

59  
Lej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ELABORACION DE ESTUDIOS DE  
NAVEGABILIDAD EN EL SURESTE DE  
MEXICO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
NIDYA ITZE PECH RODRIGUEZ



DIRECTOR DE TESIS: M. en S. JOAQUIN REBUelta GUTIERREZ

MEXICO, D. F.

1999.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

275/103



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-010/98

Señorita  
**NIDYA ITZE PECH RODRIGUEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. en S. **JOAQUIN REBUelta GUTIERREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**

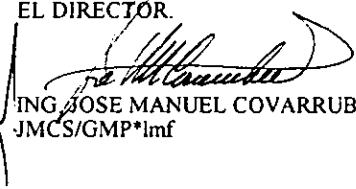
**"ELABORACION DE ESTUDIOS DE NAVEGABILIDAD EN EL SURESTE DE MEXICO"**

- I. INTRODUCCION**
- II. ASPECTOS GENERALES**
- III. ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS**
- IV. ELABORACION DE ESTUDIOS HIDROLOGICOS**
- V. ANTEPROYECTO DE OBRAS**
- VI. ANALISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE**
- VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 23 de enero de 1998.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*lmf

Dedico esta tesis:

Con mucho amor y respeto a mi mamá **Dolores Rodríguez Avilés** y a mi abuelita **Luz Avilés Soria**, por todo el esfuerzo, amor y dedicación que me han brindado a lo largo de mi vida. Sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

Con cariño a mi hermana **Liliana García Rodríguez**, por su amor, ternura y comprensión.

A

**Hortensia Rodríguez Avilés**  
**Miguel Angel García López**  
**Miguel Angel Rodríguez Avilés**

por todo el cariño, apoyo y ayuda incondicional que me han brindado en los momentos más importantes de mi vida.

A mi abuelito

**Felipe Rodríguez Morroy**

por su esfuerzo de toda la vida por sacar adelante a mi familia.

A

**Ricardo E. Mendoza Rodríguez**

por la hermandad que existe entre nosotros, por su apoyo, cariño y compañía que me ha brindado siempre.

A

**José Carlos Díaz Garcíafigueroa**

por su amor, comprensión y presencia en el momento preciso. Gracias por estar en mi vida.

Agradezco sinceramente a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, a la **Facultad de Ingeniería** y a la **Fundación UNAM**, por abrirme sus puertas y depositar en mí la confianza necesaria para no defraudarlos.

Con respeto y admiración a:

**M. en I. Adriana Cafaggi Félix**  
**M. en S. Joaquín Rebuelta Gutiérrez**

por su ayuda y colaboración durante mis estudios y elaboración de este trabajo.

A mis tíos y primos.

Sin olvidar a mis amigos, compañeros y profesores que me han acompañado a lo largo de mi vida.

Gracias Dios, por brindarme la dicha de estar aquí.

# ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE NAVEGABILIDAD EN EL SURESTE DE MÉXICO

## INDICE

	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>3</b>
	1.1 Navegación Fluvial.....	3
	1.2 Requisitos de las vías navegables.....	6
	1.2.1 Embarcaciones Fluviales.....	7
	1.3 Sistemas de Navegación Fluvial en México.....	9
<b>2.</b>	<b>ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS.....</b>	<b>12</b>
	2.1 Infraestructura de la zona.....	16
	2.2 Características sociales y económicas.....	26
<b>3.</b>	<b>ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>29</b>
	3.1 Información Morfológica.....	29
	3.1.1 Clasificación de Ríos.....	29
	3.1.2 Características Físicas.....	33
	3.1.3 Meandros.....	36
	3.1.3.1 Parámetros principales.....	37
	3.1.3.2 Cortes y Cauce piloto.....	38
	3.1.4 Curvas.....	40
	3.1.4.1 Tirante en las curvas.....	40
	3.1.4.2 Flujo helicoidal en curvas.....	40
	3.1.4.3 Erosión y depósito en curvas.....	41
	3.1.5 Transiciones.....	41
	3.1.6 Abanicos Aluviales.....	41
	3.1.7 Deltas.....	42
	3.2 Información Hidrológica e Hidrométrica.....	43
	3.2.1 Escurrimiento.....	48
	3.2.1.1 Aforo.....	48
	3.2.1.2 Curvas Elevaciones - Gastos.....	52
	3.2.2 Infiltración.....	52
	3.3 Análisis del Tránsito de Avenidas.....	53
	3.3.1 Tránsito de Avenidas en Cauces.....	55
	3.3.2 Cálculo de Tirantes e Hidrogramas.....	57
	3.3.3 Método de Muskingum.....	60
	3.4 Información Topográfica y Topohidráulica.....	62

---

<b>4.</b>	<b>ANTEPROYECTO DE OBRAS.....</b>	<b>64</b>
	4.1 Métodos para establecer algunos sistemas de navegación.....	64
	4.1.1 Canal Abierto.....	65
	4.1.1.1 Vasos.....	65
	4.1.1.2 Dragado.....	65
	4.1.1.3 Trabajos de Acortamiento.....	66
	4.1.1.4 Reforzamiento y Estabilización de bancos....	67
	4.1.1.5 Rectificación y Alineamiento.....	68
	4.1.1.6 Eliminación de obstáculos.....	69
	4.1.2 Presas y esclusas.....	69
	4.1.2.1 Presas para la navegación.....	69
	4.1.2.2 Esclusas.....	78
	4.2 Obras de Encauzamiento.....	83
	4.2.1 Espigones.....	83
	4.2.2 Muros Longitudinales.....	93
	4.2.3 Diques y Espolones.....	102
	4.2.3.1 Diques.....	102
	4.2.3.2 Espolones.....	103
	4.3 Rectificación de Cauces.....	104
	4.4 Muelles y Atracaderos.....	108
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....</b>	<b>114</b>
	5.1 Noción de Complementariedad en el Transporte.....	115
	5.1.1 Transportes.....	115
	5.1.2 Modalidades de Transporte.....	116
	5.1.3 Sistemas de Transporte.....	117
	5.1.4 Complementariedad y Coordinación.....	118
	5.1.5 Política de Transportes.....	119
	5.1.6 Tipología de los Proyectos de Transporte.....	121
	5.1.7 Análisis Económico.....	123
	5.2 Impacto del Transporte Carretero en el Sistema Fluvial.....	125
	5.3 Impacto del Transporte Ferroviario en el Sistema Fluvial.....	126
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>134</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>145</b>

---

## INTRODUCCIÓN

Desde tiempos muy remotos el hombre buscó lugares donde asentarse de manera permanente, esto estaba en función de donde encontrara los recursos básicos para su supervivencia, uno de estos recursos sino es que el más importante es el agua. Así, las culturas antiguas se establecieron en su mayoría cerca de una fuente de abastecimiento hidráulico. Al iniciar su vida de manera sedentaria, el hombre se enfrentó a los problemas que originaba el vivir cerca de un río, lago o mar, siendo así que inició la búsqueda de soluciones a los problemas que le surgían; de esta manera empezó la historia de la hidráulica. Al irse incrementando el número de poblaciones circundantes y que empezó la actividad de intercambio de mercancías, fué donde el hombre comenzó a utilizar estos medios como vía de transporte, además de que les permitía descubrir nuevos terrenos y tener fácil acceso a ciertas zonas.

Pero de nuevo el hombre encontró ciertos inconvenientes en utilizar los ríos, lagos y mares como vía única de transporte pues existían zonas a las que no se llegaba tan fácilmente por medio de estas fuentes, por lo que se recurrió a nuevos sistemas de transporte como el carretero y años después al ferroviario.

Sin embargo la gran ventaja del transporte fluvial fué y es, la capacidad de transportar cargas pesadas a costos muy bajos y mientras no se tuvo la infraestructura necesaria en los sistemas carretero y ferroviario, la transportación fluvial era la que ocupaba el primer lugar en su utilización.

México cuenta con una gran cantidad de cuerpos de agua posibles de navegar, la mayor concentración de estos se encuentra en el Sureste de nuestro país, es por eso que este trabajo está referido a esa zona, en especial al Estado de Tabasco donde se encuentran dos de los más grandes ríos de nuestra República, que a su vez cuentan con grandes longitudes posibles de navegar; el Río Usumacinta y el Río Grijalva.

Dentro de estas zonas, cierto es que se ha utilizado la transportación por vía fluvial desde tiempos muy remotos, sin embargo en la actualidad la navegación en ríos no ha presentado gran desarrollo como medio de transporte debido a la situación del país y en cierto modo al desarrollo de los demás sistemas de transporte que ha provocado que los encargados del estudio de los sistemas de transporte como tales, no pongan el interés suficiente en el desarrollo de este medio.

Si hacemos un análisis del estado actual del país en cuanto a cantidad de cuerpos de agua, la geografía y su comercio (nacional e internacional), nos damos cuenta de que el desarrollo en los diferentes sistemas de transporte, es importante para un incremento en los sectores de producción, ya que estos a su vez provocan una mejoría en la economía nacional, por lo que el estudio, análisis y construcción de obras para la navegación fluvial resulta una de las más importantes tareas para el Ingeniero Civil que es el principal encargado del desarrollo de la infraestructura de la nación.

Dentro del primer capítulo de este trabajo se presenta una breve historia de la navegación fluvial, conceptos básicos de las vías navegables y embarcaciones fluviales, así como los requisitos de un río para utilizarlo como vía navegable, al final de esta primera parte se presenta un panorama general de los principales ríos en la República susceptibles a la navegación y particularmente el caso del estado de Tabasco.

Como segundo capítulo se presentan aspectos socioeconómicos a considerar y evaluar en la selección de los tramos factibles a la navegación y de las obras a construir para el mismo objetivo, así como una serie de datos que nos permiten tener un panorama general del estado de Tabasco en cuanto a infraestructura, aspectos sociales y económicos, estos datos son particulares del estado en cuestión y la obtención y análisis de los mismos es una parte importante en el estudio que nos compete.

El capítulo tercero menciona los conceptos y métodos en cuanto a la elaboración de estudios hidrológicos, se presentan características generales de los ríos, conceptos básicos de la hidrología que debemos de tener en cuenta para elaborar un estudio más completo de los cauces, así también se mencionan los datos requeridos en cuanto a topografía y topohidráulica de la zona y la forma de obtenerlos, por último, se explica uno de los métodos utilizados en estudios de navegabilidad y la obtención de los datos que se requieren para la utilización del mismo.

En el capítulo cuarto se describen los métodos para la obtención de la navegabilidad, así como de las estructuras existentes para la mejoría de los cauces, se explican los procedimientos de cálculo y se especifican las características principales de cada una de las estructuras para saber en que caso se utilizan, también se mencionan los materiales de los que se pueden construir, lo que nos da otro aspecto a considerar en la selección del tipo de obra y método de mejoramiento.

Por último en el capítulo quinto se explican los conceptos básicos en el establecimiento de un sistema completo de transporte, entiéndase por este el que hace complementarios a los sistemas ferroviario, carretero y fluvial, se menciona la importancia de hacer que un sistema por si solo funcione en condiciones óptimas y paralelas que los otros sistemas, para poder brindar un mejor servicio y estimular el desarrollo en este sector.

Así, este trabajo presenta las condiciones, estudios, métodos, conceptos y alternativas a considerar en la elaboración de estudios de navegabilidad. Cabe mencionar que los estudios de costos, aspectos financieros y factibilidad del establecimiento de este tipo de obras, es correspondiente a otro trabajo de investigación realizado anteriormente por mi compañero Carlos Galindo Fraga, quien considera los aspectos ya mencionados.



## 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 Navegación Fluvial

Guglielmini es uno de los científicos que en el año de 1697 publicó la obra: Della natura de' fiumi que se traduce como "La naturaleza de los ríos, es el primer tratado y el único en su género durante más de dos siglos dedicado exclusivamente a la hidráulica fluvial. En 1955 un científico llamado Serge Leliavsky publicó su obra titulada "An introduction to fluvial hydraulics", esta vez el libro contenía más información y estudios con respecto a la navegación fluvial en comparación con el de Guglielmini; de aquí la hidráulica fluvial nació y entró a formar parte como asignatura específica en carreras de ingeniería civil.

En el tratado de Guglielmini se mencionan como aspectos relevantes con respecto al comportamiento de los cauces, ocho reglas principales que se resumen como sigue:

1. El agua al iniciar su recorrido va acelerándose, pero poco a poco se reduce el movimiento uniforme debido a las resistencias que encuentra en su avance, como son la pendiente, las grandes desigualdades de los fondos, los obstáculos laterales en las riberas, las tortuosidades de los ríos entre otros.
2. Cuando se presenta una velocidad uniforme, esta varía de manera proporcional a la pendiente siendo así que, cuanto mayor es la pendiente mayor es la velocidad.
3. Cuando por el río corre más agua, está adquiere una mayor velocidad.
4. Si el desarrollo de la corriente presenta un angostamiento que provoque que el tirante crezca, se provoca a su vez que la misma se acelere.
5. Si en el cauce se presenta un ensanchamiento que provoque una caída de nivel brusca, también se provoca una aceleración.
6. Si la corriente a lo largo de su transcurso se refrena y eleva su tirante por la presencia de obstáculos o de un cambio de pendiente, tiende a adquirir su velocidad y nivel anteriores; pero si los obstáculos continúan, nunca alcanzará un movimiento perfectamente uniforme.
7. La velocidad depende de la pendiente del cauce y del tirante; más de la primera, si ésta es fuerte, y más del segundo, si éste es reducido; a veces la pendiente de fondo controla la velocidad de la parte superior de la corriente y el tirante la velocidad de la parte inferior.
8. En una sección transversal del río las velocidades varían de un punto a otro, resultando mayores en los sitios más alejados del fondo y las márgenes, y menores en los más cercanos.

Con las anteriores reglas nos damos cuenta que desde aquellos tiempos tenían bastante clara la relación que existe entre las características físicas e hidráulicas de un cauce. En este

tratado, además se mencionan aspectos relacionados con el fenómeno de la erosión pues para Guglielmini era muy claro que éste fenómeno era causa de una fuerza de desgaste mayor a la fuerza de resistencia del material que forma el lecho del río, es un hecho que el cauce no se socava y profundiza de manera continua a lo largo del tiempo, si no que en el desarrollo de la corriente la fuerza del agua se debilita y la del material se aumenta hasta llegar a un punto de equilibrio que disminuye el proceso de erosión.

Junto con esto también deduce que el fondo y ancho del cauce son resultado de procesos naturales pero en combinación con causas actuantes exteriores se afectan las características resistentes y muy difícilmente el río vuelve a su estado inicial, así, es importante la participación del hombre en las modificaciones de los cauces, por lo que resulta otro reto para poder obtener de la naturaleza condiciones óptimas para el desarrollo del hombre.

El tratado de Guglielmini es también importante debido a las ideas propuestas y ejemplificadas, acerca de obras de control y esclusas, que se dibujaban para un mejor entendimiento en el funcionamiento de estas; como veremos más adelante, estas son de las obras que facilitan en gran parte a la navegación.

Por ejemplo, en la figura 1.1.1 se muestra una obra de control, ubicada en los alrededores de Italia que se utilizaba para regular los intercambios de agua entre el Reno y el Po; se pueden apreciar los arcos que comunican al canal con el río y las compuertas de agujas, las cuales se mueven por medio de ruedas laterales que funcionan al igual que un malacate.

En la figura 1.1.2 se presenta la obra de derivación sobre el Río Reno a tres millas de Bolonia donde también existía una esclusa cuyo objeto era permitir que las embarcaciones salvaran el desnivel entre dos tramos a diferentes niveles. Estas obras eran causa de análisis para Guglielmini por lo que los problemas a resolver en la actualidad para lograr tramos navegables son problemas que desde épocas anteriores eran un reto para los hidráulicos de aquel entonces, por lo que se deduce que no existen prototipos o modelos que se puedan aplicar de manera general, siendo así que para cada caso es necesario un estudio de condiciones y características particulares del cauce y su entorno.

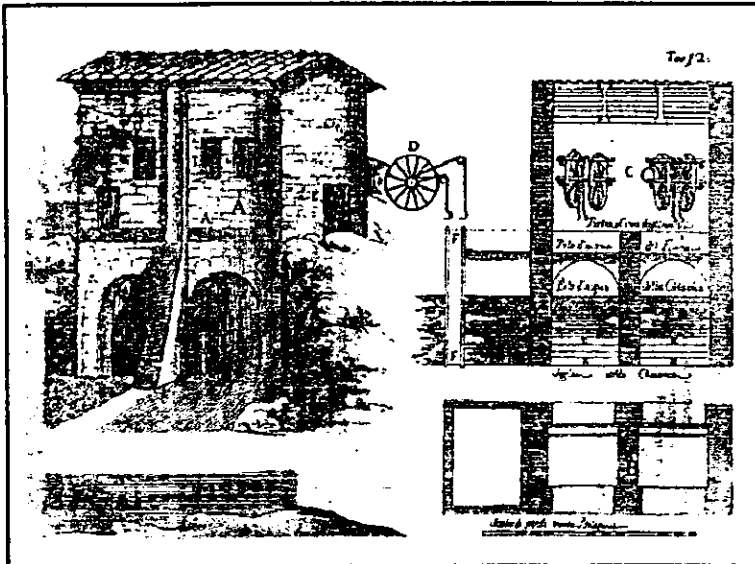


FIG 1.1.1. A) muestra su aspecto exterior, B) su planta y C) su corte vertical.



FIG 1.1.2. Esclusa a las orillas de Bolonia

## 1.2 Requisitos de las vías navegables

La *navegación fluvial* como mayor ventaja, presenta el movimiento de cargas muy pesadas y grandes volúmenes, sin embargo los ríos en la mayoría de los casos, no resultan del todo ideales para el paso de las grandes embarcaciones pues sus características físicas e hidráulicas tales como bancos de arena, obstáculos y zonas de grandes velocidades hacen necesario que en los tramos donde se imposibilita la navegación se haga uso de otro medio de transporte, lo que aumenta el costo del transporte en gran medida.

Resultaba necesario un medio de transporte para grandes cantidades de materiales pesados (acero, hierro, petróleo, materiales granulares y automóviles) a costos bajos, lo que propició el desarrollo de los estudios para hacer una corriente navegable en la mayoría de su longitud.

Como medio de transporte, la navegación fluvial es una de las mejores opciones para el movimiento de cargas con las características mencionadas, pero presenta ciertos inconvenientes, tales como el tiempo de recorrido, además de las limitaciones geográficas que impiden a los cauces no dar acceso a muchas zonas, por lo que los estudios previos para hacer una vía navegable son necesarios y determinantes en la decisión de establecer una corriente como método de transporte.

Dentro de todos los factores que intervienen en el establecimiento de una vía navegable existen los de carácter físico, que a su vez intervienen en el costo de las obras y del mismo medio de transporte, los factores físicos más importantes son: la profundidad de cauce, el ancho y su alineación, por otro lado están la velocidad de la corriente y las instalaciones terminales.

Otro factor que interviene en el costo que a su vez depende de los factores mencionados es el tiempo pues sabemos que costos bajos son resultado de tiempos cortos, así como del movimiento de grandes volúmenes.

Un sistema de navegación como medio de transporte presenta un costo total por viaje que es igual a la suma de costos de combustible, salarios y mantenimiento, así como gastos de operación, este costo total depende a su vez de la distancia recorrida ( $\$/ \text{Volumen} / \text{Tiempo}$ ). Para el cálculo de estos costos de transporte, es indispensable fijar la profundidad, ancho y alineamiento de la corriente así como determinar el mejoramiento necesario y es recomendable una evaluación posterior que evalúe costos y beneficios obtenidos a partir de las instalaciones que se hallan construido si es el caso.

Además de lo ya mencionado existen tres aspectos de más importancia en una vía navegable: las características dinámicas de las embarcaciones, las características hidráulicas y geométricas que debe tener el cauce y por último los componentes principales y funcionamiento de las obras civiles.

Con respecto a las características hidráulicas y geométricas cabe mencionar que en las secciones altas de los ríos, las principales dificultades se encuentran en las irregularidades del escurrimiento debidas a inundaciones en la estación de lluvias y la baja de las aguas en los periodos de estiaje; la velocidad de corriente excesiva; la inestabilidad de canales; la formación de bajos o barras y pozas.

En las secciones altas de los ríos se forman una serie de saltos, que es el método de la naturaleza para controlar la velocidad del agua; cuando se alcanza determinada velocidad, la corriente cava en el fondo y forma una poza, destruyendo así su propia fuerza.

