadamente igual a 960 000 m³ y el volumen de enrocamiento del dique de encauzamiento de 18 888 m³.

III.3.1 Material de Construcción

A continuación, se describen los materiales de construcción más comúnmente utilizados en obras fluviales similares, tanto en México como en otros países.

Tablaestacas de acero.

Este tipo de material es adecuado para espigones o muros longitudinales, aunque la longitud necesaria de los elementos (como mínimo 26 metros de longitud), hace difícil su manejo para el hincado y su costo muy elevado en relación a otros tipos de materiales de construcción, además se requiere de un cuidadoso control del proceso constructivo y de revisiones periódicas para verificar el buen comportamiento de la estructura, ya que por ser rígida y vertical, estará sujeta a una acción erosiva más intensa que una estructura de talud.

Tablaestacas de concreto.

Esta clase de elementos presenta las mismas ventajas y desventajas que las tablaestacas de acero y en ambos casos, su elevado costo las hace prohibitivas para utilizarlas como alternativas de solución en el presente estudio.

Gaviones.

Estos materiales presentan grandes posibilidades por su facilidad de transportación a cualquier sitio remoto, aunque su costo puede resultar relativamente alto en los conceptos de adquisición, colocación y mantenimiento, por requerir

equipo y personal especializado y por las características particulares del sitio en estudio.

Enrocamiento.

El material pétreo es el material más económico y eficiente que se utiliza en México y otros países para la construcción de obras fluviales como la analizada en este trabajo. Como normalmente los bancos de material pétreo se localizan a distancias razonablemente alejadas, éste concepto se compensa por la gran flexibilidad de la obra para absorber asentamientos y fallas por socavación local a pie de estructura, ya que sus elementos se deslizan hacia la zona de falla, efecto que se refleja de inmediato en la obra, para lo cual se debe contemplar un programa de mantenimiento continuo durante los primeros tres años después de concluida la construcción, a fin de lograr la estabilización del área protegida con el material pétreo.

Por lo anterior, en los casos aquí analizados, se propone la construcción de la protección marginal en Jonuta con material pétreo, por contar con un banco de material ubicado a una distancia aceptable.

III.3.2 Dimensionamiento de las Obras

A continuación se describen los criterios de diseño de espigones y de muros marginales de acuerdo con las condiciones prevalecientes en Jonuta, así como la disponibilidad de materiales de construcción en la región.

Espigones

Longitud.

Este parámetro se divide en longitud de anclaje o empotramiento y longitud de trabajo. La primera es la que inicialmente está dentro de la margen y la segunda, la que está dentro de la corriente.

La longitud de trabajo, LT, medida sobre la corona, se recomienda esté dentro de los límites:

$$d < = LT < = B/4$$

Siendo:

B = Ancho medio del cauce, en m.

d = Tirante medio, en m.

Los espigones se pueden construir sin tener longitud de anclaje, es decir, sin que penetren en la margen, sobre todo si la falla de un espigón no causa problemas locales, ya que el costo de la obra resulta menor.

Separación entre espigones.

Se mide entre los puntos de arranque de cada uno; depende primordialmente de la longitud del espigón en el límite de aguas arriba. Para calcularla, se toma en cuenta la inclinación del espigón respecto a la orilla de aguas abajo y la ampliación teórica de la corriente al pasar por el extremo del espigón. El ángulo de esa ampliación es de 9° a 11°, ver figuras III.3.2.1 y III.3.2.2.

Separación en curvas.

La separación en curvas (SP), conviene encontrarla gráficamente como se indica en la figura III.3.2.1 sobre todo si la curva es irregular o con un radio de curvatura pequeño; al mismo tiempo, quedan fijadas sus longitudes y ángulos de orientación.

Elevaciones y pendientes de la Corona.

Los espigones deberán construirse con pendiente longitudinal hacia adentro del río. Su arranque debe tener la elevación de la margen. El extremo dentro del cauce deberá tener alturas máximas de 50 cm sobre el nivel actual del agua durante la época de construcción.

Orientación de los espigones.

Pueden estar dirigidos hacia aguas abajo, hacia aguas arriba, o también ser normales a la corriente. La orientación de los espigones se mide por el ángulo que forma el eje longitudinal del mismo con la tangente de la orilla, hacia aguas abajo, en el punto de arranque, ver figura III.3.2.1.

En un tramo recto de una curva regular, conviene que los espigones formen un ángulo de 70° con respecto a la orientación de la margen.

Socavación local.

La socavación local en la punta de los espigones es de importancia durante su construcción cuando se utilizan elementos que están sueltos, como lo es el enrocamiento. Si la velocidad de la corriente es mayor de 0.50 m/s, conviene recubrir el fondo sobre el que descansará el espigón, con una capa de piedra de unos 85 cm de espesor y después construir el espigón de la orilla hacia el centro del cauce. De no colocar esta protección que puede evitar la socavación local durante la construcción, se incrementarán los volúmenes necesarios de material para cubrir la longitud y cota de coronamiento de proyecto.

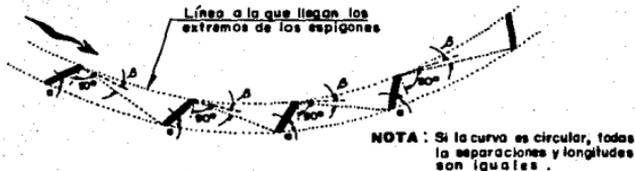


FIG. II. 3. 2. 1 TRAZO DE ESPIGONES EN UNA CURVA.

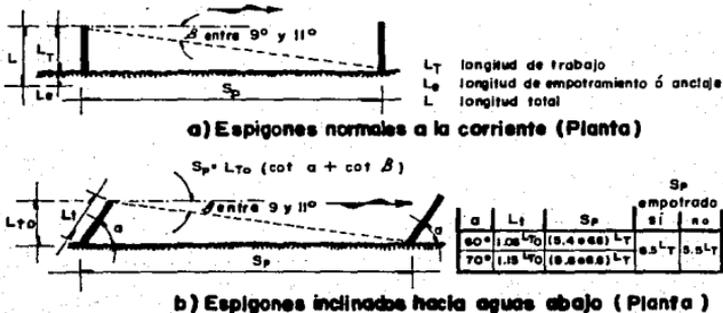


FIG. II. 3. 2. 2 TRAZO DE ESPIGONES EN MARGENES RECTAS Y CURVAS.

Hundimiento del material.

Este fenómeno se puede presentar cuando la estratigrafía del lecho del cauce está constituida por material limoso o arcilloso, los cuales normalmente tienen baja capacidad de carga y la concentración de fuerzas ejercida por la estructura excede dicha capacidad, esta acción se debe tomar en cuenta al estimar los volúmenes de material necesarios para lograr la longitud y cota de coronamiento de proyecto.