Es recomendable tener en cuenta que el Ingeniero interfiere en el comportamiento del río introduciendo nuevas condiciones, por lo que se debe tener cuidado que los cambios que seguramente ocurrirán, considerando considerar que los trabajos locales tienen efectos en otras partes del río.

Las necesidades de mejoramiento de ríos pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) aumento de la profundidad para navegación;
- b) prevención de inundaciones;
- c) protección y estabilización de tierras;
- d) irrigación;
- e) aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

Desde el punto de vista de la navegación, que es el que en este momento nos interesa, podrán considerarse tres principales problemas por resolver: un cauce inestable y cambiante; un lecho amplio y poco profundo, aún en el canal principal; y una barra en la boca del río.

Otro aspecto importante en el diseño de vías navegables, son las embarcaciones, ya que su tamaño es la limitante para el volumen que se quiera transportar, pero a su vez las dimensiones del barco están limitadas por la profundidad y anchura de la corriente.

### **1.2.1 Embarcaciones Fluviales.**

El *barco* es el vehículo utilizado por el transporte marítimo para el movimiento de personas y mercancías. La evolución de las naves por el avance tecnológico mundial a partir de los años 50's, se ha reflejado en mayores dimensiones y tipos de navíos, especialmente para el transporte de carga.

Un *barco* está formado por una infraestructura en la cual se considera: en donde se alojan la carga y las máquinas, el timón para guiar el navío y la o las hélices para impulsarlo. Por una superestructura en donde está la cubierta, en la que se encuentran la cabina de mando para controlar al buque y los elementos para la carga y descarga. La parte más baja del casco de llama quilla, el desnivel entre este y la superficie del agua se llama calado, T; el ancho del casco al nivel

del agua se llama manga, B y la longitud del casco en las mismas condiciones recibe el nombre de eslora, L (figura 1.2.1).

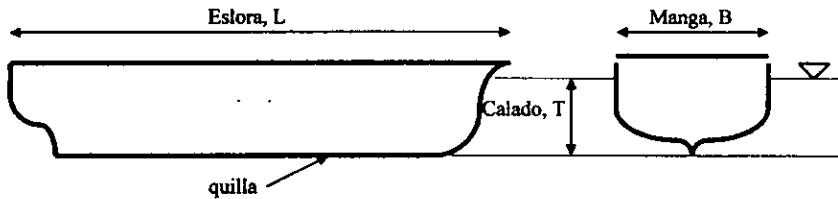


FIG. 1.2.1 Dimensiones de un barco.

Desde el punto de vista dinámico el barco presenta dos tipos de movimiento: lineal y angular, figura 1.2.2, los cuales a su vez se dividen como sigue:

Paralelo al eje X, llamado retraso o vaivén.

Paralelo al eje Y, llamado deriva.

Paralelo al eje Z, llamado sustentación o arzada.

$\theta_x$  (angular), en torno al eje x, llamado balanceo.

$\theta_y$  (angular), en torno al eje y, llamado cabeceo.

$\theta_z$  (angular), en torno al eje z, llamado giro o guiñada.

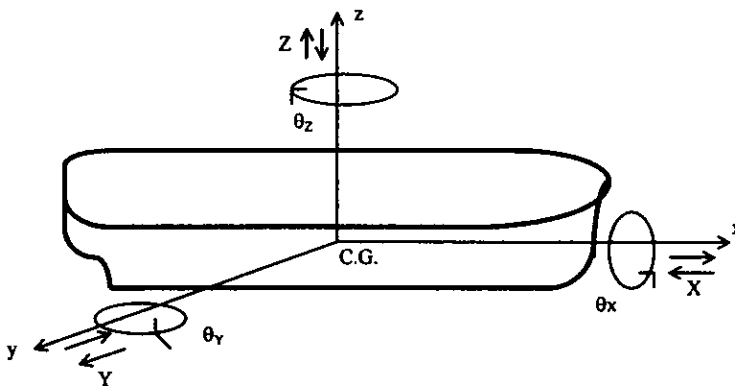


FIG. 1.2.2 Movimientos de una embarcación.

Las condiciones más importantes a determinar en los barcos fluviales son la navegabilidad y maniobrabilidad.

Si estudiamos conjuntamente los movimientos de sustentación y cabeceo, podemos determinar la navegabilidad del buque, tal que se tenga una cierta velocidad sin dañar el barco, ni producir efectos nocivos en su tripulación.

Al analizar simultáneamente los movimientos de deriva y giro  $\theta z$ , podemos conocer la maniobrabilidad de la embarcación, que es la capacidad para mantener un rumbo, o para cambiarlo a voluntad.

Por último, el estudio del balanceo nos permite conocer el comportamiento del barco cuando está parado y sometido a la acción del oleaje, sobre todo cuando está anclado, y el de retraso está ligado a las maniobras de aproximación del navío a la costa y a los muelles.

No hay que olvidar que las características antes mencionadas nos permiten conocer en una vía navegable:

- Tipo de abrigo y acceso
- Tipo de atraque
- Servicios de operación y transbordo

Siendo así que con el estudio de las embarcaciones, las características físicas e hidráulicas del cauce así como de los beneficios y costos a nivel anteproyecto de las obras necesarias en el proceso de hacer navegable a un cauce, se cubre solo una parte de la cantidad de estudios necesarios para la determinación de la navegabilidad de un río.

### **1.3 Sistemas de Navegación Fluvial en México**

América posee los ríos más caudalosos y largos del mundo y los lagos de mayor importancia. En el Artico desembocan entre los principales ríos, el Yukón, el Mackenzie, y el Nelson. A causa del clima continental frío y polar de la zona que atraviesan, se hielan sus aguas durante gran parte del año, lo que dificulta la navegación.

Los ríos de la atlántica son más largos y caudalosos por drenar cuencas más extensas y recibir mayor cantidad de lluvias; los principales son: el San Lorenzo, el Hudson, el Mississipi (el más largo del mundo), el Misuri; en América Central, el Coco o Segovia; en América Meridional, el Magdalena, el Orinoco, el Amazonas, (tercer río del mundo por su longitud y el primero por el volumen de agua) y por último, el sistema Paraguay - Paraná - Uruguay, que en su desembocadura forma el estuario del río de la Plata.

Al Pacífico vierten los ríos de montaña, torrentosos y breves, de régimen irregular y parcialmente navegables. En América Latina del Norte se destacan el Fraser, el Columbia, el Colorado, el Santiago Lerma y el Balsas; en América del Sur, el Guayas, en Ecuador, y los chilenos Loa, Maule, Biobío.

En México la sequedad del clima, por un lado, y la proximidad de las sierras litorales, por otro, otorgan características especiales a los ríos. En general, el volumen de lluvias aparece mal

distribuido sobre la superficie del país y grandes volúmenes de agua se pierden en los ríos tropicales, mientras que los ríos del norte y noroeste se utilizan al máximo, siendo insuficientes para las extensas zonas desérticas.

Con respecto a las posibilidades de navegación que ofrecen los ríos de México, sólo en el este y sureste del territorio existen tramos navegables, lo que sucede en Tabasco, en Veracruz y en el noreste de Chiapas.

Se distinguen cuatro grandes sistemas hidrográficos orientados respectivamente hacia el océano Atlántico, océano Pacífico, los que se sitúan en la Península de California y las vertientes interiores, ver tabla 1.

En México el desarrollo del litoral marítimo es de 9,753 kilómetros pertenecientes a la costa del Pacífico y 2,963 a la del Golfo de México y del Mar Caribe.

El río Mexicano de mayor cuenca es el Bravo o Grande del Norte, que sirve de límite con Estados Unidos y recibe en su orilla mexicana el Conchos, San Juan y Salado. Desagua en el Golfo de México. A esta vertiente pertenecen también los ríos Pánuco - navegables en ciertos tramos -, Tuxpan, Nautla, Papaloapan, Coatzacoalcos - navegables en unas decenas de kilómetros - y Tonalá; el Mexalpa, el Grijalva y el Usumacinta -navegables -, desembocan unidos en la barra de Frontera y, por último los ríos Campeche, Champotón, Candelaria y Hondo, límite con Belice.

VERTIENTE	NOMBRE DEL RÍO	ESTADO
Pacífico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altar</li> <li>• Sonora</li> <li>• Yaqui</li> <li>• Mayo</li> <li>• Culiacán</li> <li>• San Lorenzo</li> <li>• Presidio</li> <li>• Mocorito</li> <li>• Bahuate</li> <li>• Ameca</li> <li>• Amería</li> <li>• Coahuayana</li> <li>• Balsas</li> <li>• Papagayo</li> <li>• Verde</li> <li>• Tehuantepec</li> <li>• Río Grande de Santiago o Lerma</li> <li>• Suchiate</li> </ul>	<p>Sonora</p> <p>Sinaloa</p> <p>Jalisco</p> <p>Colima</p> <p>Michoacán</p> <p>Guerrero</p> <p>Oaxaca</p> <p>Desagua en el Golfo</p> <p>Frontera con Guatemala</p>
California	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tijuana: Formado por los ríos, Las Palmas y Alamar</li> <li>• Rosario</li> <li>• Todos Santos</li> <li>• San Jacinto</li> </ul>	California Sur y Norte

Tabla 1. Vertientes de México

Actualmente la red de carreteras y caminos de distintas categorías sitúa a Tabasco como uno de los estados mejor comunicados del país y al no contar con los apoyos necesarios la transportación fluvial con respecto a su participación en el movimiento de mercancías, resulta



insignificante. Sin embargo, hay que considerar que los ríos Grijalva y Usumacinta tienen cuencas que cuentan con 2,000 kilómetros de ríos posibles de navegar lo que deduce que en los tiempos en los que el transporte ferroviario y carretero no estaban lo suficientemente desarrollados, este era el medio de transporte que se utilizaba en la zona, por lo que para ejemplificar los estudios para establecer un sistema de navegación conviene utilizar estos dos ríos. Otro aspecto importante es que a manera de hipótesis se propone que la realización de los estudios que se presentan en este trabajo conviene realizarlos en esta zona pues debido a su ubicación geográfica y condiciones naturales se puede establecer un medio de transporte fluvial lo cual produciría un desarrollo social y económico de las poblaciones circundantes, sin olvidar que estos ríos se encuentran en una zona petrolera, por lo que convendría también en el desarrollo industrial.

Así al iniciar un estudio de tal índole y tales objetivos se requiere de establecer las condiciones físicas actuales del sistema fluvial y definir los requerimientos mediatos e inmediatos para incorporar en forma paulatina la navegación comercial al desarrollo e integración socioeconómico de la zona.

Como primera fase, se deben de realizar una serie de actividades para ubicar la zona y recopilar información necesaria para evaluaciones sociales, económicas y de infraestructura, además de que se requiere también de un reconocimiento físico de la zona para realizar medidas directamente, así, como primer punto se realizó un recorrido de ríos con la finalidad de establecer las principales características físicas las cuales son: profundidad, ancho del cauce, velocidad de la corriente y obstáculos a la navegación.

En este caso el equipo más conveniente para utilizar es un ecosonda, el cual permite levantar las secciones transversales en los lugares donde se consideren representativas del cauce en estudio. En estas mismas secciones se mide la velocidad con un molinete. Para el levantamiento de la sección transversal hasta la parte de su bordo libre, se requiere de una cinta de acero y nivel de mano.

Resulta de mucha ayuda tomar fotos de las curvas de río, obstáculos a la navegación (rocas en el cauce, troncos y árboles, etc.), atracaderos, embarcaciones que circulan por el río, bodegas y efectos de la erosión del río en sus márgenes.

Si analizamos la información hidrométrica de la cuenca en estudio, podemos identificar junto con el recorrido de los ríos, los tramos de cauce en los que sería factible establecer, prácticamente en forma inmediata un sistema organizado de transportación fluvial.

Así también, es preciso identificar las localidades que estando en aquellos tramos aprovecharán el sistema de navegabilidad.

Investigaciones de este tipo se hacen de acuerdo a aspectos como: las características demográficas, la disponibilidad de servicios básicos, la accesibilidad a otras formas de transporte, la naturaleza de las actividades económicas y la organización regional de la actividad comercial, entre otras.

## 2. ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS.

Uno de los estudios preliminares que se requiere hacer en el caso del establecimiento de un sistema de transporte, es el estudio socioeconómico, pues nos permite conocer desde aspectos geográficos hasta las características propias de cada región en las que tenga efecto tal sistema. Así se realizan investigaciones referentes a las características demográficas, disponibilidad de servicios básicos, accesibilidad a otras formas de transporte, la naturaleza de las actividades propias de la región y organizaciones regionales de actividades industriales y comerciales, entre otras; por lo que la identificación de localidades se basa en gran parte en tales estudios que de alguna manera son punto de partida para trazar la línea de transporte.

En el caso de un sistema de transporte fluvial no se pueden elegir nuevas rutas, pues estamos restringidos al curso del río, sin embargo los estudios socioeconómicos y geográficos nos permiten determinar cuales son los puntos para establecer terminales y zonas de aprovechamiento así como de zonas afectadas nocivamente por tal sistema y poder realizar una evaluación preliminar.

Respecto a Tabasco, es importante saber que los ríos Usumacinta y Grijalva lo cruzan por la mayor parte de su territorio, por lo que los datos geográficos, de infraestructura y socioeconómicos que se presentan se refieren a todos los municipios del estado, lo que nos permite determinar cuales son las poblaciones clave en el sistema fluvial.

Hace tres mil años, Tabasco en nahua significa "tierra anegada", estuvo ocupado por olmecas y mayas, ciudades como Comalcalco, Pomona, Morates, El Tortuguero y Jonuta alcanzaron gran esplendor en aquel entonces. Está situado al sureste de México, en la llanura costera del golfo junto al Istmo de Tehuantepec. Limita al norte con el Golfo de México, al noreste con Campeche, al sur con Chiapas, al oeste con Veracruz - Llave, al oeste con Veracruz - Llave y al sureste con Guatemala. Las coordenadas geográficas se presentan en el cuadro 2.1 y en el cuadro 2.2, se menciona la división municipal así como las altitudes de los mismos. El estado presenta un relieve poco montañoso en el que destacan los cerros Cocona, Azufre, Quemado, Ixtapangajoyá y Mono Pelado y los de piedra y la Corona, que limitan con Chiapas, ver mapa 2.2. Un 60% de su territorio esta cubierto por ríos lagunas y pantanos. Su sistema fluvial esta constituido por los caudales del río Usumacinta y Grijalava que desembocan el golfo de México. Fuera de este sistema se encuentran los ríos Tonalá y Tancochapa que limitan con Veracruz. Tiene playas bajas y arenosas con cordones litorales, por lo que existen lagunas salobres como El Carmen, Pajonal, Machona, Tupilco, Tres Palmas, entre otras, y cerca de cien lagunas de agua dulce, ver mapa 2.3. Su clima es cálido húmedo con influencia marítima, siendo una de las zonas más lluviosas del país, (cuadro 2.3).

**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Coordenadas Geográficas Extremas	Al Norte 18°39', al Sur 17°15', latitud Norte; al este 91°00', al oeste 94°07' de longitud oeste.
Porcentaje Territorial	El estado de Tabasco representa el 1.3% de la superficie del país.

Cuadro 2.1

**DIVISIÓN MUNICIPAL**

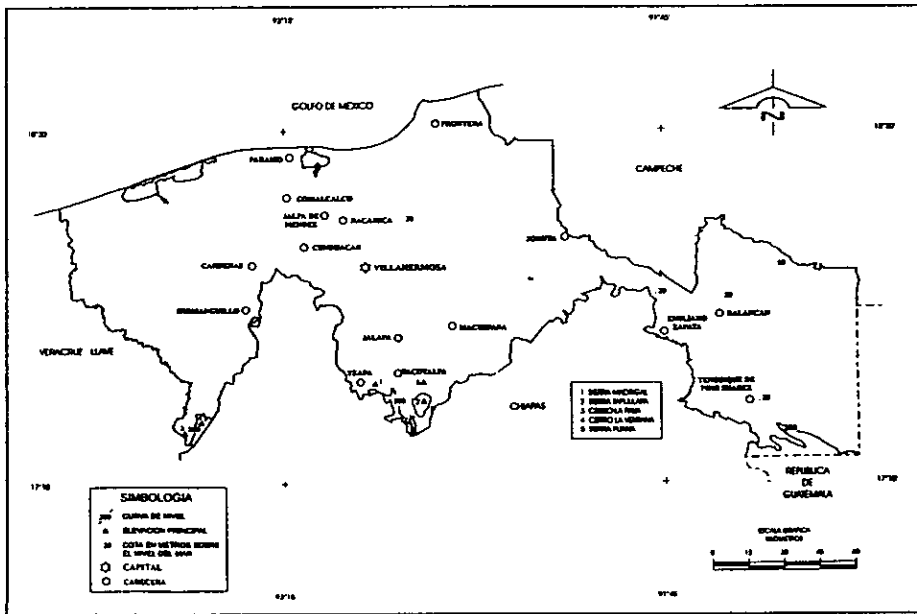
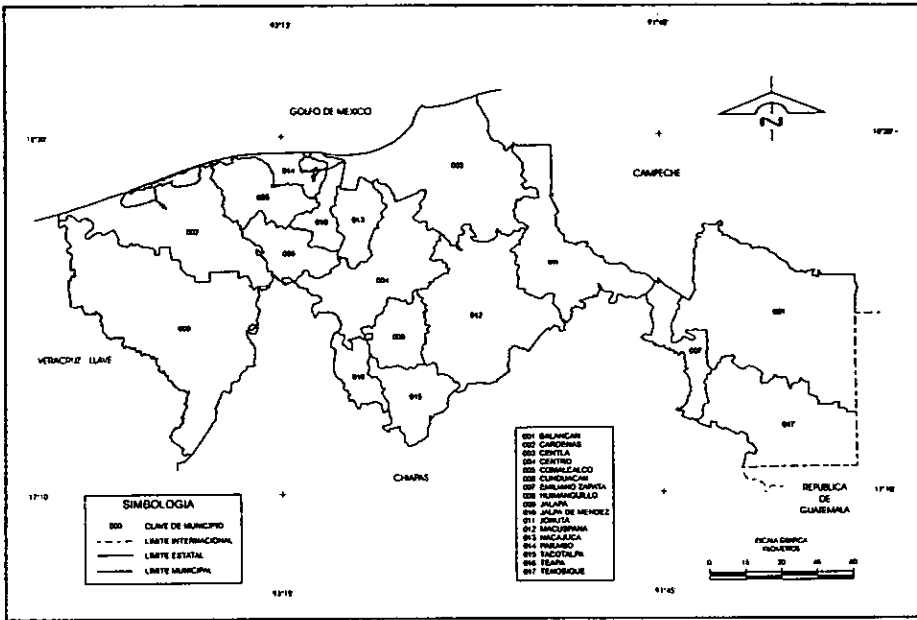
CLAVE(Mapa 2.1)	MUNICIPIO	CABECERA MUNICIPAL	ALTITUD
001	Balancán	Balancán	30
002	Cárdenas	Cárdenas	20
003	Centla	Frontera	10
004	Centro	Villahermosa	10
005	Comalcalco	Comalcalco	10
006	Cunduacán	Cunduacán	10
007	Emiliano Zapata	Emiliano Zapata	20
008	Huimanguillo	Huimanguillo	20
009	Jalapa	Jalapa	20
010	Jalpa de Médez	Jalpa de Médez	10
011	Jonuta	Jonuta	10
012	Macuspana	Macuspana	10
013	Nacajuca	Nacajuca	10
014	Paraíso	Paraíso	10
015	Tacotalpa	Tacotalpa	20
016	Teapa	Teapa	40
017	Tenosique	Tenosique de Pino Suárez	20

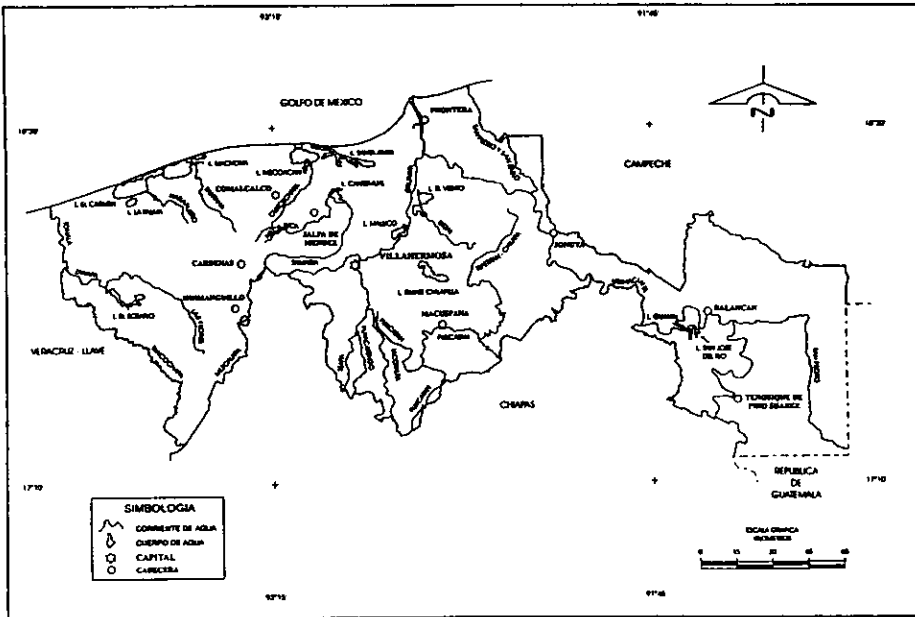
Cuadro 2.2

**CLIMAS**

TIPO O SUBTIPO	SIMBOLO	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
Cálido húmedo con lluvias todo el año	Af	19.72
Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano	Am	75.85
Cálido subhúmedo con lluvias en verano	A(w)	4.43

Cuadro 2.3





Mapa 2.3. Corrientes y cuerpos de agua

Es importante también mencionar que Tabasco cuenta dos regiones hidrológicas las que a su vez se dividen en cuatro cuencas y se distribuyen como sigue. (mapa 2.4):

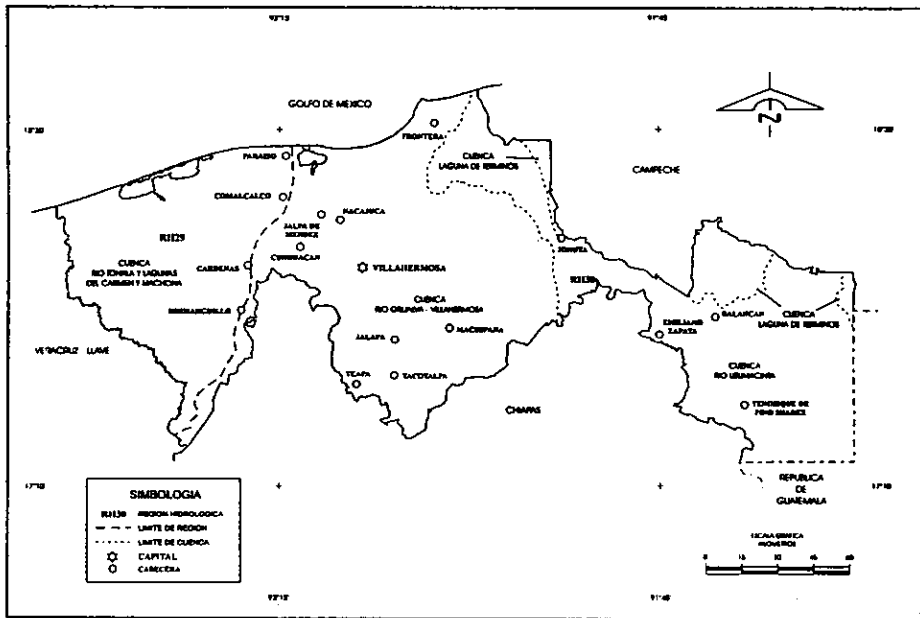
Región		Cuenca		% de la superficie estatal
Clave	Nombre	Clave	Nombre	
RH29	Coatzacoalcos	A	R. Tonalá y Lagunas del Carmen y Machona	24,78
RH30	Grijalva-Usumacinta	A	R. Usumacinta	29,24
		C	L. de Términos	4,53
		D	R. Grijalva-Villahermosa	41,45

Cuadro 2.4

Dentro de estas cuencas el estado principalmente cuenta con tres estaciones meteorológicas que son: Teapa, Villahermosa, y San Pedro; en las que se han determinado los siguientes valores de precipitación:

Estación	Periodo	Promedio	Precipitación Total Anual (mm)	
			Del año más seco	Del año más lluvioso
Teapa	1981-1995	3316,10	2651,30	4383,50
Villahermosa	1969-1995	2038,10	1176,70	2943,80
San Pedro	1969-1995	1530,40	1028,40	1983,10

Cuadro 2.5



Mapa 2.4. Regiones y cuencas hidrologicas

## 2.1 Infraestructura de la zona

Tabasco ocupa el 1.3% del territorio nacional, es importante mencionar que a pesar de que es un estado con dimensiones territoriales no muy grandes con respecto a los demás, es uno de los de más importancia en sus recursos naturales como lo es el petróleo, agregando también su importancia en productos agrícolas y ganaderos. Otros aspectos a mencionar es la cantidad de kilómetros de ríos y cuerpos de agua con los que cuenta el lugar, por lo que se coloca como un estado clave para la implantación y desarrollo de un sistema fluvial de transporte, pues existe el recurso natural en extensión óptima y la mercancías a transportar ( productos industriales y agrícolas), sin hablar de un desarrollo turístico propio de la región.

Los últimos censos registrados muestran hasta el año de 1995 que la población total del estado es de 1,748,769.00 hab., de los cuales un 49.88% son hombres y un 50.12% son mujeres. En el cuadro 2.1.1 se muestra la distribución de población dentro de los 17 municipios del estado.

## POBLACION TOTAL POR SEXO

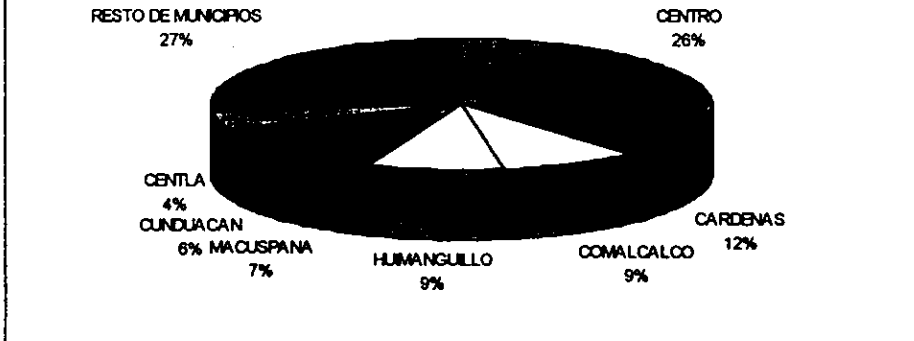
## SEGÚN MUNICIPIO

Al 5 de noviembre de 1995

MUNICIPIO	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
<b>ESTADO</b>	<b>1.748.769</b>	<b>872.243</b>	<b>876.526</b>
BALANCAN	54.089	27.560	26.529
CARDENAS	204.810	102.350	102.460
CENTLA	77.543	39.034	38.509
CENTRO	465.449	227.662	237.787
COMALCALCO	156.334	78.164	78.170
CUNDUACAN	97.698	49.097	48.601
EMILIANO ZAPATA	25.500	12.467	13.033
HUIMANGUILLO	154.577	78.396	76.181
JALAPA	31.304	15.855	15.449
JALPA DE MENDEZ	64.282	32.293	31.989
JONUTA	24.792	12.661	12.131
MACUSPANA	123.024	61.391	61.633
NACAJUCA	68.149	34.269	33.880
PARAISO	65.266	32.642	32.624
TACOTALPA	37.857	19.244	18.613
TEAPA	42.657	21.381	21.276
TENOSIQUE	55.438	27.777	27.661

Cuadro 2.1.1

POBLACION TOTAL SEGUN PRINCIPALES MUNICIPIOS  
Al 5 de noviembre de 1995 (En por ciento)



Gráfica 1

Al observar la gráfica 1 nos damos cuenta que el municipio con mayor densidad de población es Centro con un 26.5 %, al que le siguen Cardenas con 11.7%, Comalcalco con 9.0%, Huimanguillo con 8.9%, Macuspana con 7.0%, Cunduacan con 5.6% y Centla con 4.4%, los demás municipios está por debajo del 4.0 % y hacen una suma del 26.6%. Con estos datos deducimos que los municipios con densidades de población importantes se pueden elegir en primera instancia y de acuerdo a su situación geográfica como posibles terminales del sistema.

Dentro de cualquier proyecto de infraestructura en la que intervengan datos como los habitantes promedio por vivienda, se utiliza un número representativo de 5 hab/viv, tal es el caso de proyectos de abastecimiento de agua potable. Si tomamos este valor como parámetro podemos evaluar a Tabasco como un estado estable con lo respecta a la distribución de sus habitantes y a la construcción de vivienda conforme al crecimiento de la población, cuadro 2.1.2.

Otro aspecto importante a evaluar son los servicios existentes en los municipios, pues estos datos nos indican el desarrollo del lugar. En lo respecta a la disponibilidad de agua entubada, drenaje y energía eléctrica (cuadro 2.1.3), los servicios no han alcanzado a cumplir con las necesidades de toda la población, tal es el caso del abastecimiento de agua pues solo el 68% de las viviendas tienen acceso ya sea dentro de la vivienda, dentro del terreno o de la llave pública. Ahora bien, si consideramos al abastecimiento de agua sólo como la disponibilidad dentro de la vivienda el porcentaje es menor, por lo que resulta un aspecto por resolver para las necesidades de la población.

Enfocándonos en el tema de este trabajo, se debe relacionar la problemática de abastecimiento de agua con el tipo de obras a realizar en el establecimiento del sistema fluvial, pues el recurso a utilizar es el mismo y en algunos de los casos podría ser posible disponer de las obras para solucionar en gran parte la disponibilidad de aguas, siendo así que el beneficio de la obra también se puede evaluar desde otro punto de vista; no sólo como sistema de transporte, sino también como servicio básico con respecto a las necesidades del hombre.

En muchos de los casos las fuentes de agua de uso potable se utilizan para la distribución en usos de menor importancia como lo son el uso doméstico, el riego, la recreación, la silvicultura, entre otros, lo que afecta considerablemente el gasto disponible para uso exclusivo de agua potable. En el cuadro 9 vemos el tipo de fuente y la cantidad que se extrae. El estado tiene un número suficiente de fuentes de abastecimiento hasta el momento, aun así es necesario buscar nuevas formas de extraer o en su caso generar otras formas de tratamiento para el agua y destinarla a usos secundarios de la misma; es aquí donde la construcción de obras para el establecimiento de una red fluvial pueden ser utilizadas si es posible como propuestas para generar nuevas fuentes de abastecimiento.



VIVIENDAS HABITADAS, OCUPANTES Y PROMEDIO  
DE OCUPANTES POR VIVIENDA SEGÚN MUNICIPIO

Al 5 de noviembre de 1995

MUNICIPIO	VIVIENDAS HABITADAS			OCUPANTES			PROMEDIO	
	TOTAL	PARTICULARES	COLECTIVAS	TOTAL	PARTICULARES	COLECTIVAS	OCUPANTES	OCUPANTES
ESTADO	385,664	366,421	133	1,748,769	1,744,390	4,379		4,9
BALANCAN	11,336	11,334	2	54,089	54,045	44		4,8
CARDENAS	40,032	40,021	11	204,810	204,477	333		5,1
CENTLA	14,842	14,835	7	77,543	77,459	85		5,2
CENTRO	104,517	104,472	45	465,449	463,660	1,789		4,5
COMALCALCO	29,914	29,904	10	156,334	155,989	345		5,2
CUNDUACAN	18,821	18,819	2	97,698	97,600	98		5,2
EMILIANO ZAPATA	5,581	5,579	2	25,500	25,479	21		4,6
HUIMANGUILLO	28,900	28,894	6	154,577	154,241	336		5,3
JALAPA	6,351	6,348	3	31,304	31,256	48		4,9
JALPA DE MENDEZ	11,911	11,908	3	64,282	64,212	70		5,4
JONUTA	4,776	4,776	2	24,792	24,764	28		5,2
MACUSPANA	24,331	24,324	7	123,024	122,950	74		5,1
NACAJUCA	13,538	13,535	3	68,149	68,142	7		5,0
PARASO	13,310	13,306	4	65,266	65,061	205		4,9
TACOTALPA	6,991	6,984	7	37,857	37,804	173		5,4
TEAPA	8,604	8,596	8	42,857	42,463	194		5,0
TENOSIQUE	11,797	11,788	11	55,438	54,918	520		4,7

Cuadro 2.1.2

**VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS Y OCUPANTES  
SEGÚN DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS DE AGUA ENTUBADA,  
DRENAJE Y ENERGIA ELECTRICA  
Al 5 de noviembre de 1995**

DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS	OCUPANTES
<b>TOTAL</b>	<b>354.789</b>	<b>1.742.408</b>
DISPONIBILIDAD DE AGUA ENTUBADA, DRENAJE Y ENERGIA ELECTRICA	221.417	1.034.575
DISPONIBILIDAD DE DOS SERVICIOS	79.640	425.459
AGUA ENTUBADA Y DRENAJE	3.224	15.617
AGUA ENTUBADA Y ENERGIA ELECTRICA	13.709	74.192
DRENAJE Y ENERGIA ELECTRICA	62.707	335.650
DISPONIBILIDAD DE UN SERVICIO	36.700	195.054
AGUA ENTUBADA	2.054	10.236
DRENAJE	8.396	43.469
ENERGIA ELECTRICA	26.250	141.349
NO DISPONE DE SERVICIOS	16.948	86.931
NO ESPECIFICADO	84	389

Cuadro 2.1.3

**FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y VOLUMEN PROMEDIO  
DIARIO DE EXTRACCION DE AGUA POTABLE POR TIPO  
SEGÚN MUNICIPIO.1996**

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO				VOL. PROMEDIO DIARIO DE EXTRACCION (Metro cúbico por día)		
	TOTAL	POZO MANANTIAL PROFUNDO	OTRAS		TOTAL	POZO PROFUNDO	OTRAS
<b>ESTADO</b>	<b>410</b>	<b>367</b>	<b>4</b>	<b>39</b>	<b>534.395</b>	<b>227.169</b>	<b>307.236</b>
BALANCAN	41	39	-	2	15.344	6.100	9.244
CARDENAS	40	40	-	-	37.820	37.820	-
CENTLA	11	6	-	5	13.261	561	12.700
CENTRO	71	66	-	5	251.615	68.015	183.600
COMALCALCO	22	22	-	-	19.558	19.558	-
CUNDUACAN	19	18	-	1	12.184	3.544	8.640
EMILIANO ZAPATA	22	20	-	2	13.669	4.597	9.072
HUIMANGUILLO	31	30	-	1	17.892	14.436	3.456
JALAPA	13	12	-	1	15.243	10.923	4.320
JALPA DE MENDEZ	8	8	-	-	10.391	10.391	-
JONUTA	25	21	-	4	10.452	4.836	5.616
MACUSPANA	25	18	4	3	44.153	13.741	30.412
NACAJUCA	11	10	-	1	12.385	8.929	3.456
PARAISO	11	11	-	-	11.964	11.964	-
TACOTALPA	18	7	-	11	12.235	1.867	10.368
TEAPA	19	18	-	1	17.207	8.567	8.640
TENOSIQUE	23	21	-	2	19.022	1.310	17.712

Cuadro 2.1.4

En el cuadro 2.1.5 y en la gráfica 2 se muestra el número de kilómetros establecidos como carreteras en sus diferentes modalidades que son : Troncal Federal, Alimentadoras Estatales, y Caminos Rurales. En este caso apreciamos que los municipios de Balancan, Cárdenas, Centro, Huimanguillo y Macuspana son los que cuentan con mayor porcentaje de carreteras, lo que se debe de tomar en cuenta pues sabemos que un sistema fluvial no tiene acceso directo a los lugares de entrega por lo que se tiene que hacer uso de otros medios de transporte.

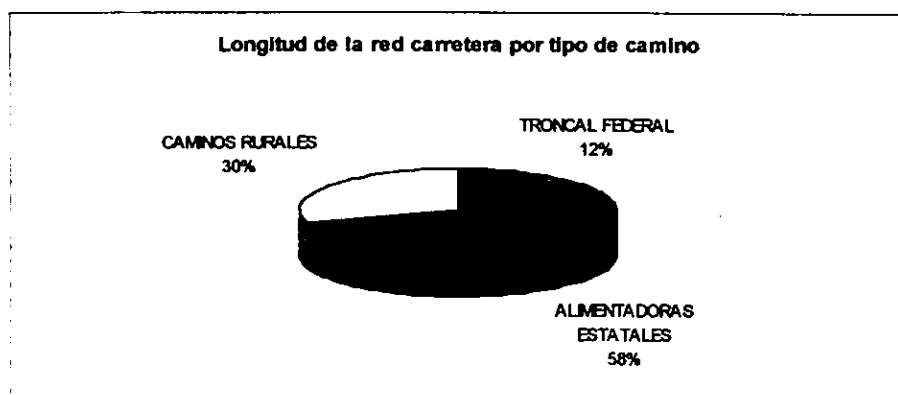
Ahora, por otro lado vemos que para el transporte de mercancías pesadas y voluminosas, el número de carreteras federales no son suficientes para brindar un servicio óptimo de transporte, si recordamos la variación de costos que existe entre un sistema de transporte carretero y fluvial, resulta importante considerar la complementariedad de ambos sistemas.

**LONGITUD DE LA RED CARRETERA POR TIPO DE CAMINO  
SEGÚN MUNICIPIO  
Al 31 de diciembre de 1996  
(Kilómetros)**

MUNICIPIO	TOTAL	TRONCAL FEDERAL		ALIMEN. ESTATALES		CAMINOS RURALES	
		PAVIMEN.	REVESTIDA	PAVIMEN.	REVESTIDA	PAVIMEN.	REVESTIDA
<b>ESTADO</b>	<b>5800</b>	<b>668,2</b>	<b>0</b>	<b>2038,5</b>	<b>1336,5</b>	<b>234</b>	<b>1623,1</b>
BALANCAN	537,4	-	-	237,6	114,6	-	185,2
CARDENAS	808,7	84,5	-	206	116	157	245,2
CENTLA	240,2	59	-	74,1	18,5	-	88,6
CENTRO	646,8	148,5	-	205,4	206,1	-	88,8
COMALCALCO	286,5	22	-	179,9	80,4	-	4,2
CUNDUACAN	211,9	53,6	-	121,5	26,7	-	10,1
EMILIANO ZAPATA	104,5	53,3	-	9	17,5	-	24,7
HUIMANGUILLO	806,6	110	-	198,5	269,1	77	152
JALAPA	204,1	18	-	62,7	67,2	-	56,2
JALPA DE MENDEZ	180,2	-	-	119,7	35,2	-	25,3
JONUTA	297,6	-	-	81,8	128,3	-	87,5
MACUSPANA	410,1	43	-	151,7	90,2	-	125,2
NACAJUCA	127,9	-	-	98,9	15,3	-	13,7
PARAISO	130,8	19,7	-	108,4	2,7	-	-
TACOTALPA	272,3	-	-	50,4	95	-	126,9
TEAPA	158,8	27,7	-	62,8	18	-	50,3
TENOSIQUE	375,9	28,9	-	70,1	35,7	-	241,2

Cuadro 2.1.5

Completando la información del cuadro anterior en el cuadro 2.1.6 nos percatamos que a nivel estado no se cuenta con las suficientes unidades para el transporte carretero, sin embargo la utilización de estas unidades para la entrega de mercancía en el lugar requerido es importante considerarla pues nos brinda una alternativa más para lograr un transporte integro y óptimo, así se pueden realizar estudios de factibilidad y de costo/beneficio que pueden convertir al sistema fluvial en un proyecto mucho más costeable.



Gráfica 2

**UNIDADES VEHICULARES DE CARGA DEL SERVICIO  
PUBLICO FEDERAL DE AUTOTRANSPORTE  
POR CALSE DE SERVICIO SEGÚN TIPO  
Y CLASE DE VEHICULO  
1996**

TIPO Y CLASE DE VEHICULO	TOTAL	CARGA GENERAL	CARGA ESPECIALIZADA
<b>TOTAL</b>	<b>264</b>	<b>207</b>	<b>47</b>
<b>UNIDADES MOTRICES</b>	<b>177</b>	<b>142</b>	<b>35</b>
CAMION DE DOS EJES	37	33	4
CAMION DE TRES EJES	71	54	17
TRACTOCAMION DE DOS EJES	1	1	-
TRACTOCAMION DE TRES EJES	68	54	14
<b>UNIDADES DE ARRASTRE</b>	<b>77</b>	<b>65</b>	<b>12</b>
SEMIREMOLQUE DE DOS EJES	51	40	11
SEMIREMOLQUE DE TRES EJES	26	25	1

Cuadro 2.1.6

Como camiones de carga registrados se cuenta con 48,201 unidades, lo que mejora la perspectiva de complementariedad entre los sistemas carretero y fluvial con lo que respecta a la demanda de unidades. Lo que es importante considerar en el cuadro 2.1.7 es el número de unidades registradas de carácter oficial, de alquiler y particulares pues el costo de cada uno varía y esto repercute en la evaluación financiera de nuestro proyecto.