MUROS Y DIQUES LONGITUDINALES

Los muros más sencillos de construir en los ríos del país, son de enrocamiento y conviene que el material sea de diferente graduación, ya que los elementos de tamaño reducido actúan como filtro.

Estas estructuras deben revisarse periódicamente, sobre todo después de la época de avenidas para reparar cualquier zona socavada o erosionada. Debe tomarse en cuenta que cuando falla una parte de un muro, se corre el peligro de que toda la obra se colapse.

En curvas con radios de curvatura menor de una vez y media el ancho de la superficie libre del río, conviene siempre construir la protección con un muro longitudinal en lugar de espigones.

Cuando la margen del río es muy alta, la protección debe cubrir desde el fondo hasta el nivel de la margen a sección llena. Si esa parte está protegida, la margen no retrocederá ya que la erosión siempre se produce al pie de la orilla.

La única erosión que podrá ocurrir es arriba de la protección, pero ello conduce a un abatimiento del talud de la orilla, hasta que se estabiliza.

Por todo lo anterior, es recomendable que los muros sean flexibles, o sea, que se construyan con enrocamiento, ya que si hay alguna erosión o si ocurre asentamiento en la orilla, pueden acomodarse sin que la obra falle y se inicie su destrucción.

El criterio utilizado para el dimensionamiento de los elementos de enrocamiento del muro marginal en Jonuta, es el de Lischtvan-Lebediev quienes propusieron los resultados que se indican en la tabla III.3.2.1, en función del diámetro medio de las partículas y del peso volumétrico seco del material y del tirante.

Por otro lado, es conveniente mencionar que en este tipo de obras el principal peligro de destrucción se presenta al pie del talud o en el arranque de la obra.

Para proteger esa zona, se requiere formar un tapete de enrocamiento con un ancho igual al tirante, pero no menor de 2 metros y un espesor de 40 a 85 cm. Al descender el fondo del cauce durante las avenidas, esa protección se acomoda sobre el fondo socavado, evitando el deslizamiento de la capa protectora que forma el muro.

La parte extrema de aguas arriba del muro, o arranque del mismo, se deberá empotrar en la margen.

CANALIZACION Y DRAGADO

Esta solución consiste en excavar un cauce piloto con un ancho de 100 metros, profundidad de 8 metros y una longitud aproximada de 1 000 metros correspondiendo estos valores a una área hidráulica equivalente al del cauce actual en la zona de la derivación (ver plano III.3.3).

Con ese cauce piloto, se espera que la capacidad erosiva del río amplíe el canal hasta lograr su área hidráulica estable como se indica en el plano III.3.3. El material del dragado se recomienda colocarlo en la isla formada artificialmente, para posteriormente depositarlo en el cauce actual del río y así desviar el agua hacia el canal propuesto; para lograr esto, es necesario construir un espigón de encauzamiento en la margen derecha hasta el centro del cauce y posteriormente, el espigón de la margen izquierda, los cuales se unirán para el cierre definitivo del río actual, en cuanto el canal excavado alcance su estado de estabilidad.

VELOCIDADES MEDIAS DE LA CORRIENTE QUE SON ADMISIBLES
(NO EROSIVAS) PARA SUELOS NO COHESIVOS
EN M/S

| DIAMETRO MEDIO DE LAS PARTICULAS EN MM | TIRANTE MEDIO DE LA CORRIENTE, EN M | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------|------|------|------|--------------|--|
| | 0.40 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 5.00 | màs de 10 | |
| 0.005 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.45 | |
| 0.050 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.45 | 0.55 | 0.65 | |
| 0.250 | 0.35 | 0.45 | 0.55 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | |
| 1.000 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.75 | 0.85 | 0.95 | |
| 2.500 | 0.65 | 0.75 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.20 | |
| 5.000 | 0.80 | 0.85 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.50 | |
| 10.000 | 0.90 | 1.05 | 1.15 | 1.30 | 1.45 | 1.75 | |
| 15.000 | 1.10 | 1.20 | 1.35 | 1.50 | 1.65 | 2.00 | |
| 25.000 | 1.25 | 1.45 | 1.65 | 1.85 | 2.00 | 2.30 | |
| 40.000 | 1.50 | 1.85 | 2.10 | 2.30 | 2.45 | 2.70 | |
| 75.000 | 2.00 | 2.40 | 2.75 | 3.10 | 3.30 | 3.60 | |
| 100.000 | 2.45 | 2.80 | 3.20 | 3.50 | 3.80 | 4.20 | |
| 150.000 | 3.00 | 3.35 | 3.75 | 4.10 | 4.40 | 4.50 | |
| 200.000 | 3.50 | 3.80 | 4.30 | 4.65 | 5.00 | 5.40 | |
| 300.000 | 3.85 | 4.35 | 4.70 | 4.90 | 5.50 | 5.90 | |
| 400.000 | | 4.75 | 4.95 | 5.30 | 5.60 | 6.00 | |
| 500.000 ó mäs | | | 5.35 | 5.50 | 6.00 | 6.20 | |

Tabla III.3.2.1

III.3.3 Procedimiento Constructivo

En este apartado se hace una descripción detallada de los posibles métodos constructivos que podrían efectuarse para las obras de protección marginal en Jonuta.

ESPIGONES. EQUIPO TERRESTRE. CAMIONES DE VOLTEO Y TRACTOR.

Los espigones se pueden construir con equipo para terracerías, es decir, que los camiones cargados con material provenientes del Banco Tulijá, descarguen directamente el material en los sitios previamente establecidos en campo y de acuerdo con lo especificado en los planos de proyecto. Una vez vertido el material, un tractor procederá a acomodar el material, para lograr el ancho de corona de 4 metros y darle la pendiente longitudinal hacia el centro del cauce, hasta llegar a la longitud propuesta en el proyecto ejecutivo de la obra. El ancho de la corona se considera suficiente para que los camiones entren de reversa y puedan efectuar sus maniobras de salida en forma expedita. Asimismo, con una supervisión permanente y cuidadosa, se pueden atacar varios frentes de construcción en forma simultánea, a fin de reducir al mínimo el tiempo de construcción.

Conviene hacer hincapié en la importancia que revisten las características del material de construcción cuando menos en los últimos 10 metros antes de llegar a la longitud de proyecto de cada espigón, el cual debe tener un diámetro aproximado no menor de 85 cm o un peso no menor de 120 Kg, ya que la zona final de la obra sufrirá asentamientos más notorios por los efectos de erosión y hundimiento ya comentados con anterioridad.

Por otra parte, en caso de que el tractor no cubriera las especificaciones del proyecto, se podría utilizar una grúa con capacidad reducida (5 toneladas), a fin de que esta colocara el material de tal modo que el incremento en las cantidades de obra no resulten excesivos con relación a lo estimado en el estudio, aunque implicaría tal vez un incremento en los tiempos de ejecución por requerir material seleccionado previamente y porque una grúa no podría avanzar al mismo ritmo que un tractor.

Con este método se podrían lograr avances de obra muy eficientes, con una supervisión y logística permanentes y cuidadosas, aunque se correría el riesgo de tener que colocar

un volumen mayor de material por lo limitado del proceso en sí, los cuales son perfectamente válidos para el sitio en estudio.

ESPIGONES. EQUIPO FLOTANTE. CHALANES CON GRUAS Y POSICIONAMIENTO DESDE TIERRA.

Debido a las características fisiográficas del Estado de Tabasco, que se distingue por su extensa red fluvial que abarca la totalidad de la entidad, se puede pensar en construir la obra de protección marginal utilizando la transportación fluvial por su economía en relación a la transportación terrestre, ya que de acuerdo con la información disponible a la fecha, existe comunicación fluvial entre el banco de material Tulijá y la población de Jonuta (ver croquis de localización del banco Tulijá).

Asimismo, existen chalanes que son transportados en tandem por remolcadores llevando roca de Tulijá para la construcción de rompeolas en el puerto petrolero de Dos Bocas, por lo que se infiere la posibilidad de trasladar material pétreo hacia Jonuta aprovechando las rutas indicadas anteriormente.

Una vez definido el modo de transporte fluvial y sus posibles rutas a los sitios en cuestión, sólo resta aclarar que al llegar los trenes de chalanes a la zona por proteger (los cuales cuentan con equipo propio de carga/descarga), se requiere organizar un equipo eficiente para posicionamiento de los chalanes a fin de colocar el material apropiado en la zona definida previamente en campo de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

Por otro lado, y como parte complementaria del proceso constructivo con equipo flotante, conviene mencionar que se debe establecer en campo una forma de anclaje expedita y de relativa precisión del tren de chalanes en el sitio más adecuado para la descarga y una metodología apropiada de esta última para no poner en peligro la estabilidad del sistema flotante de transporte.

MUROS MARGINALES. EQUIPO TERRESTRE. CAMIONES DE VOLTEO Y TRACTOR

En forma similar a la construcción de los espigones se puede llevar a cabo la protección de la zona sujeta a erosión en Jonuta, con las limitaciones mencionadas con antelación, sobre todo en las zonas en que la pendiente natural de la margen hacia el río es mayor que el talud de reposo del material de construcción (se consideró de 1.5:1; horizontal: vertical).

En las protecciones marginales, como ya se ha indicado en diversos apartados de este trabajo, se debe colocar un delantal con material muy grueso (no menor a 85 cm de diámetro), por lo que ese material se debe seleccionar previamente en el banco, transportarlo y colocarlo en el sitio especificado por el proyecto; conviene mencionar que se deben supervisar con frecuencia suficiente las longitudes y espesores del material colocado mediante levantamientos batimétricos semanales o quincenales, a fin de verificar el avance de la obra así como los volúmenes de material estimados por el contratista.

Por otro lado, es recomendable que el contratista aproveche la época de estiaje para la construcción de la obra, por lo que deberá contemplar el incremento requerido en sus unidades de transporte y el equipo de colocación del material, para acelerar los trabajos.

MUROS MARGINALES. EQUIPO FLOTANTE. CHALANES CON GRUAS. Y POSICIONAMIENTO DESDE TIERRA.

En caso de que se pudiera contratar una compañía que contará con este equipo y que lo manejará con eficiencia para la construcción de los muros marginales, este sería el método más adecuado y la alternativa más conveniente para resolver los problemas de erosión marginal del Río Usumacinta en Jonuta.

Una vez que los chalanes con equipo propio de carga y descarga montado en uno de ellos llegara al sitio del proyecto, se requiere instalar un sistema de anclaje y posicionamiento eficientes, a fin de que se coloque el material cumpliendo las especificaciones del proyecto ejecutivo.

Con esta metodología se logra colocar el material en los sitios adecuados, reduciendo así los volúmenes de obra, por lo que no se puede llevar a cabo la construcción con métodos no convencionales todavía en nuestro país.

III.4 SELECCION DE LA ALTERNATIVA MAS ADECUADA A LA ZONA EN ESTUDIO

Como se ha venido mencionando en este trabajo, las dos alternativas con factibilidad técnica son la protección marginal con espigones y con muros de enrocamiento, de los cuales en el siguiente cuadro Comparativo se consignan los volúmenes de material necesarios para cubrir la zona afectada por la erosión.

VOLUMENES DE OBRA PARA LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION

| ALTERNATIVA | VOLUMEN EN M3 |
|----------------------|---------------|
| 1. Con espigones | 41 964 |
| 2. Con muro marginal | 46 217 |

En la tabla anterior, se aprecia claramente que la solución con muro marginal tiene apenas un 10% más que la alternativa con espigones de encauzamiento.

Por tal razón, dada la relativamente reducida diferencia de volúmenes entre las alternativas de solución analizadas, y tomando en cuenta las ventajas y desventajas descritas en apartados anteriores, se considera como la más conveniente, la protección marginal con muro longitudinal, por lo tanto se recomienda ésta.

III.5 ANALISIS DE COSTOS DE LAS OBRAS

En este apartado se detalla la estimación del costo de las obras analizadas, a precios de enero de 1988, considerando dos clases de equipo de construcción:

Terrestre, por medio de camiones de volteo, uno o varios tractores para el acomodo del material y si se considera conveniente, una o dos grúas con pluma de 30 metros de alcance, para la colocación del delantal con las rocas más pesadas definidas en el proyecto.

Con equipo flotante, por medio de un tren de chalanes con equipo propio de carga/descarga, transportados por un remolcador, equipo de posicionamiento y de anclaje en tierra, para la colocación del material en las zonas especificadas por el proyecto.

A continuación, se desglosan los conceptos que se consideran de mayor relevancia para integrar el costo total aproximado de las alternativas de solución analizadas.