**VEHICULOS REGISTRADOS  
SE SERVICIO SEGÚN MUNICIPIO  
Al 31 de diciembre de 1996**

MUNICIPIO	TOTAL	CAMIONES DE CARGA		
		OFICIALES	DE ALQUILER	PARTICULARES
<b>ESTADO</b>	<b>48.201</b>	<b>7.054</b>	<b>1.499</b>	<b>39.648</b>
BALANCAN	1.122	37	56	1.029
CARDENAS	4.211	553	104	3.554
CENTLA	917	27	86	804
CENTRO	24.477	4.525	345	19.607
COMALCALCO	3.471	548	119	2.804
CUNDUACAN	1.100	81	61	978
EMILIANO ZAPATA	1.226	36	25	1.165
HUIMANGUILLO	2.403	190	131	2.082
JALAPA	623	33	38	552
JALPA DE MENDEZ	704	27	56	621
JONUTA	342	6	29	307
MACUSPANA	2.761	511	142	2.108
NACAJUCA	558	24	47	487
PARAISO	1.516	189	75	1.252
TACOTALPA	378	230	48	100
TEAPA	1.124	28	68	1.028
TENOSIQUE	1.268	29	69	1.170

Cuadro 2.1.7

En una evaluación de complementariedad de transporte se consideran el medio carretero, ferroviario y fluvial; el aéreo por condiciones propias del sistema y la gran diferencia de costos con respecto a las demás, no se considera. Hablando del transporte ferroviario al igual que el carretero se divide en redes de tipo troncales y ramales, secundarias y particulares. En el cuadro 2.1.8 se muestra la cantidad de kilómetros de cada una lo que suma 315 km en total que representa un 5.43% de la longitud total de la red carretera que se traduce como, que el sistema ferroviario es un medio insuficiente para el transporte de productos industriales, inorgánicos, petróleo (derivados), minerales y agrícolas de los cuales las toneladas transportadas se presentan en el cuadro 2.1.9 donde también aparece el dato del ingreso por flete que nos da un costo promedio de 100 pesos por tonelada lo que reitera que el sistema ferroviario en uno de los de menor costo y mayor capacidad de transporte por flete.

Cabe mencionar que la anterior comparativa se hizo sólo considerando la extensión y distribución de las redes dentro del estado.

Aunque la red ferroviaria cuenta con pocos kilómetros con respecto a la cantidad de productos por transportar es importante considerar su trazo, ver mapa 2.1.1.

**LONGITUD DE LA RED FERROVIARIA  
SEGÚN TIPO DE VIA  
Al 31 de diciembre de 1996 (Km).**

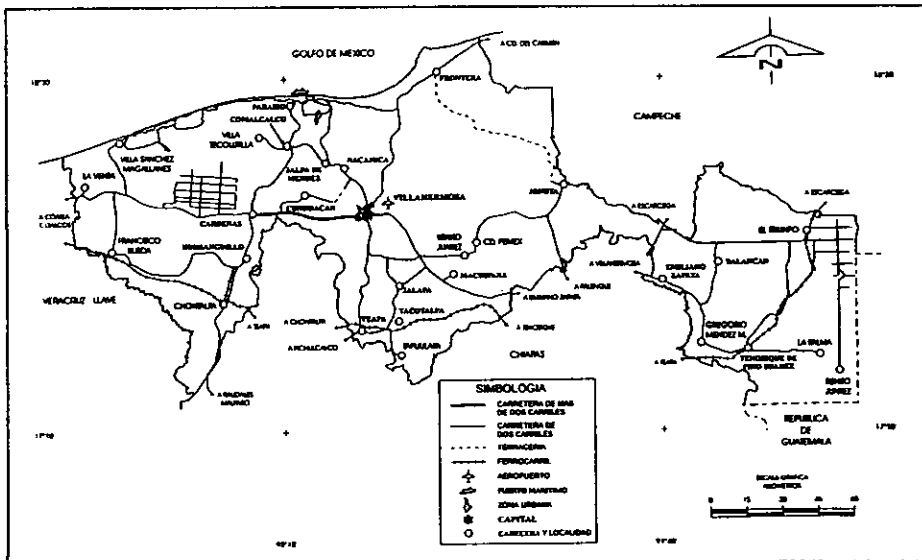
TIPO DE VIA	LONGITUD
TOTAL	315
TRONCALES Y RAMALES	266
SECUNDARIAS	30
PARTICULARES	19

Cuadro 2.1.8

**VOLUMEN DE LA CARGA TRANSPORTADA E INGRESOS  
POR FELTE EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO  
SEGÚN TIPO DE PRODUCTO. 1996**

TIPO DE PRODUCTO	VOLUMEN DE LA CARGA TRANSPORTADA (Toneladas)	INGRESOS POR FLETE (Miles de pesos)
TOTAL	523,468	48,854
PRODUCTOS INDUSTRIALES	320,522	31,330
PRODUCTOS INORGANICOS	133,604	10,384
PETROLEO Y SUS DERIVADOS	39,698	4,096
PRODUCTOS MINERALES	13,248	1,295
PRODUCTOS AGRICOLAS	11,668	1,195
PRODUCTOS FORESTALES	1,182	190
OTROS PRODUCTOS	3,526	374

Cuadro 2.1.9



Por último están los cuadros 2.1.10 y 2.1.11, que tratan aspectos marítimos; vemos que Dos Bocas es el puerto con mayor cantidad de obras portuarias de protección y atraque así como de áreas de almacenamiento, lo que debemos de tomar en cuenta para aprovechar tales obras o en dado caso adecuar las nuevas obras que se decidan y convengan establecer para el sistema fluvial. A partir de esta información también se seleccionan las entidades posibles de ser terminales del sistema.

De acuerdo a la carga transportada (cuadro 2.1.11), el sistema marítimo es el que lleva el primer lugar pues por vía ferroviaria se transportan 523,468 toneladas mientras que por vía fluvial el transporte es de 23,438,260.7 toneladas, el sistema carretero no esta en esta consideración ya que la capacidad de carga no es comparable con la capacidad de los sistemas anteriores. Es así que se reitera que el sistema fluvial en esta zona del país es una de las mejores opciones para el desarrollo del transporte en el estado con repercusiones a nivel nacional.

**EXTENSIONES DE LAS OBRAS PORTUARIAS DE PROTECCION  
ATRAQUE Y EN AREAS DE ALMACENAMIENTO SEGÚN PUERTO  
Al 31 de diciembre de 1996**

PUERTO	OBRAS PORTUARIAS DE PROTECCION (Metros lineales)	OBRAS PORTUARIAS DE ATRAQUE (Metros lineales)	AREAS DE ALAMACENAMIENTO (Metros cuadrados)
TOTAL	3115	2900	94800
DOS BOCAS	1500	2140	42800
FRONTERA	15	450	40000
VILLAHERMOSA	-	150	3000
SANCHEZ MAGALLANES	1600	-	4000
CHILTEPEC	-	160	3200
TONALA	-	-	1800

Cuadro 2.1.10

**VOLUMEN DE CARGA MARITIMA MOVIDA POR TIPO  
DE TRAFICO Y MOVIMIENTO SEGÚN PUERTO  
Y TIPO DE CARGA  
1996 (Toneladas)**

PUERTO Y TIPO DE CARGA	TOTAL	ALTURA		CABOTAJE	
		ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
ESTADO	23438260,7	622,5	23393250,0	6425,2	37963,0
DOS BOCAS	23437721,7	83,5	23393250,0	6425,2	37963,0
CARGA GENERAL	44471,7	83,5		6425,2	37963,0
PETROLEO Y DERIVADOS	23393250,0		23393250,0		
FRONTERA	539,0	539,0			
PETROLEO Y DERIVADOS	539,0	539,0			

Cuadro 2.1.11

## 2.2 Características Sociales y Económicas

Los estudios económicos tienen como finalidad la de conocer la incidencia y ponderación de los efectos económicos en la realización de los proyectos de Ingeniería.

En el desarrollo de la fundamentación económica se visualizan aspectos relacionados con la demografía, el crecimiento de la población, mortalidad, migración, aspectos económicos de la población en la zona estudiada, ingresos, capacidad de ahorro, gastos, costos del transporte entre otros, así como datos de niveles educativos, desarrollo de sectores básicos productivos y su evolución.

Se debe de contar con los costos de las obras ya que la integración de los factores socioeconómicos y los costos reales de los trabajos, sean de dragado, mejoramiento de cauce, corte de meandros, ampliaciones o rectificaciones serán la base para continuar con la parte relacionada con la evaluación del proyecto.

Es necesario realizar algunos estudios específicos de tipo económico y del transporte ya que de no contar con estos datos no se tendrá la información necesaria para la evaluación económica y financiera, así como la relación costo - beneficio, la tasa interna de retorno, indicadores económico - financieros, así como datos sociales de la bondades y beneficios de la navegabilidad como el medio de transporte más económico.

En el tipo de estudio que nos compete los aspectos demográficos que nos interesan son en dos niveles; macro y micro. Dentro del primero queda comprendido el análisis de la población estatal, así como la distribución municipal y urbana - rural, la utilidad de estas es la de estimar la demanda actual y futura de bienes y servicios, analizar la densidad de población e identificar los puntos de origen y estudio de los traslados de las personas y las mercancías, respectivamente. El nivel micro es preciso para conocer la población de cada una de las localidades ribereñas, para así poder cuantificar a los usuarios potenciales del sistema de navegación.

Uno de los puntos importantes a considerar es el aumento de la población debido a los abundantes y variados recursos naturales de que dispone el Estado de Tabasco, entre los cuales destacan los hidrocarburos, por esto la población se ha multiplicado en un período corto de tiempo.

Al año de 1995 la población en estado de Tabasco se encuentra distribuida de la siguiente manera, cuadro 2.2.1.



## POBLACION TOTAL POR SEXO

## SEGÚN MUNICIPIO

Al 5 de Noviembre de 1995

MUNICIPIO	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
<b>ESTADO</b>	<b>1.748.769</b>	<b>872.243</b>	<b>876.526</b>
BALANCAN	54.089	27.560	26.529
CARDENAS	204.810	102.350	102.460
CENTLA	77.543	39.034	38.509
CENTRO	465.449	227.662	237.787
COMALCALCO	156.334	78.164	78.170
CUNDUACAN	97.698	49.097	48.601
EMILIANO ZAPATA	25.500	12.467	13.033
HUIMANGUILLO	154.577	78.396	76.181
JALAPA	31.304	15.855	15.449
JALAPA DE MENDEZ	64.282	32.293	31.989
JONUTA	24.792	12.661	12.131
MACUSPANA	123.024	61.391	61.633
NACAJUCA	68.149	34.269	33.880
PARAISO	65.266	32.642	32.624
TACOTALPA	37.857	19.244	18.613
TEAPA	42.657	21.381	21.276
TENOSIQUE	55.438	27.777	27.661

Cuadro 2.2.1

Es importante mencionar que el proceso de urbanización que ha sufrido el país ha repercutido también en Tabasco, aunque en una forma peculiar, ya que en algunos municipios ha sido sumamente rápida ( Teapa, Tacotalpa y Jalapa), mientras que en otros puede considerarse en términos porcentuales como inexistente ( Centla, Jonuta y Paraíso). Ello significa que su capacidad potencial de producir bienes que en un momento dado podrían ser captados por el sistema de navegación fluvial se ha visto reducida, ya que su principal actividad económica es la agricultura.

Como mencionamos anteriormente el nivel micro del análisis demográfico consiste en determinar a partir de la población de cada una de las localidades el número de usuarios potenciales del sistema de navegación. Ello es necesario para poder desarrollar el análisis financiero, el cual consiste en una comparación de los beneficios y los costos esperados del sistema.

Por otro lado gracias a sus características naturales el estado de Tabasco reúne actividades económicas muy variadas entre las cuales se encuentra la agricultura, la ganadería, la pesca, la extracción de hidrocarburos, la industria en general y el turismo.

Junto con la extracción de hidrocarburos la agricultura es la actividad económica más importante de Tabasco, aunque como resultado del proceso de urbanización y la reciente utilización de tierras para perforación de pozos petroleros, la producción agrícola ha decrecido en los últimos años.

A diferencia de la agricultura, la ganadería ha tenido en crecimiento reducido pero constante. Las especies que mayor desarrollo han logrado son la porcina y ovina, lo cual se debe a que su precio de venta se ha incrementado con mayor rapidez que el ganado bovino.

Aproximadamente un 40% de la superficie estatal está ocupado por los ríos y lagunas interiores, adicionalmente se tienen 185 km de litoral y 3285 km<sup>2</sup> de plataforma continental lo cual hace que las condiciones naturales para el desarrollo de la pesca sean sumamente propicias, sin embargo se ha tenido en desarrollo pobre debido a que la infraestructura de refrigeración y procesamiento es insuficiente, al igual que el apoyo técnico y financiero a las cooperativas.

Por otro lado la extracción y transformación de petróleo y gas constituyen la actividad económica de mayor valor monetario de Tabasco y es al mismo tiempo la que ha registrado el mayor crecimiento. Para facilitar el desarrollo de estas actividades las que incluyen el traslado de grandes volúmenes de tuberías, maquinaria y equipo, además del personal respectivo, PEMEX ha establecido un amplio sistema de navegación fluvial, el cual ha permitido abatir en forma importante los costos de transporte.

### 3. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Con respecto a los estudios hidrológicos, se puede mencionar que tienen como objetivo principal analizar los tirantes (mínimo, medio y máximo), los gastos, las velocidades y otras características propias del río, las cuales sirven para determinar la capacidad erosiva de la corriente, las obras de protección requeridas, las rectificaciones posibles de implantar, así como la embarcación tipo que llegará a emplearse.

Para el desarrollo de un proyecto tal, se plantean los estudios y métodos para el análisis de información de carácter morfológico, hidrométrico, topográfico, toponidráulico e hidrológico.

Es importante no olvidar que los estudios preliminares dentro de un proyecto de ingeniería toman un papel muy importante, pues en muchas de las ocasiones es la etapa donde se toman las decisiones más importantes de un proyecto, tal como, si es que el proyecto se realizará o no, su ubicación, los alcances y posibles repercusiones sociales, económicas y de desarrollo, además de que la información recabada durante esta etapa, es información que se utilizará más adelante y muchos de los estudios son base importante de las determinaciones finales con respecto al proyecto, siendo así que, si desde este momento se consideran todas las opciones posibles, como lo son: las condiciones del lugar (desde puntos de vista social, económico, ambiental, etc.), estudios realizados del lugar, aspectos técnicos que permitan saber que tan benéfica resulta una obra, la etapa de proyecto definitivo se facilita en gran medida.

#### 3.1 Información Morfológica

La morfología de los ríos se encarga del reconocimiento, análisis de la estructura y forma de estos, así como de la configuración en planta, la geometría de la secciones, la forma del fondo y las características del perfil.

##### 3.1.1 Clasificación de los ríos

- A. Por el tiempo en que transportan agua, (figura 3.1.1).
- Perennes. En una corriente perenne el punto más bajo del cauce se encuentra siempre abajo del nivel de aguas freáticas. Estas corrientes transportan agua durante todo el año y siempre están alimentadas, totalmente o en parte, por el agua subterránea, es decir, son efluentes.
  - Intermitentes. Este tipo de corriente transporta agua durante la época de lluvias de cada año, cuando el nivel freático asciende hasta quedar por encima del punto A, (figura 3.1.1). En época de secas el nivel freático queda por abajo de dicho punto y la corriente no transporta agua, salvo cuando se presenta alguna tormenta.

- Efímeras (influentes). En este caso el nivel freático está siempre abajo del punto A (figura 3.1.1) y transportan agua inmediatamente después de una tormenta y en este caso, alimentan a los almacenamientos de agua subterránea.

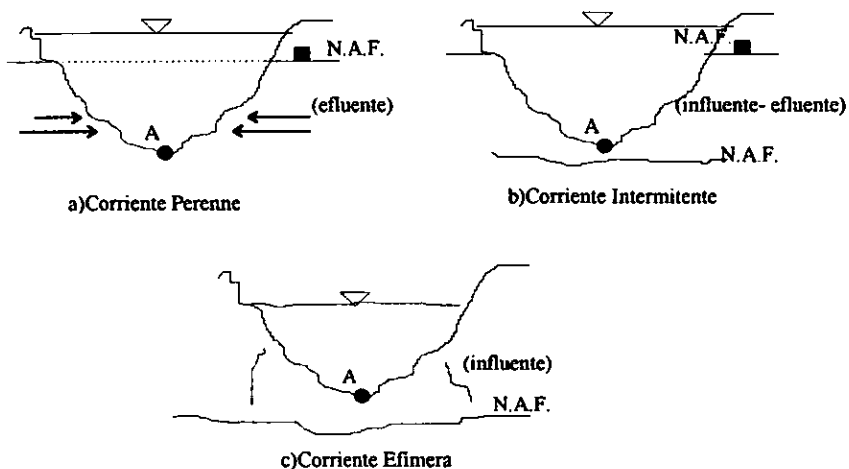


FIG 3.1.1 Clasificación de ríos, según el tiempo de transporte de agua

#### B. Por edad

- Jóvenes. Este tipo de ríos tienen pendientes altas y su sección transversal es de tipo "V".
- Maduros. Se encuentran en valles amplios y sus pendientes son bajas, por lo regular la erosión de las márgenes es mucho más acelerada que la de fondo, pero a pesar de esto, la sección es capaz de transportar los sedimentos del cauce.
- Viejos. Se encuentran en valles amplios y planicies donde el ancho es 15 a 20 veces mayor que el ancho de meandros <sup>1</sup>, las pendientes son más bajas que las de los ríos maduros por lo que no presentan rápidas en su recorrido.

#### C. Por estabilidad

- Estática. Este tipo de estabilidad se presenta cuando el río es capaz de arrastrar sedimentos, pero no es capaz de arrastrar las partículas de las márgenes del cauce.
- Dinámica. Es cuando los cambios propios de la corriente, el tipo de material de la plantilla y las orillas y los sedimentos transportados, forman una pendiente y una sección que año con año no cambian apreciablemente.

<sup>1</sup> Meandro. Curva vista en planta, formada por el río para ajustar la pendiente, cuando la del valle por donde fluye es mayor a la que requiere.

- Inestabilidad dinámica. En este caso el río siempre escurre por un sólo cauce y se desplaza apreciablemente en los meandros del río, así por un lado el cauce trata de alcanzar la pendiente de equilibrio al desarrollar los meandros y por otra se estrangulan rápidamente y se cortan debido a la erosión dominante de la margen exterior del mismo meandro.
- Morfológica. En cualquier río, la pendiente en cualquier tramo, la sección y el número de brazos, dependen del gasto líquido que escurre en un año y de su distribución, de las características de los materiales del fondo y orillas, y de la calidad y cantidad de sedimento que llega de aguas arriba y de aportaciones laterales.

D. Por tramos

Tipo de Cauce	$\phi / S_0$	Fr
Alta Montaña	> 10	>1
Montaña	> 7	0.7 a 1
Faldas de Montaña	> 6	0.045 a 0.7
Intermedio	>5	0.2 a 0.45
Planicie		
a) Río caudaloso	>2	0.14 a 0.44
b) Río poco caudaloso	>1	0.44 a 0.55

Nota <sup>2</sup>

donde :  $\phi$  = diámetro medio de partículas de fondo en m

$S_0$  = pendiente hidráulica en m/m

$Fr = V / (g y)^{1/2}$ , "V" es la velocidad media y "y" el tirante

E. Por grados de libertad

- Un grado de libertad. Es cuando al variar el gasto solo varía el tirante por lo que no existe transporte de sedimentos. Este caso sólo se presenta en los cauces revestidos.
- Dos grados de libertad. Cuando varían el tirante y la pendiente se dice que es un río con dos grados de libertad, esto ocurre en cauces con márgenes muy resistentes.
- Tres grados de libertad. Este tipo de ríos se presenta cuando varían el tirante, la pendiente y las márgenes.