ALTERNATIVA 1
PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
EQUIPO TERRESTRE, ESPIGONES DE ENCAUZAMIENTO

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|---|--------|----------|--------|----------------------|
| EXTRACCION Y PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO PARA LA CONSTRUCCION DE PROTECCION MARGINAL EN TAMAÑOS DE: | | | | |
| 15 cm (6") de diámetro como mínimo para coraza de las estructuras. | m3 | 41 964 | 15 600 | 654'638 400 |
| CARGA, DESCARGA Y ACARREO AL PRIMER KILOMETRO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | m3 | 41 964 | 700 | 32'731 920 |
| En terraceria | m3 | 41 964 | 867 | 36'382 788 |
| SOBREACARREO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | 797 297 | 346 | 275'864 762 |
| Del km 21 en adelante | m3-km | 2517 780 | 324 | 815'760 720 |
| En terraceria. | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | | 432 | |
| Del km 21 en adelante | m3-km | | 404 | |
| DESPALME Y DESMONTE PARA CAMINO DE ACCESO AL LUGAR DE DEPOSITO DEL MATERIAL EN LA MARGEN DEL CAUCE. | m2 | 5 040 | 910 | 4'586 400 |
| REVESTIMIENTO DE CAMINO DE ACCESO. | m3 | 1 512 | 1 820 | 2'751 840 |
| ACOMODO DEL MATERIAL PARA PROTECCION MARGINAL CON EQUIPO MECANICO. | m3 | 41 964 | 1 378 | 57'826 392 |
| T O T A L | | | | 1 880'543 222 |

ALTERNATIVA 1
 PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
 EQUIPO FLOTANTE, ESPIGONES DE ENCAUZAMIENTO

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|---|----------------|--------|--------|----------------------|
| EXTRACCION, PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO, CARGA A CHALANES, TRANSPORTE POR RIO AL SITIO DEL PROYECTO Y DESCARGA. | m ³ | 41 964 | 33 800 | 1 418'383 200 |
| T O T A L | | | | 1 418'383 200 |

ALTERNATIVA 2
PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
EQUIPO TERRESTRE, MURD MARGINAL

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|---|--------|----------|--------|----------------------|
| EXTRACCION Y PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO PARA LA CONSTRUCCION DE PROTECCION MARGINAL EN TAMANOS DE: | | | | |
| 15 cm (6") de diámetro como mínimo para coraza de las estructuras. | m3 | 46 217 | 15 600 | 720'985 200 |
| CARGA, DESCARGA Y ACARREO AL PRIMER KILOMETRO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | m3 | 41 217 | 780 | 36'049 260 |
| En terracería | m3 | | 867 | |
| SOBREACARREO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | 878 123 | 346 | 303'830 558 |
| Del km 21 en adelante | m3-km | 2773 020 | 324 | 898'458 480 |
| En terracería. | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | | 432 | |
| Del km 21 en adelante | m3-km | | 404 | |
| DESPALME Y DESMONTE PARA CAMINO DE ACCESO AL LUGAR DE DEPOSITO DEL MATERIAL EN LA MARGEN DEL CAUCE. | m2 | 5 040 | 910 | 4'586 400 |
| REVESTIMIENTO DE CAMINO DE ACCESO. | m3 | 1 512 | 1 820 | 2'751 840 |
| ACOMODO DEL MATERIAL PARA PROTECCION MARGINAL CON EQUIPO MECANICO. | m3 | 41 963 | 1 378 | 57'825 014 |
| T O T A L | | | | 2 024'486 752 |

ALTERNATIVA 2
 PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
 EQUIPO FLOTANTE, MURO MARGINAL

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|---|----------------|--------|--------|----------------------|
| EXTRACCION, PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO, CARGA A CHALANES, TRANSPORTE POR RIO AL SITIO DEL PROYECTO Y DESCARGA. | m ³ | 46 217 | 33 800 | 1 562'135 000 |
| T O T A L | | | | 1 562'135 000 |

ALTERNATIVA 3
PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
EQUIPO TERRESTRE, CANALIZACION Y DRAGADO

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|---|--------|----------|--------|-------------|
| EXTRACCION Y PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO PARA LA CONSTRUCCION DE PROTECCION MARGINAL EN TAMAÑOS DE: | | | | |
| 15 cm (6") de diámetro como mínimo para coraza de las estructuras. | m3 | 18 888 | 15 600 | 294'652 800 |
| CARGA, DESCARGA Y ACARREO AL PRIMER KILOMETRO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | m3 | 18 888 | 780 | 14'732 640 |
| En terracería | m3 | | 867 | |
| SOBREACARREO DE MATERIAL DE BANCO EN CAMION DE VOLTEO. | | | | |
| En carretera pavimentada | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | 358 872 | 346 | 124'169 712 |
| Del km 21 en adelante | m3-km | 1133 280 | 324 | 367'182 720 |
| En terracería. | | | | |
| Del km 2 al km 20 | m3-km | | 432 | |
| Del km 21 en adelante | m3-km | | 404 | |
| DESPALME Y DESMONTE PARA CAMINO DE ACCESO AL LUGAR DE DEPOSITO DEL MATERIAL EN LA MARGEN DEL CRUCE. | | | | |
| | m2 | 2 100 | 910 | 1'911 000 |
| REVESTIMIENTO DE CAMINO DE ACCESO. | | | | |
| | m3 | 630 | 1 820 | 1'146 600 |

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|--|--------|--------------|-------|---------------|
| ACOMODO DEL MATERIAL PARA PROTECCION MARGINAL CON EQUIPO MECANICO. | m3 | 18 888 | 1 378 | 26'027 664 |
| EXCAVACION DE MATERIAL II CON MAQUINA PARA FORMACION DE CANAL. | m3 | 960 000 | 4 600 | 4 416'000 000 |
| INDEMNIZACION POR UTILIZACION DE TERRENOS. | ha | 30 1 000 000 | | 30'000 000 |
| T O T A L | | | | 5 245'853 136 |

**ALTERNATIVA 3
 PRECIOS ESTIMADOS A ENERO DE 1988
 EQUIPO FLOTANTE, CANALIZACION Y DRAGADO**

| C O N C E P T O | UNIDAD | CANT. | P. U. | IMPORTE |
|--|--------|--------------|--------|----------------------|
| EXTRACCION, PAGO DE REGALIAS DE MATERIAL DE BANCO, CARGA A CHALANES, TRANSPORTE POR RIO AL SITIO DE LOS TRABAJOS Y DESCARGA. | m3 | 18 800 | 33 800 | 638'414 400 |
| EXCAVACION EN MATERIAL II CON MAQUINA PARA FORMACION DE CANAL. | m3 | 960 000 | 4 600 | 4 416'000 000 |
| INDEMNIZACION POR UTILIZACION DE TERRENOS. | m3 | 30 1'000 000 | | 30'000 000 |
| T O T A L | | | | 5 094'414 400 |

RESUMEN DE COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS ANALIZADAS

J O N U T A

COSTOS EN MILES

| No. | FLETE TERRESTRE | FLETE POR RIO |
|-----|-----------------|---------------|
| 1 | 1'880 543 | 1'418 393 |
| 2 | 2'024 487 | 1'562 135 |
| 3 | 5'245 853 | 5'094 414 |

```

$DEBUG
$STORAGE:2
PROGRAM SECNAT
SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE AREA, PERIMETRO MOJADO, RADIO
HIDRAULICO Y ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE EN SECCIONES DE
RIOS NATURALES
C PD PERIMETRO MOJADO
C AREA AREA
C BO ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE
C RADI RADIO HIDRAULICO
C DIMENSION XS(30),YS(30)
COMMON/S11/JD(100),ZF1(100),ZF2(100),SX(30,100),SY(30,100)
COMMON/FSEC/AREA(100),RADI(100),AN(100)
OPEN(3,FILE="SECCION.DAT")
OPEN(5,FILE="CARAC.PRN")
READ(3,210)NSEC
DO 200 J=1,NSEC
READ(3,220)N,JO(J),ZF1(J),ZF2(J),DZ,S,ENE
WRITE(5,320)N,JO(J),ZF1(J),ZF2(J),DZ,S,ENE
READ(3,230)(SX(I,J),SY(I,J),I=1,JO(J))
TI=NINT(ZF2(J))+DZ
10 TI=TI-DZ
20 SO=0
BO=0
PD=0
DO 30 L=1,JO(J)
XS(L)=SX(L,J)
YS(L)=SY(L,J)
30 CONTINUE
LJ=1
50 DO 60 L=LJ,JO(J)
IF(L.EQ.JO(J))GO TO 140
IF(TI.GE.YS(L+1))GO TO 70
60 CONTINUE
70 LJ=L+1
W1=XS(LJ)-(XS(LJ)-XS(L))/(YS(L)-YS(LJ))* (TI-YS(LJ))
SO=SO+W1*YS(LJ)-XS(LJ)*TI
PD=PD+(((XS(LJ)-W1)**2+(TI-YS(LJ))**2)**#.5
LJJ=JO(J)-1
DO 90 L=LJ,LJJ
L1=L+1
IF(TI-YS(L1))100,120,80
80 SO=SO+XS(L)*YS(L1)-XS(L1)*YS(L)
PD=PD+(((XS(L1)-XS(L))**2+(YS(L1)-YS(L))**2)**#.5
90 CONTINUE
100 LJ=L1
IF(YS(LJ).EQ.YS(L))GO TO 110
N2=XS(LJ)-(XS(LJ)-XS(L))/(YS(LJ)-YS(L))* (YS(LJ)-TI)
GO TO 130
110 N2=XS(LJ)
GO TO 130
120 LJ=L1
N2=XS(LJ)
130 SO=SO+XS(L)*TI-N2*YS(L)
PD=PD+(((N2-XS(L))**2+(TI-YS(L))**2)**#.5

```

```

SD=SD+W2*TI-W1*TI
BD=BD+W2-W1
IF (L.LT.JD(J)) GO TO 50
140 AREA(J)=ABS(SD/2)
PER=PD
RADI(J)=AREA(J)/PER
AN(J)=BD
VEL=RADI(J)**(2./3.)*SQRT(S)/ENE
GASTD=VEL*AREA(J)
WRITE(5,310)TI,PER,AREA(J),RADI(J),AN(J),VEL,GASTD
IF(T1.GT.ZF1(J))GO TO 10
200 CONTINUE
CLOSE(3)
CLOSE(5)
210 FORMAT(3I4)
220 FORMAT(2I5,5F10.0)
230 FORMAT(8F10.0)
310 FORMAT(8F16.3)
320 FORMAT(2I16,5F16.3)
STOP
END

```

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, hidrológicas e hidráulicas prevaletientes en Jonuta así como las características del material del lecho y las márgenes que constituyen el cauce del Río Usumacinta, se concluye lo siguiente:

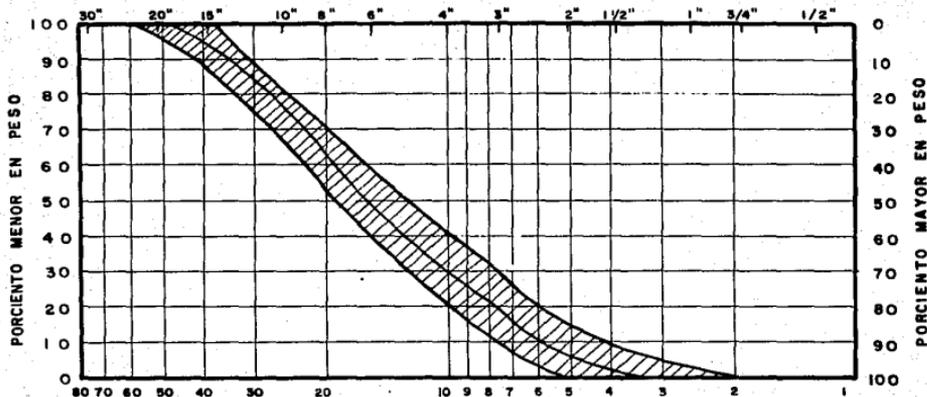
- El proceso erosivo que sufre actualmente la margen derecha del río citado, se debe al flujo helicoidal generado en las partes exteriores de las curvas (meandros), que al incidir en el material de la margen, provoca la falta del talud por socavación al pie del mismo, causando corrimientos laterales del cauce principal, amenazando los asentamientos humanos ubicados en esa zona.
- Las características del material que constituyen el fondo y las márgenes, indican un alto contenido de limos (del orden del 80%) y un reducido contenido de arenas (del orden del 20%), material fácilmente erosionable incluso con velocidades reducidas de la corriente. Este efecto no favorece el crecimiento de la margen si se construyen espigones para tal fin.
- Aunque normalmente los muros longitudinales son obras más costosas que los espigones en igualdad de condiciones, se ha mencionado ya en otros apartados de este estudio que los primeros fijan en forma definitiva la margen en la que se apoyan, si se construye bien el delantal de protección y se coloca el material conforme al proyecto, además de que no producen efectos "secundarios" aguas abajo de la zona en que se ubican.
- Finalmente se recomienda la construcción de una solución combinada, debido a que en la entrada de la zona por proteger la pendiente de la margen del río es muy reducida y la construcción de un muro marginal requiere que este se extienda hasta la mitad del cauce, del orden de 80 m, por lo que en esta zona se sustituye por cuatro espigones y en lo demás se conserva el muro marginal, con lo que se puede detener la erosión en los lugares protegidos, donde se encuentra actualmente.

- Aparentemente, el costo de construcción con equipo flotante (tren de chalanes transportados por un remolcador) resulta menor que con el equipo terrestre tradicional (camiones a volteo y un tractor para el acomodo del material), por lo que resulta conveniente analizar la factibilidad de contratar una constructora local con el equipo y experiencia en ese aspecto.

La construcción de la protección marginal puede empezar tanto aguas arriba como aguas abajo pero conviene iniciarla, en este caso, desde aguas arriba para que no sea cubierta por el material del fondo si se hace al revés y no se pueda supervisar con buzos. Sin embargo, la protección marginal debe avanzar del extremo de la carpeta hacia la margen del río.