F. Por tipo de material

- Cohesivo. Son cauces con material arcilloso.
- No cohesivos. Están formados por partículas sueltas que a su vez se dividen según el predominio de material grueso, en boleó, cantos rodados, grava y

<sup>2</sup> Ref. 7 Clasificación propuesta por Lojtin.

arena y arenoso, el parámetro que se utiliza es el diámetro medio de las partículas ( $D_m$ ).

- **Acorazados.** En estos gracias a su variación en la granulometría se puede tener transporte de sedimentos finos, lo que origina una capa protectora de material grueso en su superficie (coraza).
- **Bien graduados.** Es cuando los sedimentos de fondo son de tamaños diversos.
- **Mal graduados.** Se presentan cuando las partículas son de tamaños con poca variación entre unas y otras.

#### G. Por geometría

- **Rectos.** Esto se presenta en tramos muy pequeños pues con cualquier variación de alineamiento o con la formación de bancos y obstrucciones se originan curvas y meandros. Este tipo de cauce se presenta por lo regular en fallas geológicas, (figura 3.1.2).
- **Sinuosos.** Cuando el cauce presenta en su recorrido curvas no muy pronunciadas.
- **Con meandros.** Los cauces tienen curvas alteradas unidas por tramos rectos y cortos, tienen pendientes bajas y por lo regular presentan erosión en las márgenes exteriores, (figura 3.1.2). Estos cauces se clasifican a su vez en :
  - **Curvas superficiales.** Cambian su curso en el transcurso del tiempo.
  - **Curvas en trinchera.** Permanecen constantes.
- **Trenzados.** Su cauce se divide en varios brazos que se vuelven a unir aguas abajo, su sección es amplia y las pendientes son altas, el material es grueso y son sujeto de un fuerte proceso de sedimentación, (figura 3.1.2)
- **Con islas.** Se presentan islas en el recorrido de los ríos, mismas que se desplazan aguas abajo.
- **En estuario.** Se encuentran en desembocaduras a los océanos y se influyen por las mareas y se originan estratos con diferentes densidades dada su ubicación.
- **En pantano.** Son ríos con pendiente nula o muy pequeña y muy anchos. En su recorrido presentan zonas muertas.
- **Deltas.** Este tipo de ríos arrastran grandes cantidades de material y desembocan en el mar con bajas corrientes, así, comienza un proceso de sedimentación en la desembocadura del río que origina un abanico que por lo regular presenta varios brazos .

#### H. Por condición de transporte

Esta condición se basa en la carga de sedimento que presentan las corrientes y del modo de transporte del mismo ya sea en la capa de fondo, en suspensión y mixto, la clasificación general es la que sigue:

- Estable
- Erosionable
- Depositante

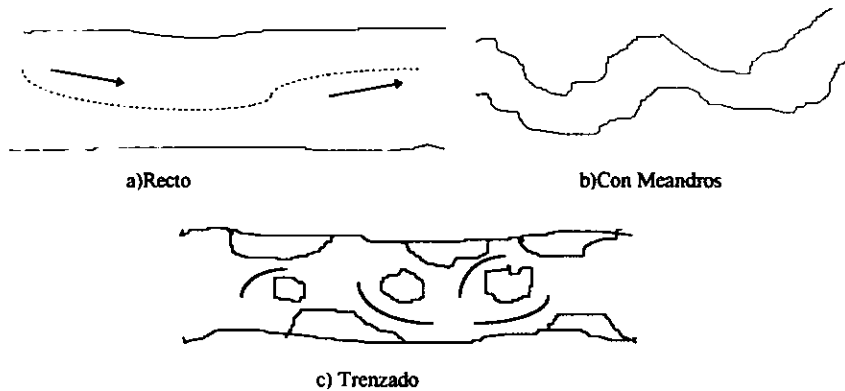


FIG 3.1.2 Configuración de ríos

#### 3.1.2 Características Físicas

Son principalmente seis factores que afectan directamente la morfología de los ríos a través del tiempo estos son: el gasto líquido, el gasto de sedimentos transportados, el diámetro del material de fondo, la pendiente del cauce, la relación ancho - tirante y la configuración de curvas (sinuosidad o meandreo). De los factores anteriores se puede ver que existen valores que son dependientes como lo son la relación ancho-tirante y el meandreo, pero en el caso del gasto de sedimentos y pendiente del cauce, existen dos circunstancias que son: primero cuando la pendiente es una variable independiente, que es cuando esta es determinada por factores geológicos, por lo que el valor del gasto de sedimentos queda en función de la pendiente, gasto líquido y diámetro del material; el otro caso es cuando el valor de gasto de sedimentos es el que permanece como variable independiente, esto sucede en las partes finales de los ríos donde la pendiente depende de la relación ancho - tirante y el meandreo.

En resumen los factores que afectan directamente la configuración de un cauce son el gasto, pendiente longitudinal, transporte de sedimentos, resistencia de las márgenes y del fondo, vegetación, temperatura, geología y por supuesto la intervención humana.

- **Velocidades.** El punto de máxima velocidad en la sección transversal de un río es aproximadamente de un 25 a un 30% más grande que la velocidad media, en cauces arenosos (planicie) la velocidad media máxima es igual a la velocidad media de una avenida (2 a 3 m/s).

- **Pendientes.** Esta característica disminuye conforme el recorrido del río, se relaciona con el aumento de gasto y con las características fisiográficas.

- **Márgenes.** Los materiales cambian con la longitud recorrida por el río. En el inicio generalmente están constituidos por roca o grandes cantos rodados. Al continuar hacia aguas abajo, el material de las márgenes cambia a gravas, arenas, limos y arcillas.

Estas márgenes generalmente se clasifican en cohesivas, no - cohesivas y estratificadas, las que están formadas con materiales cohesivos son más resistentes a la erosión que las no cohesivas y tienden a formar cauces estrechos, mientras que las no - cohesivas están asociadas a cauces anchos. Las márgenes de una corriente cambian continuamente en forma y dimensión, debido a la variación de la velocidad, tirante, pendiente, densidad, viscosidad de la mezcla agua - sedimento, concentración y características del material de fondo y en suspensión y geometría del cauce.

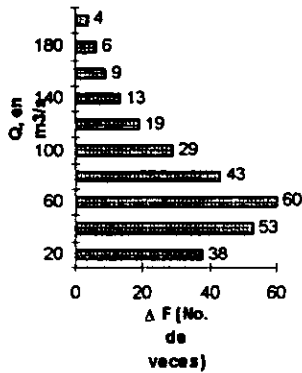
Se sabe que la erosión de las márgenes es causada por la combinación de la remoción de las partículas de la superficie y al pie del talud, ya sea en forma continua o intermitente y las fallas secuenciales de pequeños o grandes tramos del material en las márgenes.

De las fallas más comunes en una margen es el ataque de la corriente a su base. Al ocurrir esto, el material erosionado es transportado hacia aguas abajo y la margen se vuelve inestable hasta que falla, así la falla puede ocurrir como un desplome o como deslizamiento.

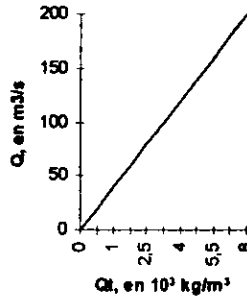
- **Transporte de material sólido.** El tamaño del material transportado por el fondo decrece hacia aguas abajo. Ello se debe principalmente al decaimiento de la capacidad de transporte del fondo ocasionada por los cambios de pendiente y sección y por la erosión. En el inicio del recorrido del río el transporte en la capa del fondo es el más importante, en tanto que en sus tramos finales lo es el del material del fondo en suspensión y el transporte de lavado.

- **Gasto formativo.** En las corrientes naturales la variación del gasto de sedimentos y líquido puede ser muy amplia, por lo que Inglis introdujo el concepto de *gasto formativo* como el gasto hipotético que producirá los mismos efectos, en la configuración del cauce, que la variación de los gastos reales, el mismo propone elegirse entre la mitad y los dos tercios del gasto máximo el valor de este gasto, existen otros métodos como el que propone Schaffernak modificado por el USBR, este criterio se puede entender de la siguiente forma: en la gráfica 1 se muestra la distribución de una serie de gastos medios registrados de un cierto número de avenidas, en la gráfica 2 se muestra la relación entre el gasto líquido y sólido, el gasto para el que se obtenga el mayor transporte de sedimento será el *gasto formativo*. Dicho gasto es el correspondiente al valor más grande del producto de  $Qt \cdot \Delta F$ .





Gráfica 1



Gráfica 2

• **Análisis Cualitativo.** Cuando al gasto escurre por un solo cauce se puede establecer que el ancho de la superficie libre del agua  $B$ , el tirante  $d$ , y la longitud de onda de los meandros  $M_L$ , están relacionados directamente con el gasto  $Q$ , y con la pendiente  $S$ . Por lo que se pueden establecer las siguientes expresiones:

$$Q \approx \frac{B, d, M_L}{S} \dots\dots(3.1.1)$$

$$Q_{BT} \approx \frac{B, S, M_L}{d, P}$$

y también

$$F = \frac{B}{d} \approx \frac{Q}{M} \dots\dots(3.1.2)$$

donde:  $Q_{BT}$  es el transporte de material de fondo

$M$  es el porcentaje de material fino transportado

$P$  la sinuosidad, la cual varía en forma inversa que  $Q$

el significado del  $M_L$  se puede entender mejor por medio de la figura 3.1.3.

Considerando las relaciones anteriores se puede establecer las siguientes expresiones de *análisis cualitativo*, donde el signo "+" indica incremento y el signo "-" indica decremento de la variable en cuestión.

$$Q^+ \approx B^+, d^+, M_L^+, S^- \dots\dots(3.1.3)$$

$$Q^- \approx B^-, d^-, M_L^-, S^+ \dots\dots(3.1.4)$$

$$Q^+_{BT} \approx B^+, d^-, M_L^+, S^+, P^- \dots\dots(3.1.5)$$

$$Q^-_{BT} \approx B^-, d^+, M_L^-, S^-, P^+ \dots\dots(3.1.6)$$

$$F^* = B/D \approx Q^*, M^* \dots (3.1.7)$$

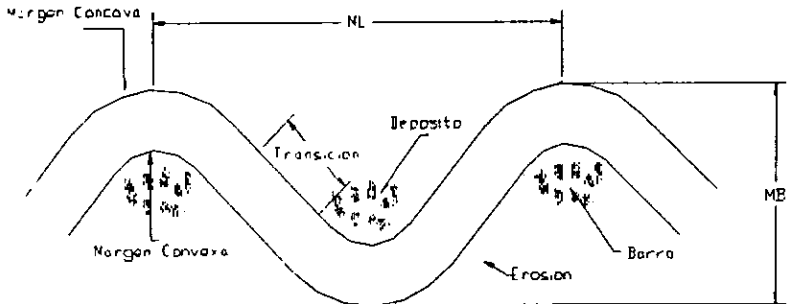


FIG 3.1.3 Meandros

Las anteriores ecuaciones se pueden ilustrar con el ejemplo siguiente:

Ejemplo1. Supóngase que se construye una presa en un río, la cual retendrá gran cantidad del sedimento transportado. Por lo tanto, en el primer tramo, aguas abajo de la obra, el gasto sólido disminuirá notablemente, pero el líquido no.

Empleando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$Q^* Q_{BT} \approx B^*, d^*, M_L^*, S^*, P^*, F^*$$

En esta última ecuación obtenida se puede notar como el transporte de material sólido decrece, el tirante y la sinuosidad crecen, en tanto que la pendiente y la relación ancho - tirante disminuyen, como  $F$  disminuye, es muy probable que el ancho también disminuya, lo cual generalmente ocurre. La longitud de onda de los meandros probablemente permanecerá constante, sin embargo, como la sinuosidad aumenta, se puede suponer que  $M_L$  disminuirá.

Un *análisis cualitativo* permite anticipar los cambios que se pueden esperar al cambiar o alterar las condiciones de una corriente natural estable, lo que es importante debido a que nos permite decidir las medidas a seguir en una corriente durante el periodo de inestabilidad, que requiere para adaptarse a las nuevas condiciones que se provoquen directa o indirectamente en el establecimiento de obras para obtener una vía navegable.

### 3.1.3 Meandros.

La evolución de los meandros puede clasificarse en dos categorías:

- a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro.
- b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento y finalmente el corte del mismo.

Sin embargo, ambos efectos pueden presentarse simultáneamente en algunos sitios. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río, por lo que disminuye a su vez la pendiente.

### 3.1.3.1 Parámetros principales.

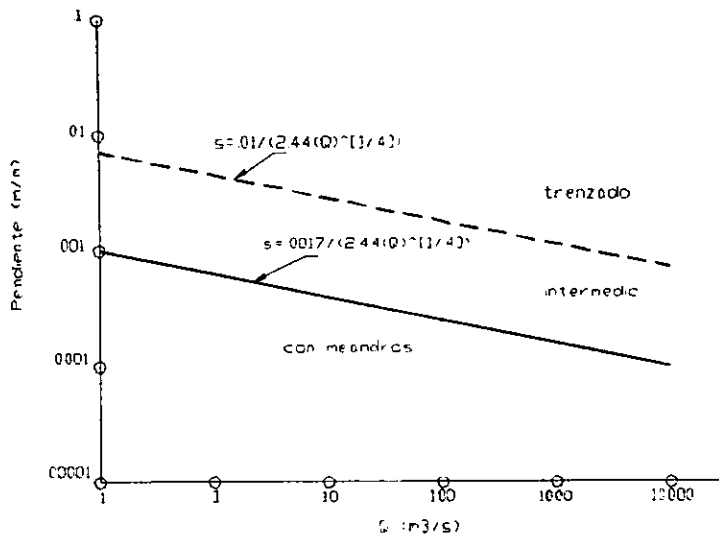
Meandro, es el mecanismo por el cual un río ajusta su pendiente, cuando la del valle por donde fluye es mayor que la que requiere. La configuración y geometría de un cauce con meandros está determinada por la erosión y socavación de la margen exterior o cóncava y el depósito de sedimentos a lo largo de la margen interior o convexa. En la figura 3.1.3 se mostraron los principales parámetros a tener en cuenta en el estudio de un meandro, estos son: el ancho del meandro  $M_B$ , la longitud de onda  $M_L$ , el ancho del cauce  $B$  y la sinuosidad  $P$ . Con gastos altos, la socavación del cauce ocurre en la parte exterior de la margen cóncava y al pie de su talud. El depósito de este material ocurre en las transiciones y en la zona interior de las curvas. Con gastos bajos hay depósito en las curvas y las transiciones tienden a socavarse y profundizarse.

El investigador Lane analizó gran número de ríos y estableció una relación entre el gasto medio, la pendiente, el material de fondo y de las márgenes y de la forma del río en planta. La ecuación que propone para ríos con meandros y trezados es la siguiente, siempre y cuando el fondo sea de arena:

$$S = \left( \frac{K}{2.44} \right) Q^{-0.25} \dots (3.1.8)$$

donde: S es la pendiente, en m/m  
 Q es el gasto medio anual, en m<sup>3</sup>/s  
 K es un coeficiente que toma en cuenta la forma del cauce en planta.

En la gráfica 4 se muestran los valores de K, dicha gráfica debe usarse de la siguiente manera: conocido el gasto medio anual y la pendiente del río, se ubica un punto en dicha gráfica. Si el punto queda bajo la recta de  $K=0.0017$ , el río será meandreante, si está sobre la recta de  $k=0.01$  será trezado y si está entre las dos se tendrá un caso intermedio.



Gráfica 4

En contraste con el meandro libre de una corriente, hay una gran cantidad de ríos, donde debido a su origen y a la resistencia del material donde se alojan, el meandro es prácticamente fijo; es decir, se trata de un cauce con meandros en trinchera.

### 3.1.3.2 Cortes y Cauce piloto

Si analizamos la evolución de un meandro, las curvas aumentan su longitud, pero debido a la erosión de los márgenes exteriores de las curvas, se produce un acercamiento entre los márgenes cóncavos hasta que ocurre un estrangulamiento y éste se corta (figura 3.1.4). Esto sucede en una avenida grande cuando se excede la capacidad del cauce y el agua pasa sobre la parte más estrecha, erosionando los márgenes y produciendo así, un canal más corto llamado también corte o rectificación. Eventualmente este nuevo cauce amplio y profundo aísla al antiguo meandro dejándolo como un lago con forma de cuerno o herradura.

Existen ocasiones en que se requiere controlar el corte de un meandro, bien sea para evitar una ruptura violenta que altere de manera importante el régimen ya establecido del río, o bien, para acortar o mejorar la navegación en ciertos tramos. Dicho control puede requerir desde la construcción completa del corte necesario para rectificar al río, hasta solamente la excavación de un canal o cauce piloto, que posteriormente el propio río agrande hasta alcanzar su equilibrio y conducir el escurrimiento completo.

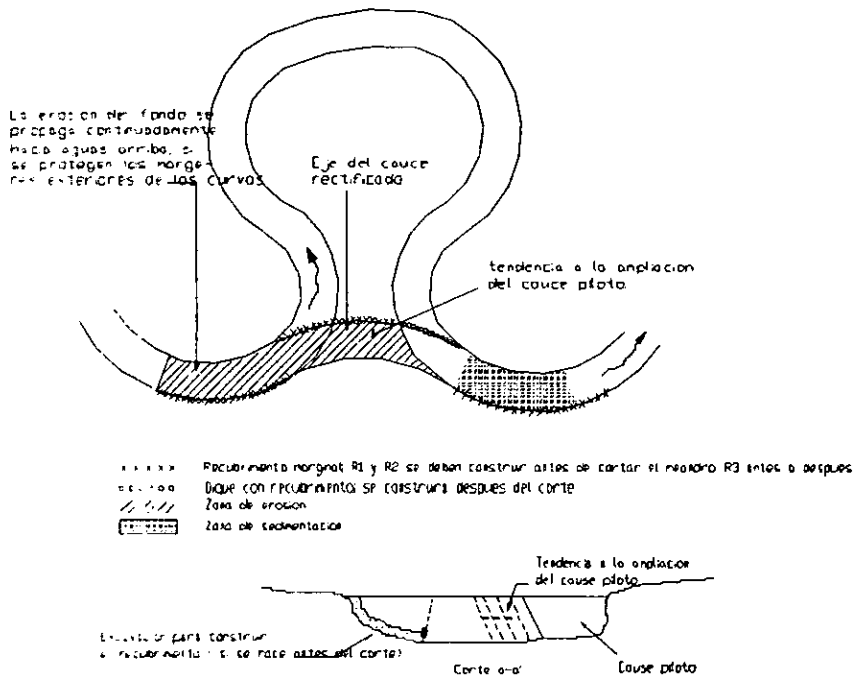


FIG 3.1.4 Corte de un meandro

Cuando diseñamos los cortes artificiales, estamos obligados a tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Alineamiento de los dos extremos del corte; este debe ser tangencial a la dirección del flujo principal.
- Entrada al corte; debe ser acampanada.
- En lo posible debe realizarse la excavación en material aluvial, es decir, en los sitios de depósito del propio río. Se debe cuidar que la energía a la salida, sea al menos igual a la de la corriente principal de ese sitio.

El fondo del cauce piloto a la entrada y salida del mismo, coincide con la elevación del fondo del río en esos sitios. La profundidad de excavación del cauce piloto se lleva hasta la línea recta teórica que una esas dos elevaciones.

Como ancho del corte se considera el mayor valor obtenido de los siguiente criterios: a) el ancho debe ser como mínimo igual a dos veces la altura del corte, ya que si parte del flujo tiene una acción erosiva elevada y se desliza una parte de la margen, se evita que el cauce piloto se cierre, b) el ancho que garantice un radio hidráulico mínimo que cumpla con la condición de que el esfuerzo cortante en el fondo,  $\tau_0 = \gamma R S$  sea mayor que tres veces el esfuerzo cortante crítico para iniciar el movimiento de las partículas.

Un criterio para determinar las dimensiones de los cauces pilotos, es el de la sección más económica que asegure la ampliación y el buen desarrollo del corte por el propio río. El cálculo hidráulico debe hacerse teniendo en cuenta la compatibilidad de los perfiles y gradientes de energía, tanto aguas arriba como con el de aguas abajo del corte.

Esto se realizará para diferentes gastos de desvío y junto con el aspecto económico, se elegirá el más económico.

### 3.1.4 Curvas

En un río las curvas se clasifican en; superficiales, en trinchera y en deformadas o limitadas.

Una curva superficial es una curva cortada en material depositado y el río normalmente meandrea. La pendiente de la corriente es comúnmente más baja que la del fondo del valle y la longitud del cauce es mucho más grande que la longitud del valle.

Una curva en trinchera corta profundamente el lecho original y sigue la curvatura del valle, por lo cual las paredes del valle forman parte de las márgenes de la corriente. La pendiente y la longitud son las mismas para el valle y la corriente.

#### 3.1.4.1 Tirante en las curvas.

En las curvas de tipo libre y limitado, el tirante crece gradualmente desde la transición de aguas arriba de la curva, alcanzando un máximo aguas abajo del ápice de la curva. En curvas forzadas, el tirante crece rápidamente al comienzo de la curva hasta un máximo en la parte media de la misma, luego decrece gradualmente hacia aguas abajo.

$$d_{\max} = \varepsilon d_m \dots (3.1.9)$$

donde:  $d_{\max}$  = profundidad máxima en la curva, en m

$d_m$  = profundidad media en el tramo recto situado aguas arriba, en m

$\varepsilon$  = coeficiente que depende del ancho de la superficie libre  $B$  y del radio de curvatura  $r$ , ambos en m.

#### 3.1.3.2 Flujo helicoidal en curvas.

A lo largo de un escurrimiento, la fuerza centrífuga que actúa, produce una sobreelevación de la superficie libre en la margen cóncava y un descenso en la margen convexa, esta sobreelevación asociada a una pérdida de energía a lo largo del fondo, produce un flujo helicoidal cuya velocidad transversal mueve la carga del fondo hacia la margen convexa donde se acumula, (figura 3.1.5).

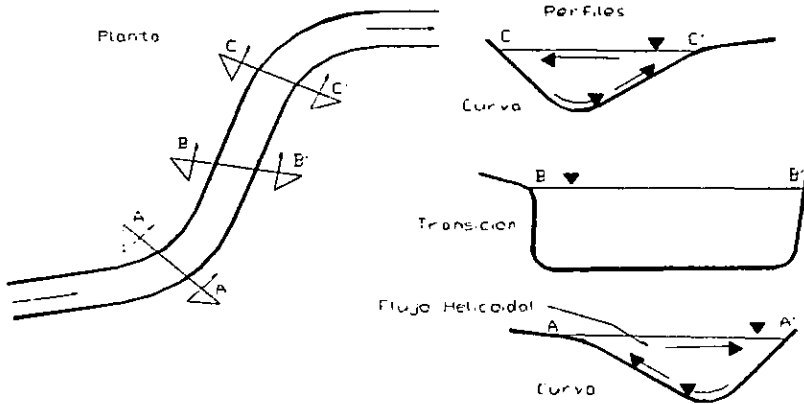


FIG 3.1.5 Secciones entre dos curvas

### 3.1.4.3 Erosión y depósito en curvas.

Sus velocidades son normalmente más altas en la margen exterior o cóncava de una curva durante el escurrimiento normal, aunque en una avenida grande las velocidades más altas se presentan cerca de la parte interior o margen convexa de la curva. Las observaciones de campo indican que el 90% de la erosión de las márgenes ocurre durante las avenidas.

### 3.1.5 Transiciones

Estas se localizan entre las curvas que son donde el flujo cambia de una margen a la opuesta, (figura 3.1.5), y son de sección casi rectangular. La pendiente de la superficie del agua en el inicio de la transición es normalmente plana y alta debido al depósito de material, sin embargo, a la salida, se vuelve más pronunciada la pendiente. Entre una sección curva y una transición, el tirante máximo decrece, así como también el ancho.

### 3.1.6 Abanicos Aluviales

Se definen como abanicos aluviales a los depósitos de sedimento cuya forma semeja un segmento de sección cónica, visto en planta parece un abanico y tiene una pendiente casi uniforme desde el ápice hasta el borde final, (figura 3.1.6). Se presentan normalmente en áreas áridas y montañosas con pendientes fuertes, aunque en ocasiones también se encuentran en zonas húmedas. Ocurren en el punto donde la corriente pasa de un cauce estrecho a otro muy amplio, o bien cuando la pendiente se disminuye abruptamente.

En el ápice del abanico, donde las velocidades decrecen repentinamente, la corriente deposita grandes cantidades de material, parte del cual es arrastrado por las siguientes avenidas. Dicho material continúa moviéndose al ser transportado por el agua, o bien como una masa de lodo. Los canales que se forman en los abanicos aluviales son generalmente en trinchera y sobre

todo en el ápice, pero en muchos casos son efímeros o intermitentes, aunque también los hay perennes. El flujo en estos canales ocurre con tirante y velocidad mayor que la crítica. Es posible que el transporte de sedimento sea inestable y que continuamente el régimen cambie de inferior a superior.

### 3.1.7 Deltas

Cuando se acumulan grandes depósitos de material generalmente fino, se forman lo que conocemos como deltas. Estas ocurren donde la velocidad se reduce repentinamente por la entrada de la corriente a un gran cuerpo de agua como puede ser un lago, un embalse o el mar. Los deltas tienen una forma generalmente triangular y la corriente descarga a través de un gran sistema de cauces de diferentes dimensiones. Las principales variables que intervienen en su formación son la temperatura, gasto, carga de sedimento, salinidad y la pendiente del río. En el caso especial de los embalses, el material grueso constituye la mayor parte del delta y el material fino se deposita aguas abajo de éste.

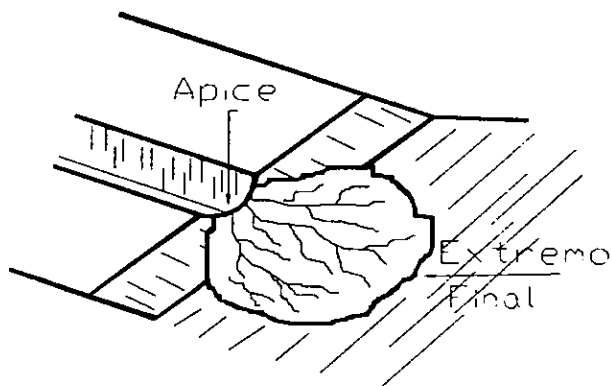


FIG 3.1.8 abanico Aluvial

Como ejemplos de grandes deltas formados con descargas al mar están los de los ríos Mississippi, Colorado, Nilo, Gange y Níger.

Los principales problemas que se pueden presentar al existir un delta, son los siguientes:

- a) Subsistencia del suelo y deterioro de niveles.
- b) Daños por inundación aguas arriba e intrusiones salinas.
- c) Deterioro del medio ambiente.



### 3.2 Información Hidrológica e Hidrométrica

Como ya sabemos, la hidrología es la ciencia que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Así, el análisis hidrológico es el primer paso en la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos. En la etapa de planeación y diseño, el análisis se dirige básicamente a fijar la capacidad y seguridad de estructuras hidráulicas. Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan por medio de los volúmenes y gastos que se deseen almacenar, controlar o transmitir. Siendo así que se requieren estudios hidrológicos para determinar la disponibilidad de fuentes naturales y para saber si el abastecimiento de la fuente es suficiente y adecuado en todo tiempo, o si se requerirá de otras estructuras para corregir las deficiencias o para disponer de los volúmenes excedentes de agua.

Es difícil tratar muchos de los problemas hidrológicos mediante un razonamiento deductivo riguroso y no siempre es posible comenzar por una ley básica y determinar a partir de ésta el resultado hidrológico deseado, por lo que resulta necesario partir de un conjunto de hechos observados y mediante un análisis empírico, establecer las normas sistemáticas que gobiernan tales hechos.

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre se evapora bajo el efecto de los rayos solares y el viento. El vapor de agua formado se eleva y se transporta en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o puede ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar, este proceso conforma el concepto fundamental de la hidrología que conocemos como el ciclo hidrológico, (figura 3.2.1)

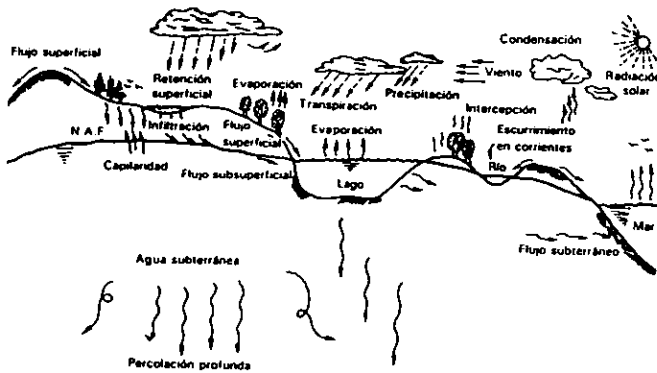


FIG 3.2.1 Ciclo Hidrológico

De los fenómenos que conforman el ciclo hidrológico (precipitación, evaporación, infiltración, transpiración y escurrimiento) en este trabajo sólo se tratarán el escurrimiento y la infiltración (en menor grado); dado que la precipitación trata más específicamente de los métodos que existen para la medición de la misma y de las consideraciones correctivas para obtener datos confiables, siendo así que este fenómeno trata de manera indirecta con el estudio del escurrimiento. En el caso de la evaporación, se considera mínima pues los estudios se realizan sobre un río, en el que su área expuesta a los rayos del sol no es tan grande como para que este fenómeno sea determinante en su comportamiento hidráulico, además, como lo veremos más adelante los tiempos que se consideran en su estudio repercuten en las consideraciones de este fenómeno. Con respecto a la infiltración sólo se mencionan métodos empíricos para el tratamiento de este fenómeno, pero en este caso no se consideran sus efectos sobre el cauce.

Para los estudios hidrológicos es necesario conocer el concepto y características fundamentales de la *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.

Existen 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, (figura 3.2.2).

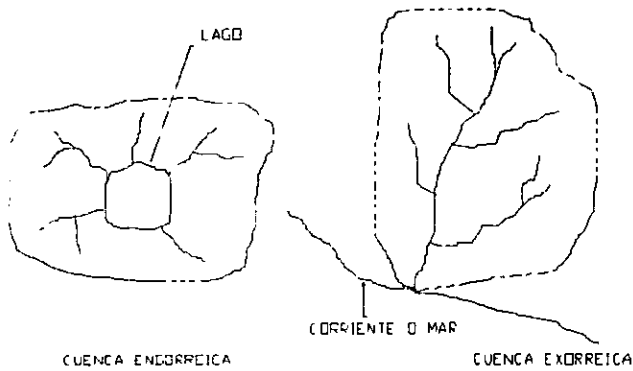


FIG 3.2.2 Tipos de cuencas

Dentro de una cuenca podemos encontrar las siguientes características, las cuales a su vez se clasifican según la manera en que controlan los fenómenos: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces.

**Parteaguas:** es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas, (figura 3.2.3).

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

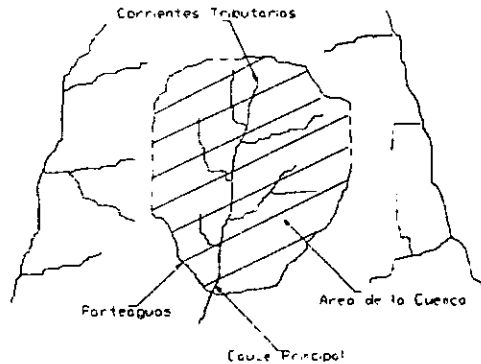


FIG 3.2.3

**Corriente principal de una cuenca:** es la corriente que pasa por la salida de la misma. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Así se deduce que cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal.

Existen indicadores en una cuenca que nos permiten saber el grado de respuesta de las mismas a la precipitación, estos se les conoce como "indicadores del grado de bifurcación", y son los siguientes:

- **Orden de corrientes.** Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida, (figura 3.2.4).
- **Densidad de corrientes  $D_s$ .** Se define como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área.
- **Densidad de drenaje  $D_d$ .** Es la longitud de corrientes por unidad de área:

$$D_s = \frac{N_s}{A} \dots\dots(3.2.1)$$

$$D_d = \frac{L_s}{A}$$

donde:  $N_s$  = número de corrientes perennes e intermitentes

$L_s$  = longitud total de corrientes

$A$  = área de la cuenca

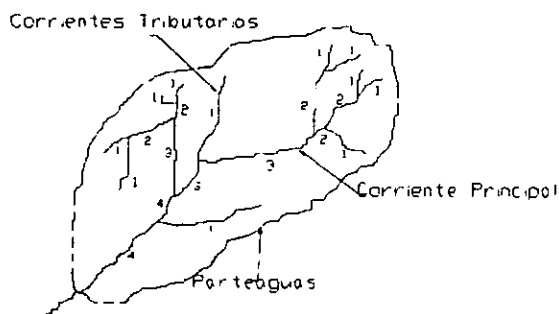


FIG 3.2.4

- **Pendiente del cauce principal.** Es uno de los indicadores más importantes. 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) **pendiente media:** es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.
  - b) **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.

La velocidad de recorrido del agua en el tramo  $i$  es igual a:

$$V_i = k\sqrt{S_i} \dots(3.2.2)$$

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

$$V_i = \frac{\Delta x}{t_i} \dots(3.2.3)$$

donde  $\Delta x$  es la longitud del tramo  $i$  y  $t_i$  es el tiempo de recorrido en ese tramo.

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

$$V = \frac{L}{T} = k\sqrt{S} \dots(3.2.4)$$

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

$$T = \sum_{i=1}^m t_i = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta x}{k\sqrt{S_i}} \dots(3.2.5)$$

y la longitud  $L$ :

$$L = \sum_{i=1}^m \Delta x = m\Delta x \dots(3.2.6)$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.2.5 y 3.2.6 en 3.2.4 queda  $S$  de la siguiente manera:

$$S = \left[ \frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \dots(3.2.7)$$

Si seguimos un razonamiento similar considerando ahora la longitudes de los tramos diferentes obtenemos la siguiente expresión:

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \dots(3.2.8)$$

donde  $l_i$  es la longitud del tramo  $i$ .

### 3.2.1 Escurrimiento.

Como mencionamos, el *escurrimiento* es un parte fundamental del ciclo hidrológico, por lo que es importante considerar sus efectos sobre los estudios que nos competen dentro de este trabajo. El *escurrimiento* es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Este se divide en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él, a esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

Una de las representaciones gráficas que se obtiene del escurrimiento son los hidrogramas (volumen de escurrimiento por unidad de tiempo), estos se trataran de manera más específica en el siguiente subcapítulo.

#### 3.2.1.1 Aforo

Otro aspecto importante en la elaboración de estudios hidrológicos e hidrométricos con respecto al escurrimiento es el aforo. Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasa por una sección dada. En México se usan básicamente tres tipos de métodos para aforar corrientes:

- a) Secciones de control.
- b) Relación sección - pendiente.
- c) Relación sección - velocidad.

#### A. SECCIÓN DE CONTROL

Una *sección de control* de una corriente es aquella en la que existe una relación única entre el tirante y el gasto, las más comunes son las que producen un tirante crítico y los vertedores.

Se forma un tirante crítico elevando el fondo del cauce, estrechándolo o con una combinación de las dos técnicas. Cuando se utiliza la primera, el gasto se calcula usando la fórmula de vertedores de pared gruesa:

$$Q = \frac{2}{3} BH \frac{\sqrt{2}}{3} gH = 1.7 BH^{3/2} \dots (3.2.9)$$

donde: B= es el ancho del cauce en m

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

H= es la carga sobre el vertedor en m

Q= es el gasto en m<sup>3</sup>/s .

Otra manera de provocar la formación de un tirante crítico es cuando la topografía permite disponer de una caída libre; en este caso el gasto se calcula con el tirante medido justo en la caída:

$$Q = 1.65By\sqrt{gy} \dots (3.2.10)$$

donde  $y$  está en m,  $g$  en  $m^2/s$ ,  $B$  en m y  $Q$  en  $m^3/s$ .

Los vertedores de pared delgada recomendables para realizar aforos son el triangular con ángulo de  $90^\circ$  para gastos pequeños (de 0 a 100 l/s) y el rectangular para gastos mayores (de 100 a 1000 l/s), (figura 3.2.5).

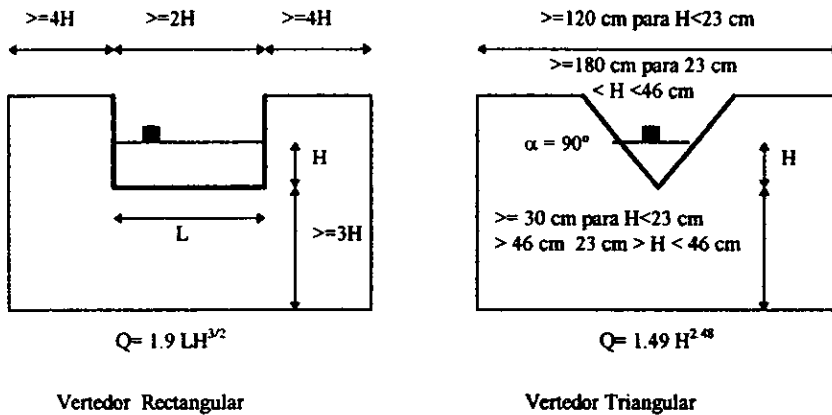


FIG 3.2.5

En la anterior figura  $H$  es la carga sobre la cresta del vertedor en m, medida a una distancia cuando menos  $4H$  aguas arriba de la cresta;  $L$  es la longitud de la cresta en m y  $Q$  es el gasto en  $m^3/s$ .

El método de las secciones de control es el más preciso de todos para el aforo, pero presenta algunos inconvenientes, en primer lugar es relativamente costoso y por lo general sólo se puede usar cuando los gastos no son muy altos, un inconveniente de los vertedores es que generan un remanso aguas arriba de la sección, lo que repercute en la veracidad de los datos obtenidos.

### B. RELACIÓN SECCIÓN-PENDIENTE

Para la aplicación de este método se requiere contar con la topografía de un tramo del cauce y las marcas de nivel máximo del agua durante el paso de la avenida. Según la fórmula de Manning, la velocidad es:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \dots (3.2.11)$$

donde:  $R$  = radio hidráulico

$S_f$  = pendiente de la línea de energía específica

$n$  = coeficiente de rugosidad.

Además, sabemos que:

$$Q = vA \dots(3.2.12)$$

donde  $A$  es el área hidráulica.

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los extremos inicial y final del tramo resulta (figura 3.2.6):

$$z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots(3.2.13)$$

Sustituyendo la velocidad de la ecuación 3.2.12 en 3.2.13, obtenemos que:

$$h_f = \Delta y + \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \dots(3.2.14)$$

donde  $\Delta y = (z_1 + y_1) - (z_2 + y_2)$  = diferencia en elevación de las marcas del nivel máximo del agua en los extremos del tramo.

Utilizando las ecuaciones 3.2.11 y 3.2.12 se puede escribir:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} = \bar{K}_d S_f^{1/2} \dots(3.2.15)$$

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:

$$\bar{K}_d = \sqrt{K_{d1} K_{d2}} ; K_{d1} = \frac{A_1 R_1^{2/3}}{n_1} \dots(3.2.16)$$

Utilizando las ecuaciones 3.2.14 y 3.2.15 y tomando en cuenta que  $h_f = S_f L$ , se obtiene:

$$\frac{Q^2}{\bar{K}_d^2} = \frac{\Delta y}{L} + \frac{Q^2}{2gL} \left( \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) \dots(3.2.17)$$

despejando  $Q$ :

$$Q = \frac{\sqrt{\Delta y / L}}{\sqrt{\frac{1}{\bar{K}_d^2} - \frac{1}{2gL} \left( \frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right)}} \dots(3.2.18)$$

Con la ecuación 3.2.18 es posible estimar el gasto de pico de una avenida si se conocen las marcas del nivel máximo del agua en las márgenes, la rugosidad del tramo y la topografía del mismo.



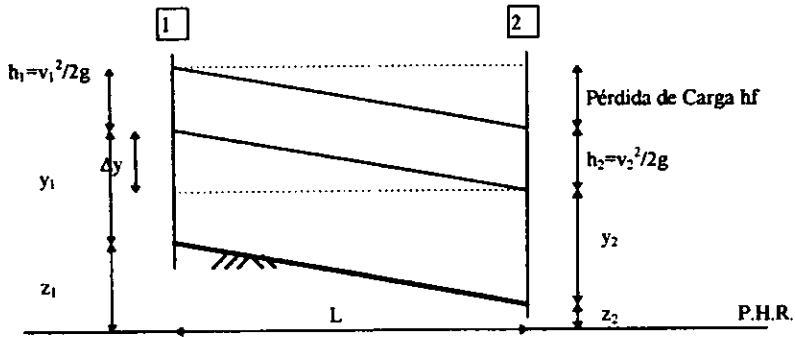


FIG 3.2.6

**C. RELACIÓN SECCIÓN - VELOCIDAD**

Este método consiste en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad.