El material para la construcción del muro marginal y para los espigones debe tener un diámetro mínimo de 15 cm para que no sea susceptible de ser arrastrado, sin embargo esto requiere de la colocación de un filtro que confine el material existente, y evite su segregación, esto llevaría a la situación de colocar dos capas de material de diferentes características que deberían tener por las condicionantes constructivas un mínimo de 75 cm de espesor, es decir 150 cm totales. Por cuestiones de economía es conveniente colocar solo en una etapa el material en una capa de 150 cm pero conteniendo materiales finos que funcionen como filtro en la parte inferior de la capa y que al ser arrastrados en la parte superior dejen al material de mayor tamaño formando una coraza al material de filtro, en la figura IV.1.1 se muestra la granulometría recomendada.

El material nativo de los márgenes presenta taludes verticales de hasta 7 m por encima de la superficie del agua que se puede asegurar que este material tiene una cohesión del orden de 3.0 ton/m² que permite estos taludes, después de un análisis de estabilidad, se encontró que es posible colocar el material con talud de 2:1, pero debido a la incertidumbre del proceso constructivo, se recomienda tenderlo a un talud 2.5:1, que proporcione un margen de seguridad en su colocación.



GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

° La curva granulométrica del material por colocar deberá estar en la zona ashurada.

FIG. IV. I

IV.2 RECOMENDACIONES

IV.2.1 Protecciones Marginales

En la protección marginal conviene colocar el material desde un chalán utilizando una grúa, o equipo impulsador que deposite el material a fondo perdido, en forma vertical, mediante el posicionamiento en cuadrícula.

La posición del chalán, durante la construcción, deberá fijarse con precisión y llevar un control cuidadoso de los volúmenes vaciados en cada posición para tener la garantía de que se ha colocado enrocamiento en toda la superficie que debe ser cubierta por la protección. Si una zona de la protección no queda cubierta con enrocamiento se puede producir una falla de consideración en la protección; sobre todo porque cuando esa falla se aprecie en la superficie, ya habrá alcanzado su máxima dimensión.

La falla de un espigón se nota de inmediato en la zona del mismo que sobresale del agua. En cambio, una falla de una protección marginal se nota en la superficie cuando ya una parte completa ha fallado, por lo que será necesario, realizar inspecciones periódicas mediante el levantamiento de secciones de la zona protegida.

Si no se cuenta con una compañía constructora con experiencia y que garantice su construcción, conviene construir espigones en lugar de la protección marginal.

La construcción de los espigones deberá iniciarse de aguas arriba hacia aguas abajo.

IV.2.2 Espigones

Este tipo de protección no fija en forma completa la orilla, por lo que esta sufrirá erosiones locales hasta alcanzar su estado de equilibrio.

Las obras van a sufrir erosión en su extremo, por lo que en los primeros tres años se tiene que reconstruir el espigón hasta su longitud de diseño.

Proteger el pie del talud con roca colocada con grúa con un volumen promedio que alcance un espesor de 2.5 veces de diámetro de la roca recomendado.

La construcción debe avanzar con suficiente rapidez para evitar que la socavación local en el extremo del avance eleve considerablemente el volumen de roca a fondo perdido.

Si algún espigón sufre erosión en el arranque, de inmediato se debe colocar roca en la margen, en la zona hacia aguas arriba en los primeros 15 metros.

Para una solución más conveniente, se debe construir un espigón intermedio hacia aguas arriba.

Durante la etapa constructiva se permite utilizar rezaga; esta práctica se suspenderá 10 metros antes de llegar a la longitud de proyecto.

Se recomienda la construcción de los espigones iniciando en el extremo de aguas arriba.

La corona de los espigones debe tener pendiente uniforme hacia el río, desde la elevación de la margen en el arranque, hasta 50 cm arriba del nivel del agua en el extremo en el momento de la construcción.

Se construirán de enrocamiento colocado por camiones que entren al espigón en reversa y vacien el material al final del avance que se tenga en cada viaje. Ese material deberá ser empujado hacia el río por medio de un tractor.

El material se colocará a fondo perdido. Para reducir el volumen en exceso a colocar en cada espigón, sobre el volumen de proyecto deberá de avanzarse rápidamente la construcción. Téngase en cuenta que en el extremo de cada espigón habrá erosión en el fondo. Esa erosión depende entre otros factores de la velocidad de la corriente y del tiempo transcurrido. Por ello el tiempo de construcción debe ser mínimo para que la erosión no progrese en cada etapa del avance del espigón.

El incremento adicional de enrocamiento por colocar, por el efecto anterior, normalmente cuesta menos que el colocar una carpeta previa de enrocamiento en la planta base del espigón. Este puede ser analizado y tenido en cuenta por algún constatrta competente.

El talud de los espigones construido colocando el material a volteo será igual al talud de reposo del material, aproximadamente 37° a 39° . Por esto, los espigones sufrirán derrumbes y falla aparente, sobre todo durante el paso de la primera época de avenidas. Esta falla aparente será mayor en el extremo del espigón ya que además ahí se produce una erosión del fondo del cauce y parte del material de la obra pasará a rellenar parcialmente el hoyo que se forme. Por este motivo, al final de la primera época de avenidas se deberán reconstruir los espigones. Esta reconstrucción podrá ser necesaria también en los siguientes dos estiajes, pero en cada uno de ellos el volumen de material por colocar será menor cada vez.

Se ha considerado que podría ser necesario hasta un 30% adicional de material por colocar para reparaciones, el cual se ha tenido en cuenta en el costo del proyecto.

Si un espigón es erosionado en su arranque y por tanto hay un retroceso de la margen, deberá en el siguiente estiaje, unirse nuevamente la margen con el espigón.

Si por la dirección de la corriente se nota erosión en el arranque de un espigón y la separación no se ha producido, se deberá colocar enrocamiento en ese arranque y prolongarlo en forma de protección marginal hacia aguas arriba hasta cubrir la zona atacada.

V. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

1. OBTENCION, TRANSPORTE Y COLOCACION DE ROCA PARA LA PROTECCION MARGINAL.

Por el precio unitario estipulado para este concepto, el contratista deberá ejecutar los siguientes trabajos:

1.1 Obtención de la roca en el banco Tulijá, adquiriendo la misma mediante el pago de las regalías correspondientes.

Si el Gobierno del Estado así lo desea, negociará directamente las regalías del banco y podrá ordenar su pago al contratista, en cuyo caso se le cubrirá al contratista el financiamiento a la tasa bancaria y un 10% por administración o pagarlo directamente.

Esta adquisición NO formará parte del precio unitario ya que las regalías, incluyendo la carga serán negociadas como se indicó anteriormente.

1.2 Transporte de la roca al sitio.

El transporte de la roca al sitio se considerará como una actividad global, no se desglosará en kilómetros ni se establecerá equipo ni camino a seguir.

El contratista puede elegir el medio de transporte que desee pero deberá presentar una descripción detallada del mismo, su tamaño y capacidad, junto con el análisis de su costo, incluyendo todas las maniobras que requiera a partir de la carga que estará incluida en las regalías.

1.3 Colocación.

De acuerdo con el método de transporte elegido y a continuación de él, el contratista deberá desglosar sus actividades para la colocación, en el sitio indicado por

el proyecto. de la roca en la cantidad, en toneladas, que se requiera.

Para la colocación podrán utilizarse chalanes y descargarse la roca, posicionando los mismos mediante una cuadrícula en que se establezcan las toneladas por colocar en cada posición, descargando la roca a fondo perdido.

La colocación se iniciará desde el extremo aguas arriba de la zona por proteger, avanzando desde la parte más alejada y hacia la ribera del río, en trayectorias paralelas a la dirección del río.

El análisis del precio debe considerar todas las maniobras y tiempos para la colocación ordenada de la roca.

1.4 Roca.

La roca, producto de la explotación del banco deberá contener de todos los tamaños, con la granulometría y tolerancias indicadas a continuación:

| TAMAÑO * | ESPECIFICACION | TOLERANCIA |
|-----------------|----------------|------------|
| Menor de 50 cm | 100% | - 5 % |
| Menor de 15 cm | 50% | ± 10 % |
| Menor de 7.5 cm | 20% | ± 10 % |

* El tamaño se refiere al lado mayor

1.5 Medición

El equipo de transporte en el banco, pasará a la báscula que para el efecto se dispondrá, donde se obtendrá boleto certificando tonelaje total, de ahí deducido el peso del vehículo, se definirá el peso de roca que sale del banco.

El contratista, de acuerdo con el procedimiento de transporte escogido, propondrá el lugar de verificación y recepción del tonelaje de roca dispuesta en el sitio para su colocación, con apoyo en el pesado inicial.

La medición será en toneladas, con aproximación de una decimal.

1.6 Pago

El pago se hará al precio establecido por tonelada, con aproximación de una decimal de roca debidamente colocada en el sitio con el orden y de acuerdo a lo estipulado en el proyecto y en el procedimiento de construcción propuesto por el contratista y aprobado por el Gobierno del Estado.

2. TERRACERIAS.

Recorte de los suelos para abatir el talúd de la margen derecha del río.

Por el precio unitario estipulado para este concepto el contratista deberá ejecutar los siguientes trabajos:

2.1 Acondicionar el acceso de sus equipos a la obra por los sitios y con los límites que le indique el Gobierno del Estado, evitando daños a los propietarios de los predios.

2.2 Recorte.

Recortar, de acuerdo a proyecto, la margen derecha del río tanto arriba como abajo del nivel del agua, utilizando el equipo que permita la correcta ejecución de este trabajo, incluyendo la disposición del producto del recorte hacia el cauce del río.

2.3 Procedimiento.

El recorte deberá iniciarse del punto máximo aguas arriba que contemple el proyecto y se avanzará, sin dejar tramos intermedios hacia aguas abajo. Esto puede dificultar los accesos.

Este trabajo se realizará con un programa tal que permita que la zona recortada sea cubierta en un plazo no mayor de ocho días con la protección de roca.

2.4 Medición y Tolerancia.

El volumen recortado se determinará en metros cúbicos, por el método de "áreas extremas" obtenidas mediante el seccionamiento previo y posterior a la ejecución del trabajo, con 10 m de equidistancia.

Dicho seccionamiento se realizará en un plazo no mayor de cinco días antes y después de la ejecución del trabajo, no se considerará para efectos de pago, en las secciones posteriores a la ejecución del trabajo, aquellas áreas que se excedan respecto al corte de proyecto en más de 20 cm.

Cuando existan zonas generalizadas, que se detecten en dos o más secciones consecutivas, donde el recorte sea menor al indicado en proyecto, en más de 20 cm, se ordenará el afine de la excavación, sin que esto genere pago adicional.

2.5 Pago.

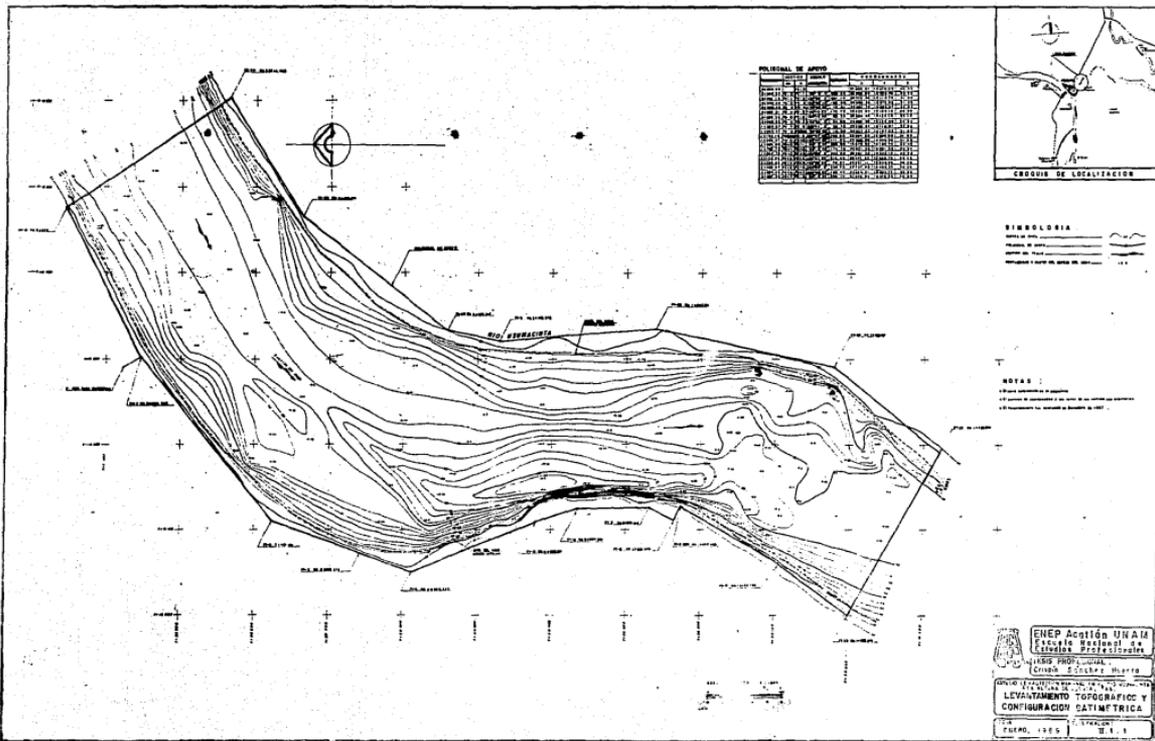
El pago de el "recorte para abatir el talúd de la margen derecha del río" se hará al precio establecido por "metro cúbico", sin decimales, del volumen ejecutado, de acuerdo al proyecto y especificaciones, por el contratista y aprobado por el Gobierno del Estado.