La velocidad del flujo en una sección transversal de una corriente tiene una distribución como la que se muestra en la figura 3.2.7.

En este método no sólo es necesario medir la velocidad sino que también se requiere de dividir la sección transversal del cauce en varias secciones llamadas dovelas. El gasto que pasa por cada dovela es:

$$q_i = a_i v_{mi} \dots (3.2.19)$$

donde  $a_i$  es el área de la dovela  $i$  y  $v_{mi}$  es la velocidad media en la misma dovela.

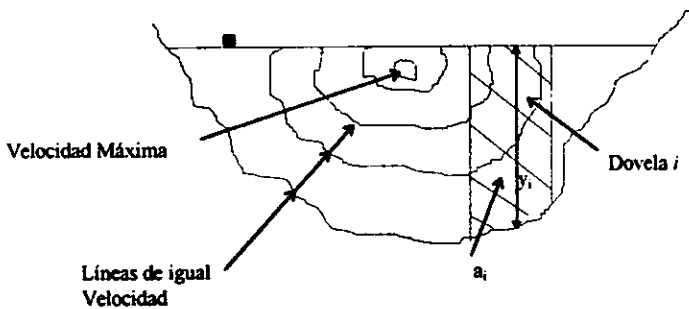


FIG 3.2.7

Como velocidad media  $v_{mi}$  se puede tomar la medida a una profundidad de  $0.6 y_i$  aproximadamente, cuando  $y_i$  no es muy grande y donde  $y_i$  es el tirante medido al centro de la dovela; en caso contrario, conviene tomar al menos dos medidas a profundidades de  $0.2 y_i$  y  $0.8 y_i$ ; así la velocidad media es el promedio aritmético de estas cantidades:

Es recomendable medir la profundidad de cada doveia cada vez que se haga un aforo. Entonces, el gasto total será:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \dots (3.2.20)$$

donde n es el número de doveias.

Esta velocidad se mide con unos aparatos llamados molinetes, los cuales transmiten por un cable el número de revoluciones por minuto o por segundo con que gira la hélice. Esta velocidad angular se traduce después a velocidad del agua usando una fórmula de calibración que depende de cada aparato en particular.

Este método en particular presenta el inconveniente de que en cada aforo toma un tiempo relativamente largo (del orden de una hora o más), por lo que durante una avenida se pueden hacer sólo unas cuantas mediciones, lo que podría no ser suficiente para confirmar todo el hidrograma y menos aún determinar el pico.

### 3.2.1.2 Curvas Elevaciones - Gastos.

Una *curva elevaciones - gastos* relaciona la elevación de la superficie libre del agua con el gasto que pasa por la sección y se conforma con datos obtenidos en varios aforos.

El diferente comportamiento que presenta la elevación de la superficie libre del agua cuando el gasto aumenta y cuando disminuye (histéresis), se debe a que la pendiente hidráulica del flujo es mayor durante el ascenso de los hidrogramas que durante el descenso. Se acostumbra ajustar los puntos medidos a una curva media que tiene una ecuación del tipo:

$$Q = C (E - E_0)^n \dots (3.2.21)$$

donde:  $E_0$  es la elevación para la que el gasto es nulo

C y n son dos constantes que se determinan, por ejemplo, obteniendo logaritmos de la ecuación 3.2.21 y luego se aplica el método de mínimos cuadrados.

Una vez conocida la curva de elevaciones - gastos de la sección de aforos, es suficiente con determinar la elevación de la superficie libre del agua para conocer el gasto en cualquier momento. Dicha elevación se determina con alguno de los métodos:

- a) Limnómetro. Es una regla graduada que se coloca en una de las márgenes del cauce.
- b) Peso suspendido de un cable.
- c) Limnógrafo. Es un aparato automático con el que se obtiene un registro continuo de niveles.

### 3.2.2 Infiltración

Una de las causas principales de las pérdidas que se originan en un río es el fenómeno de infiltración el cual se produce debido a las fuerzas gravitacionales y capilares. Los principales factores que afectan este proceso se pueden enlistar de la siguiente manera:

- a) Textura del suelo
- b) Contenido de humedad inicial
- c) Contenido de humedad de saturación
- d) Cobertura Vegetal
- e) Uso de suelo
- f) Aire atrapado
- g) Lavado de material fino
- h) Compactación
- i) Temperatura

Existen varios métodos para la determinación de los efectos de este fenómeno, el tratamiento de estos métodos se hace en base a dos criterios principales: el de la capacidad de infiltración media y el del coeficiente de escurrimiento. El análisis detallado de estos criterios se puede consultar en la ref. 20.

### **3.3 Análisis de Tránsito de Avenidas**

A continuación se presentan los conceptos fundamentales para el tránsito de avenidas y dimensionamiento de vasos, los que son de gran importancia, pues constituyen las bases sobre las que se sustentan la construcción y dimensionamiento de las obras hidráulicas debido al tipo de datos que se obtienen de ellos.

Un vaso de *almacenamiento* sirve para regular los escurrimientos de un río, es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en las épocas de sequía, cuando los escurrimientos son escasos.

Un vaso de almacenamiento puede tener uno o varios de los siguientes propósitos:

- a) **Irrigación.**
- b) Generación de energía eléctrica.
- c) Control de avenidas.
- d) Abastecimiento de agua potable.
- e) **Navegación.**
- f) Acuicultura.
- g) Recreación.
- h) Retención de sedimentos.

Como principales componentes de un vaso de almacenamiento se presentan los siguientes en la figura 3.3.1.

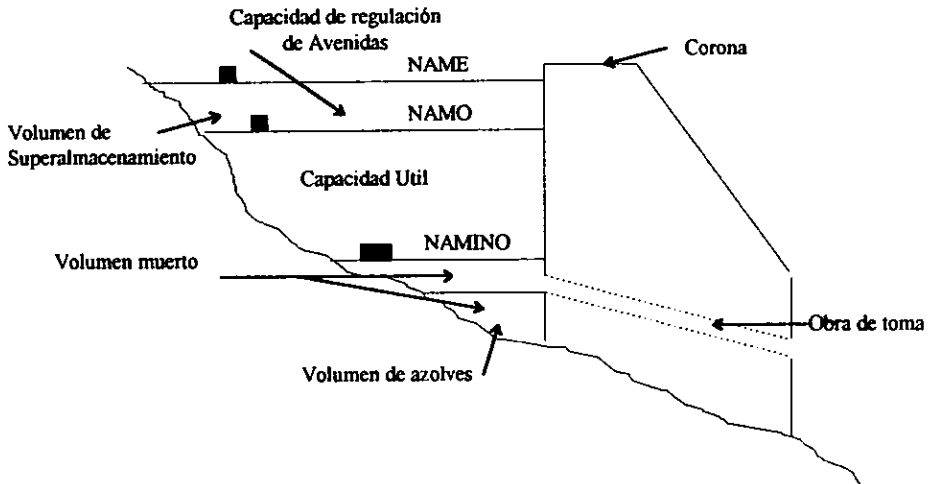


FIG 3.3.1

Cabe mencionar que los siguientes conceptos acerca de los componentes de un vaso están referenciados a una presa, sin embargo los conceptos son aplicables a cualquier cuerpo de agua y son términos que el Ingeniero debe relacionar según sea el caso.

**NAMINO** (nivel de aguas mínimas de operación): es el nivel más bajo con el que puede operar una presa, en ocasiones coincide con el nivel al que se encuentra la entrada de la obra de toma.

**Volumen muerto**: es el que queda abajo del NAMINO; es el volumen del que no se puede disponer. El volumen de azolves es el que queda abajo del nivel de la toma y se reserva para recibir el acarreo de sólidos por el río durante la vida útil de la presa. El NAMO es el máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas. El volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMINO se llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisfacen las demandas de agua.

**NAME** (nivel de aguas máximas extraordinarias): es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. El volumen que queda entre este nivel y el NAMO, llamado superalmacenamiento, sirve para controlar las avenidas que se presentan cuando el nivel en el vaso está cercano al NAMO. El espacio que queda entre el NAME y la máxima elevación de la cortina (corona) se denomina bordo libre y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento.

En resumen existen cuatro volúmenes principales en toda presa que es necesario determinar para diseñar un vaso: el volumen de azolves, el volumen muerto, el volumen útil y el volumen de superalmacenamiento.

Lo que se conoce como *tránsito de avenidas* sirve para determinar el hidrograma de salida de una presa dado un hidrograma de entrada. Algunas de sus principales aplicaciones son:

- a) Conocer la evolución de los niveles y de gastos de salida en una sección dada y a lo largo del río.
- b) Se obtiene el tiempo de llegada del pico de una avenida, así como el gasto y nivel de agua correspondientes. Esta información es necesaria para diseñar la altura de bordos, para planear medidas de emergencia y definir políticas de control o regulación.
- c) Fijar el NAME y las dimensiones de las obras de desvío y ataguías.
- d) Diseño de redes telemétricas para predicción de avenidas y de acciones de alarma, así como para estudiar el efecto de las medidas estructurales o no estructurales, como rectificación de tramos, bordos, etc.

En el tránsito de avenidas se usa la ecuación de continuidad:

$$I - O = dV/dt \dots (3.3.1)$$

donde  $I$  = gasto de entrada al vaso.

$O$  = gasto de salida del vaso.

$dV/dt$  = variación del volumen almacenado en el tiempo.

expresada en diferencia finitas como:

$$\frac{I_i + I_{i+1}}{2} - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \dots (3.3.2)$$

donde los subíndices  $i$  e  $i+1$  denotan valores al inicio y al final del intervalo de tránsito  $\Delta t$ , respectivamente.

El valor de  $\Delta t$  que se usa en el tránsito de avenidas, debido a la duración de las mismas, es considerablemente más pequeño que el empleado en la simulación del funcionamiento de vasos; en el primer caso,  $\Delta t$  es del orden de horas, mientras que en el segundo,  $\Delta t$  es en general de un mes. Por esto, durante el tránsito de una avenida, términos como la lluvia directa en el vaso, la evaporación y la infiltración son insignificantes y normalmente se ignoran. En términos globales es recomendable que el  $\Delta t$  que se use sea menor o igual a una décima parte del tiempo de pico del hidrograma de entrada:

$$\Delta t \leq 0.1t_p \dots (3.3.3)$$

### 3.3.1 Tránsito de Avenidas en Cauces.

Es necesario conocer la variación de un hidrograma al recorrer un tramo de cauce, para poder determinar el efecto de presas reguladoras en tramos aguas abajo, para diseñar bordos de protección contra inundaciones, obras de encauzamiento, entre otras. La simulación de la variación de un hidrograma al recorrer un cauce es lo que llamamos tránsito de avenidas en cauces.

Este problema es similar al tránsito de avenidas en vasos en el sentido de que el río mismo es una especie de almacenamiento alargado y de que la solución se da por medio de la ecuación de continuidad y alguna relación entre almacenamiento y gasto de salida. Sin embargo, aquí aparecen ciertas dificultades como:

- Con frecuencia no se tienen planos topográficos precisos del tramo y la relación descargas - volúmenes no se conoce.
- Casi siempre se tienen entradas a lo largo del tramo, adicionales a las de la sección aguas arriba, que no son conocidas.
- El nivel de la superficie libre del agua no es horizontal, como sucede en el caso de vasos, lo que implica que un mismo tirante en el extremo final del tramo se puede formar para diferentes gastos de salida.

Existen métodos para el tránsito de avenidas en cauces los que se pueden dividir en dos tipos: hidráulicos e hidrológicos.

Es importante para cualquier que sea el método a utilizar, considerar las hipótesis en las que se basan las ecuaciones principales de la hidráulica (continuidad, energía y cantidad de movimiento):

- el flujo es unidimensional por lo que la velocidad es uniforme en la sección transversal; además, el nivel del agua en dirección normal al flujo es horizontal.
- la curvatura de la líneas de corriente y las aceleraciones verticales son pequeñas; la distribución de presiones es hidrostática.
- las leyes de fricción y turbulencia usadas para el flujo uniforme permanente son válidas para el flujo no permanente.
- la pendiente del fondo del cauce o canal es pequeña.
- la densidad del agua es constante.

Los métodos hidráulicos se basan en la solución de la ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento para escurrimiento no permanente. En su forma diferencial estas ecuaciones son:

Conservación de masa:

$$y \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{B} \dots (3.3.4)$$

Conservación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \dots (3.3.5)$$

donde:  $y$  = tirante

$v$  = velocidad

$q$  = gasto lateral

$B$  = ancho de la superficie libre

$S_0$  = pendiente de fondo

$S_f$  = pendiente de fricción; si se calcula con la fórmula de Manning:

$$S_f = \frac{v^2 n^2}{R_H^{4/3}} \dots (3.3.6)$$

$R_H$  = radio hidráulico

$n$  = coeficiente de rugosidad

$x$  = coordenada espacial

$t$  = tiempo

Estas ecuaciones forman un sistema de ecuaciones diferenciales parciales hiperbólicas no lineales, del que no existe una solución analítica conocida. Por ello, es necesario resolverlo usando algún método numérico como el de las características, diferencias finitas o elemento finito.

En cambio, los métodos hidrológicos utilizan simplificaciones de la ecuaciones 3.3.4 y 3.3.5 para llegar a soluciones más simples, es decir en lugar de los efectos dinámicos, consideran el almacenamiento en el tramo.

De los métodos hidrológicos, el más conocido es el de Muskingum el cual se tratará más adelante.

### 3.3.2 Cálculo de Tirantes e Hidrogramas.

Si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendrá un *hidrograma*.

Un hidrograma se divide en las siguientes partes:

**A: punto de levantamiento.** En este punto, el agua proveniente de la tormenta comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que ceso de llover, dependiendo de varios factores, entre los que se pueden mencionar el tamaño de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia.

**B: pico.** Es el gasto máximo que se produce por la tormenta, por lo que se toma como punto de diseño en obras de ingeniería.

**C: punto de inflexión.** Este punto es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y el demás flujo escurre por canales o como escurrimiento subterráneo.

**D: final del escurrimiento directo.** De este punto en adelante el escurrimiento es sólo de origen subterráneo (punto de mayor curvatura de la curva de recesión).

**$T_p$ : tiempo de pico.** Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.

$T_b$ : *tiempo base*. Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el punto final del escurrimiento directo. Es entonces, el tiempo que dura el escurrimiento directo.

*Rama ascendente*. Es la parte del hidrograma que va desde el punto de levantamiento hasta el pico.

*Rama descendente o curva de recesión*. Es la parte del hidrograma que va desde el pico hasta el final del escurrimiento directo. Tomada a partir del punto de inflexión, es una curva de vaciado de la cuenca.

Cuando analizamos un hidrograma sabemos que el área bajo la curva,  $\int_{t_0} Q dt$ , es el *volumen total escurrido*; el área bajo el hidrograma y arriba de la línea de separación entre gasto base y directo,  $\int_{t_0} (Q - Q_b) dt$ , es el *volumen de escurrimiento directo*.

El escurrimiento base está formado normalmente por agua proveniente de varias tormentas que ocurrieron antes de la considerada y es muy difícil determinar a cuáles pertenece.

Existen varios métodos, algunos de los cuales se describen a continuación, para separar el gasto base del directo, pero la palabra final la tiene el criterio y buen juicio del ingeniero.

- a) Uno de los métodos más simples consiste en trazar una línea recta horizontal a partir del punto A del hidrograma. Este método en general sobrestima el tiempo base y el volumen de escurrimiento directo.

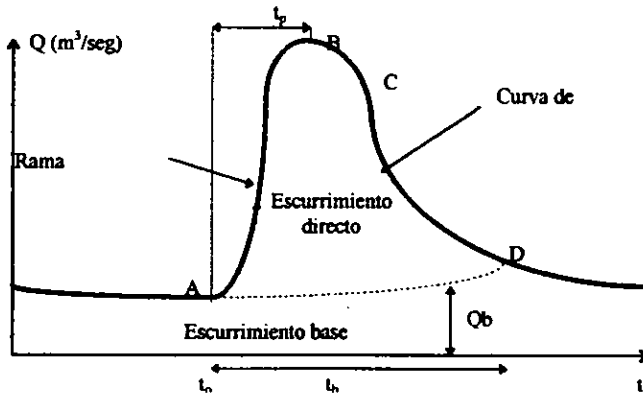
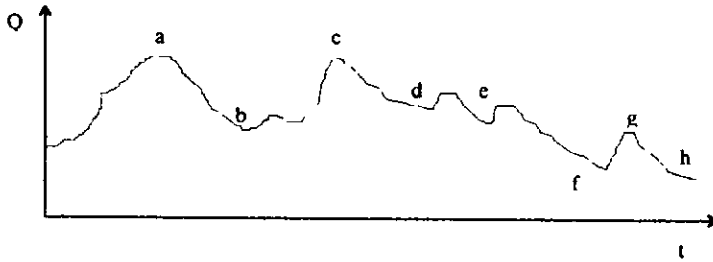


FIG 3.3.2 Hidrograma

- b) Otro método es el de determinar una curva tipo de vaciado del escurrimiento base, analizando varios hidrogramas y seleccionando aquellos tramos en que sólo exista escurrimiento base. En el ejemplo de la figura 3.3.3 estos tramos podrían ser los a-b, c-d, e-f, g-h, etc. Los tramos seleccionados se dibujan posteriormente en papel semilogarítmico de manera que sus extremos inferiores sean tangentes a una línea.





FG 3.3.3

Si uno de los tramos seleccionados está formado por escurrimiento directo, se nota de inmediato que no es tangente a dicha línea; por ello estos tramos se eliminan del análisis. La línea resultante se llama curva de vaciado del gasto base. El punto D del hidrograma (fig 3.3.2) se localiza superponiendo la curva de vaciado - dibujada en papel aritmético y a la misma escala que el hidrograma - a la curva de recesión del hidrograma. El punto D se encuentra entonces en donde ambas líneas se separan. Este método tiene la desventaja de que se requiere contar con varios hidrogramas registrados anteriormente.

c) De los métodos que mejores resultados ha tenido es el que relaciona el tiempo de vaciado del escurrimiento directo con el área de la cuenca. Una relación muy utilizada es la siguiente:

$$N = 0.827 A^{0.2} \dots (3.3.7)$$

donde N = tiempo de vaciado del escurrimiento directo en días y a = área de la cuenca en km<sup>2</sup>. EL punto D del hidrograma estará un tiempo de N días después del pico.

Este método es útil en cuencas con una área no menor de unos 3 km<sup>2</sup>.

d) Otro método consiste en buscar el punto de mayor curvatura de la curva de recesión del hidrograma. Esto se puede hacer de la siguiente manera: sea un hidrograma en el que se tienen los gastos señalados en la columna 3 de la tabla 1. Una vez ordenados los gastos en la tabla, se dividen entre los ocurridos un  $\Delta t$  fijo después  $Q_{i+\Delta t}$  (6 h en el ejemplo). Posteriormente se dibujan los cocientes  $Q_i / Q_{i+\Delta t}$  contra el tiempo; en el punto donde ocurra un cambio de pendiente se tiene mayor curvatura de la rama descendente y por tanto el punto D.

1 día	2 hora	3 Q m <sup>3</sup> /s	4 Q <sub>i+Δt</sub> m <sup>3</sup> /s	5 Q <sub>i</sub> / Q <sub>i+Δt</sub> m <sup>3</sup> /s
5	12	60.1	47.5	1.27
	18	47.5	39.0	1.22
	24	39.0	33.2	1.18
6	6	33.2	28.6	1.16
	12	28.6	25.2	1.13
	18	25.2	22.7	1.11

	24	22.7	20.9	1.09
7	6	20.9	19.7	1.06
	12	19.7	18.9	1.04
	18	18.9	18.2	1.04
	24	18.2		

Tabla 1

Una vez localizado el punto D por medio de cualquiera de los métodos anteriores o de algún otro, resta trazar la línea de separación entre el gasto base y el directo.

### 3.3.2 Método de Muskingum.

Este método es uno de los más adecuados que existen (a nivel anteproyecto) para el tránsito de avenidas, también es posible aplicarlo a nivel proyecto cuando se conocen los parámetros que se requieren para su calibración.