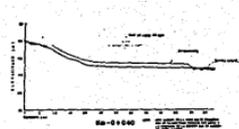
BIBLIOGRAFIA

1. Boletín Hidrológico No. 41, Región Hidrológica No. 30, México 1970 (Vol. I) y 1975 (Vol. II), con datos hasta Diciembre de 1969 (Vol. I) y para el periodo 1970-1973 (Vol. II), Secretaría de Recursos Hidráulicos.
2. Normales Climatológicas, periodo 1941-1970, Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1982.
3. Principle of River Engineering, The Non-Tidal Alluvial River, by L. Van Bendegom, HNC Breusers, A. Prins, M. de Vries, Pitman Publishing Limited, London, 1979.
4. Introduction to River Engineering by Prof. José Antonio Masa A., División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, Abril de 1987, Documento D-71.

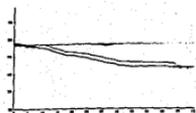
RELACION DE PLANOS

| NOMBRE DEL PLANO | CLASIFICACION |
|--|---------------|
| Levantamiento Topográfico y Configuración Batimétrica | II.1.1 |
| Alternativa de Solución 1 Espigones de Encauzamiento | III.3.1 |
| Alternativa de Solución 2 Muros Marginales de Enrocamiento | III.3.2.1 |
| Secciones de Construcción Alternativa 2 (Seleccionada) | III.3.2.2 |
| Alternativa de Solución 3 Canalización y Dragado | III.3.3 |

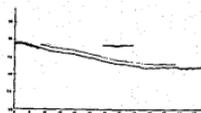




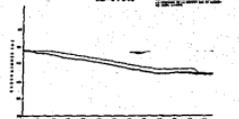
Km 0+000



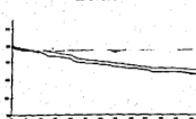
Km 0+200



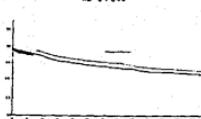
Km 0+400



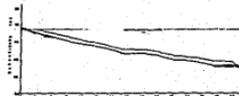
Km 0+600



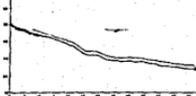
Km 0+800



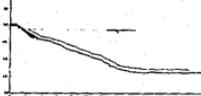
Km 1+000



Km 1+200



Km 1+400



Km 1+600



Km 1+800



Km 2+000



Km 2+200



Km 2+400



Km 2+600

ESCALA HOR 1:250
VER 1:250



LOCALIZACION DE SECCIONES

NOTAS

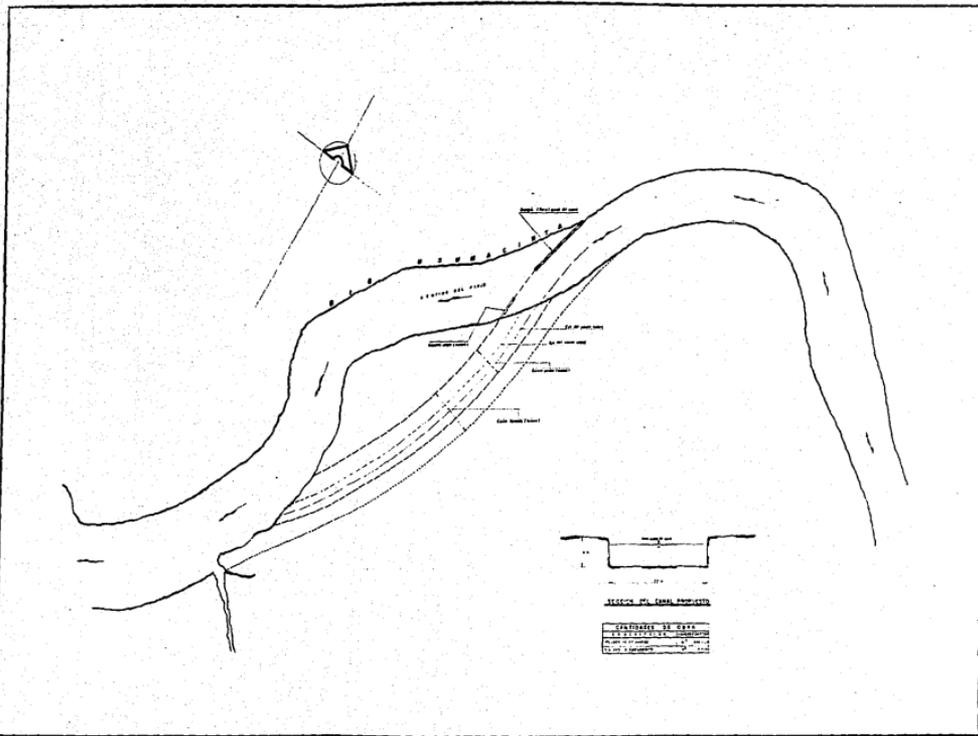
- 1. Sección de construcción.
- 2. Sección real.
- 3. Sección de construcción.
- 4. Sección real.
- 5. Sección de construcción.
- 6. Sección real.
- 7. Sección de construcción.
- 8. Sección real.
- 9. Sección de construcción.
- 10. Sección real.
- 11. Sección de construcción.
- 12. Sección real.



UNEP Acción UNAM
Escuela Nacional de
Estudios Profesionales
CARRERA PROFESIONAL:
Crisis SANCHEZ MARTIN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
SECCIONES DE CONSTRUCCION
ALTERNATIVA 2 (SELECCIONADA)

FECHA: 1969
DISEÑADOR:
M. S. R. R.



- NOTAS
1. Sección del canal proyectado.
 2. Sección del canal existente.
 3. Línea de riego proyectada.
 4. Línea de riego existente.
 5. Línea de riego de reserva.
 6. Línea de riego de reserva.
 7. Línea de riego de reserva.
 8. Línea de riego de reserva.
 9. Línea de riego de reserva.
 10. Línea de riego de reserva.

Escala: 1:1000

ESTADÍSTICA DE OBRAS

| | |
|--------------------------|-----|
| Nombre del Proyecto | ... |
| Fecha de Ejecución | ... |
| Valor de la Obra | ... |
| Valor de los Materiales | ... |
| Valor de la Mano de Obra | ... |

INTEP Acción UNAM
Escuela Nacional de Estudios Superiores
Instituto de Ingeniería
Cuerpo Técnico de Ingeniería

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN 3
CANALIZACIÓN Y DRAGADO

ENCAD. 1989 III. B. 3