Utiliza la ecuación de continuidad:

$$\frac{I_1 + I_{t+1}}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_{t+1}}{2} \Delta t = \Delta V \dots (3.3.8)$$

y una relación algebraica entre el almacenamiento en el tramo V y las entradas I y salidas O de la forma:

$$V = KO + Kx (I - O) = K [ xI + (1-x) O ] \dots (3.3.9)$$

donde K: es una constante llamada parámetro de almacenamiento, es una relación entre almacenamiento y descarga; se puede considerar igual al tiempo de viaje de onda, está medida en segundos.

X: es un factor de peso que expresa la influencia relativa de las entradas y las salidas de almacenamiento en el tramo.

La anterior ecuación está planteada pensando en que el almacenamiento en un tramo de río se puede dividir en dos partes, (figura 3.3.4). El primero es un almacenamiento en prisma, KO, que depende solamente de las salidas y sería el único si el nivel de la superficie libre del agua fuera paralelo al fondo del río. Este almacenamiento se puede comparar con el que se tiene en el caso de un vaso y mediante un análisis queda la expresión siguiente:

$$V_p = f(O) \dots (3.3.10)$$

donde f indica alguna función. En el caso de cauces, se supone que la función f(O) es de la forma:

$$f(O) = KO \dots (3.3.11)$$

Otro tipo de almacenamiento llamado almacenamiento en cuña, se debe al efecto de la pendiente de la superficie libre del agua en el gasto. Esta pendiente depende tanto de las entradas

como de las salidas y en el método de Muskingum el almacenamiento en cuñas se toma como una función lineal de la diferencia de ambas:

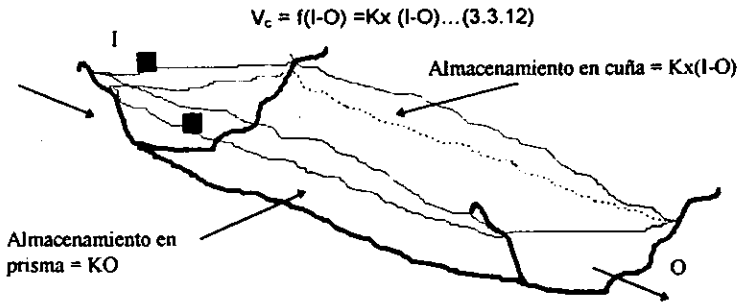


FIG 3.3.4

De la ecuación 3.3.9:

$$\Delta V = V_{i+1} - V_i = K [x(I_{i+1} + I_i) + (1-x)(O_{i+1} - O_i)] \dots (3.3.13)$$

Sustituyendo la ecuación 3.3.13 en la 3.3.8 se tiene:

$$\frac{I_{i+1} + I_i}{2} \Delta t - \frac{O_{i+1} + O_i}{2} \Delta t = K [x(I_{i+1} - I_i) + (1-x)(O_{i+1} - O_i)]$$

Despejando  $O_{i+1}$ :

$$O_{i+1} = \frac{Kx + \frac{\Delta t}{2}}{K(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} I_i + \frac{\frac{\Delta t}{2} - Kx}{K(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} I_{i+1} + \frac{K(1-x) - \frac{\Delta t}{2}}{K(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} O_i$$

o bien:

$$O_{i+1} = C_1 I_i + C_2 I_{i+1} + C_3 O_i \dots (3.3.14)$$

donde

$$C_1 = \frac{Kx + \frac{\Delta t}{2}}{\alpha}; C_2 = \frac{\frac{\Delta t}{2} - Kx}{\alpha}; C_3 = \frac{K(1-x) - \frac{\Delta t}{2}}{\alpha};$$

$$\alpha = K(1-x) + \frac{\Delta t}{2}$$

Nótese que  $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ .

Con la ecuación 3.3.14 es posible hacer el tránsito de cualquier avenida por el tramo dados  $\Delta t$  y los valores de  $K$  y  $x$ . Como en el caso del tránsito de avenidas en vasos, se recomienda que  $\Delta t$  cumpla con la condición  $\Delta t \leq 0.1tp$ . El parámetro  $K$  tiene unidades de tiempo y su valor es aproximadamente igual al tiempo de viaje del pico de la avenida a lo largo del tramo:

$$K = L / \omega \dots (3.3.15)$$

donde  $L$  es la longitud del tramo y  $\omega$  es la velocidad promedio del pico de la avenida.  $\omega$  puede estimarse, en relación con la velocidad media del agua  $v$ , como :

$$\omega \approx 1.5v \dots (3.3.16)$$

El parámetro  $x$  varía entre 0.0 y 0.5. Si  $x = 0.0$ , el volumen almacenado en el tramo es sólo función de la salida, es decir, no existe almacenamiento en cuña y el tramo se comporta como un vaso cuya curva de gastos es la ecuación 3.3.11. Si  $x=0.5$ , las entradas y salidas tienen la misma importancia y no habría ningún abatimiento del pico. En términos muy generales, se puede decir que  $x$  se aproxima a 0.0 en cauces muy caudalosos y de pendiente pequeña y a 0.5 en caso contrario. A falta de otros datos, es recomendable tomar  $x=0.2$  como un valor medio.

Cuando se cuenta con al menos una avenida medida en ambos extremos del cauce, los parámetros  $K$  y  $x$  se estiman con mayor precisión mediante el siguiente razonamiento.

Si se dibuja la ecuación 3.3.9 en una gráfica tomando  $V$  como ordenada y  $(xI+(1-x)O)$  como abscisa, se obtendrá una línea recta con pendiente  $K$ . Por otra parte, el volumen almacenado en el tramo hasta un tiempo  $t_0$  dado es el área acumulada entre el hidrograma de entrada y el de salida, es decir:

$$v = \int_0^{t_0} (I - O) dt \dots (3.3.17)$$

Entonces, si se supone un valor de  $x$ , se calcula  $[xI+(1-x)O]$  y el resultado se grafica contra el volumen almacenado para tiempos  $0 <= t <= t_0$ , y la gráfica tendrá que ser una línea recta de pendiente  $K$  si el valor supuesto de  $x$  es el correcto. En caso contrario, es necesario suponer otro valor de  $x$  hasta que se obtenga aproximadamente una línea recta, (figura 3.3.5).

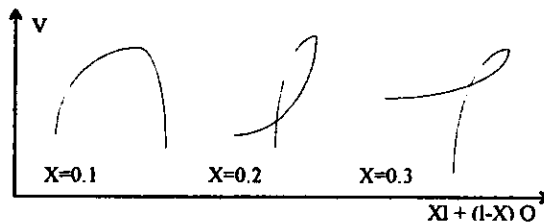


FIG 3.3.5

### 3.4 Información Topográfica y Topohidráulica

Después del anteproyecto y antes de que comience el proyecto final, es necesario, obtener información complementaria acerca del lugar. Debe hacerse un levantamiento hidrográfico para determinar las elevaciones del fondo y debe extenderse sobre una área algo mayor al canal propuesto. Además, en el estudio debe localizarse la línea costera en mareas bajas y altas y todas las estructuras u obstáculos dentro del agua y a lo largo de la costa, como buques hundidos, arrecifes o rocas grandes.

Para determinar el relieve del fondo del agua, se efectúa por medio de sondeos directos o con una sonda acústica diseñada para levantamientos hidrográficos. La sonda acústica o instrumento de registro de profundidades se monta en una lancha de motor, que se mantiene en ruta sobre líneas previamente establecidas conforme se registra una carta que proporciona el perfil natural del fondo.

Para realizar los sondeos se deben considerar a intervalos aproximadamente de 25 pies (7.62 m) a lo largo de líneas rectas separadas de 50 a 100 pies, según se la irregularidad del fondo. Puede ser necesario un espaciamiento menor cuando se necesita determinar con más detalle los cambios bruscos en el perfil del fondo para delinear las obstrucciones. Estos sondeos se trazan en forma gráfica, usualmente con relación a un plano de referencia, las líneas de aguas bajas y profundas, las curvas de nivel de igual profundidad, interpoladas respecto a los sondeos y las características principales de tierra y agua.

Puesto que en los tramos posibles de navegar de un río, las pendientes son más suaves y uniformes que en la tierra, la escala del mapa hidrográfico puede ser menor que la que se usaría normalmente en las gráficas de topografía terrestre.

Si se necesita el dragado de un puerto o canal, el material se mide generalmente en el lugar para determinar el costo del trabajo. Para determinar el costo, se toman sondeos en secciones fijas antes y después del dragado y los cambios en las secciones transversales se determinan por cálculo o con planímetros.

Un levantamiento topográfico del área de la terminal debe efectuarse para obtener el relieve del terreno con curvas de nivel a intervalos de 2 a 5 pies. El valor mayor se emplea cuando el terreno es abrupto y en áreas donde existen pocas o ninguna construcción de importancia. En zonas construidas se toman cotas a cada 25 pies en ambas direcciones con cotas adicionales cuando hay cambios abruptos del terreno para obtener una información más completa. Cuando existe una cubierta densa del terreno, el método del perfil transversal es el más adecuado. Los perfiles pueden levantarse con nivel y cinta o con estadia, con distancias de 100 pies entre centros abriendo trayectorias libres que permitan efectuar las visuales sin obstrucción. El terreno entre los perfiles a 100 pies debe estudiarse hasta donde sea posible y estimarse y anotarse las irregularidades prominentes, de modo que puedan trazarse las curvas de nivel, que se interpolan a partir de las elevaciones de los perfiles medidos para tener mejor idea de las áreas intermedias.

Los planos topográficos, además de que muestran el relieve del terreno, deben comprender todas las características prominentes que hay en el área, como edificios, instalaciones, perforaciones, etc. Las curvas de nivel están referidas generalmente al plano de referencia del nivel de aguas altas.

#### 4. ANTEPROYECTO DE OBRAS

##### 4.1 Métodos para establecer algunos sistemas de navegación

Existen básicamente tres métodos para mejorar un río para la navegación.

Primero está el método de *canal abierto* el cual trata de mejorar el cauce existente, el segundo es el de *esclusas y presas*, este método crea una serie de rembales de agua muerta a través de los cuales el transporte marítimo es factible y por medio de las esclusas se alzan o bajan a las naves del nivel del rembalse al siguiente, el tercer método proporciona un canal totalmente nuevo cortado por medios artificiales alrededor de una obstrucción, para ligar dos tramos de ríos posibles de navegar, este es llamado de *canalización*.

Los requisitos de una corriente para el mejoramiento de un *canal abierto* son:

- a. Gasto suficiente en temporadas perfectamente identificadas durante el transcurso del año.
- b. Sección transversal para las embarcaciones de diseño (la sección se obtiene casi siempre después de las mejorías).
- c. Alineamiento sin curvas y/o codos bruscos.
- d. Pendiente que provoque velocidades pequeñas y regulares en el cauce.
- e. Materiales que sean factibles en su tratamiento para el mejoramiento.

Casi en todos los casos alguno de estos requisitos no se cumple por lo que se recurre a otras maneras de obtener las características apropiadas, existen ejemplos tales como un vaso de almacenamiento que aumenta los escurrimientos aguas abajo del mismo y otro son los cortes que nos permiten atenuar los codos o curvas fuertes, siendo así que las estructuras de control y regulación de la corriente requieren de una evaluación junto con los procesos de mejoramiento de cauce abierto y hacer el análisis de si el método es aplicable y si requiere de obras auxiliares, evaluar también su construcción.

El segundo método es la utilización de *esclusas y presas*, el cual requiere que el gasto sea suficiente para proporcionar aguas a las esclusas y por lo general requiere de menor volumen de escurrimiento que el primer método. Otra ventaja es que aguas arriba de las presas se generan tirantes capaces de absorber las grandes velocidades de las corrientes en codos bruscos. Sin embargo se debe de considerar aspectos como grandes cargas de azolve (pues si es que existen en gran medida provocan el llenado rápido de los embalses), al igual que la existencia de sitios convenientes para la construcción de las presas.

Por último está el método por *canalización*, este es factible sólo cuando un tramo da acceso a una gran longitud de vía navegable. Este método es el más caro por lo que es costeable sólo cuando los tramos a canalizar son cortos y nos permite abrir accesos a desarrollos de corrientes menos costosas.

#### 4.1.1 Canal Abierto

Pueden mejorarse los cauces naturales para la navegación regulando el escurrimiento en vasos de almacenamiento, dragando, haciendo trabajos de acortamiento, reforzando y estabilizando los bancos, rectificando su curso y eliminando todos los obstáculos ocultos, en general, se debe saber que los proyectos de canales abiertos necesitan una combinación de estos.

##### 4.1.1.1 Vasos

Pocas veces los vasos de almacenamiento justifican económica y exclusivamente para propósitos de navegación, más bien se planean en general como proyectos de propósito múltiple. El mejoramiento de la navegación con vasos, es posible cuando los escurrimientos de avenidas pueden almacenarse y ser extraídos durante las estaciones de estiajes. Cabe mencionar que si aumenta la distancia desde el vaso hasta la porción navegable del río, las extracciones del vaso deben aumentarse también para considerar la evaporación y las filtraciones a lo largo de la ruta, siendo así que las extracciones deben de hacerse con la suficiente anticipación y en cantidad necesaria. Cabe mencionar que la demanda de agua para extracciones dedicadas a la navegación, es considerablemente mayor que la diferencia entre los escurrimientos efectivos y los necesarios.

##### 4.1.1.2 Dragado

Para la eliminación de material o azolves de los cauces navegables, generalmente se recurre a el dragado. Existen tres tipos de dragas: de cucharón, de cangilones y de succión. La draga de cucharón, es una pala flotante y motriz; este tipo de draga se utiliza cuando los trabajos son pequeños. Las dragas de cangilones están formadas por un gran número de cubetas que sacan el material del fondo a la superficie, estas descargan sobre un transportador de banda que lleva el material a un transportador de montones, para su evacuación. Como el transportador para amontonar el material tiene limitada la longitud (aproximadamente 300 pies - 91.44m-), las dragas de cangilones no pueden utilizarse en donde el material deba descargarse a grandes distancias de la máquina. Las dragas de succión recogen el material del fondo, junto con el agua en tuberías de succión y la mezcla es descargada por bombeo en una tubería de deshechos, apoyada en flotadores y llevada hasta la zona determinada para recibir todo el material.

Existen los siguientes tipos de dragas de succión:

- Pala recogedora. Tiene un amplio cabezal de succión en forma de pala recogedora de basura. El cabezal va equipado con chiflones que aflojan el material de fondo y con aberturas de succión por las cuales el material junto con el agua son extraídos para ser llevados al tubo de succión. (figura 4.1.1). Este tipo de cabezal de succión es apto para utilizarse con material blando de cortes poco profundos, de grano fino y no puede cortar en material cohesivo o a

través de un banco que fallara, ya que si cayera sobre el cabezal pararía la succión. La longitud máxima de corte para una draga de pala recogedora es aproximadamente de 3500 pies (1066.80 m).

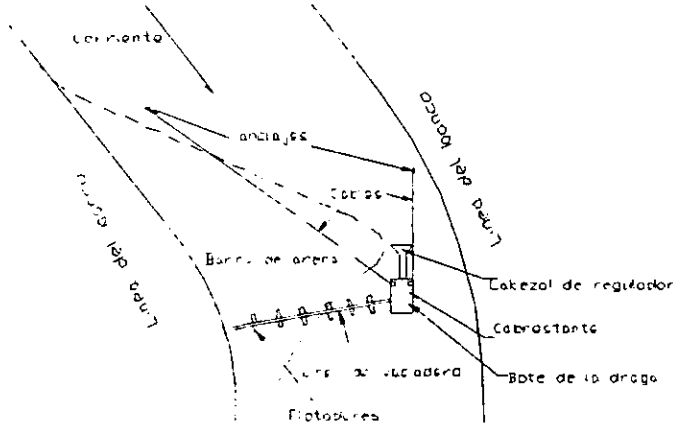


FIG 4.1.1 Dragas de succión

- **Cabezal Cortador:** Tiene un cabezal de succión rotatorio de forma hemisférica equipado con cuchillas que aflojan el material para que pueda ser llevado al tubo de succión que termina atrás del cabezal. Las dragas de este tipo tienen dos puntales verticales en la parte trasera de un casco. Estos puntales se bajan hasta el fondo del cauce para anclar a la draga. El cabezal cortador de las dragas opera meciéndose alrededor de uno de los puntales y abarca con su movimiento un arco hasta de 250 pies (76.20 m) de radio, (figura 4.1.2). Al completarse un balanceo se baja el segundo puntal y se alza el otro para hacer un balanceo en la dirección opuesta. La draga camina hacia adelante cortando un canal hasta de 300 pies (91.44) de ancho conforme avanza. Las dragas grandes de este tipo son preferibles cuando el material va a descargarse sobre el banco del río. Si hay una zona para colocar el material al alcance de la draga, éste puede descargarse en barcazas para su transporte a cualquier otro sitio, ya que la longitud de acción va desde 600 m.

#### 4.1.1.3 Trabajos de Acortamiento

Quando el material del río forma un canal ancho y con poca agua tienden a formarse varios canales dentro del mismo cauce (ríos trenzados), así los trabajos de acortamiento propician que el río forme un cauce más angosto y profundo, que facilita la navegación. Las corrientes que llevan una gran carga de azolve se corrigen con diques permeables, en tanto que las corrientes que sólo llevan poco azolve, necesitan espolones impermeables. De este tipo de estructuras hablaremos más adelante.



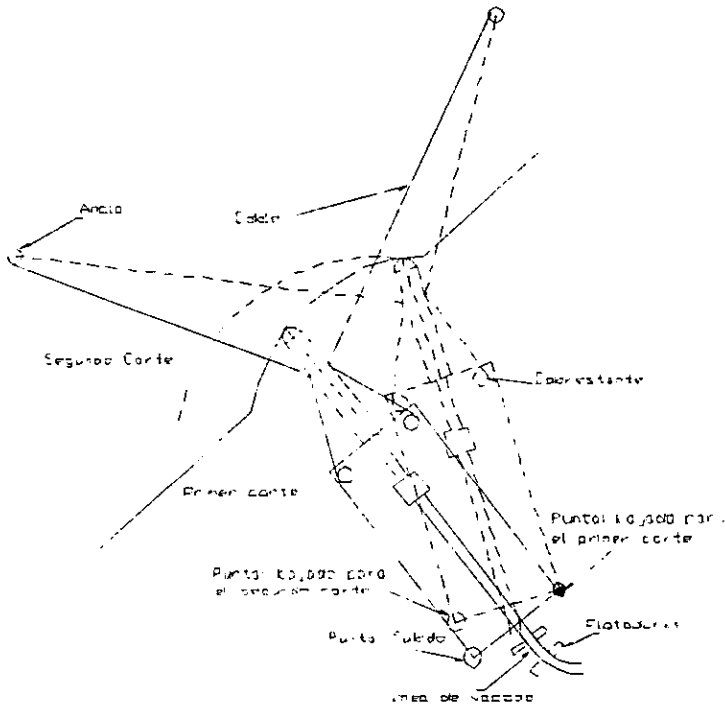


FIG 4.1.2 Dragado de Cabezal cortador

#### 4.1.1.4 Reforzamiento y estabilización de bancos

Uno de los requisitos más importantes de un cauce es que sus bancos sean estables ya que al derrumbe de este se crea un codo o meandro, (figura 4.1.3). La sección de los codos por lo regular es triangular y con un tirante mayor en la margen cóncava. Los diques y espalones pueden ser útiles como estructuras de protección, ya que cuando se les coloca a lo largo del banco cóncavo facilitan el depósito, en lugar de propiciar la erosión. Un método común para protección de bancos es la utilización de recubrimientos o muros marginales. El revestimiento debe de ser flexible para adaptarse a la superficie en la que se coloca, relativamente impermeable para evitar el deslave de los materiales finos y suficientemente fuerte para resistir las corrientes que encuentre. Como los bancos de los codos cóncavos son, por lo regular muy parados e inestables por la acción de corte de la corriente, entonces debe de dárseles un talud estable.

De los revestimientos más efectivos hasta ahora está la placa de concreto articulada. Esta placa está formada de unidades que constan de bloques de concreto con determinadas medidas (4 pies de longitud, 14 p<sup>g</sup> de ancho y 3 p<sup>g</sup> de espesor), espaciados aproximadamente a una pulgada

sobre un tejido continuo de tela de alambre, la colocación del revestimiento se hace en lancha, (figura 4.1.4).

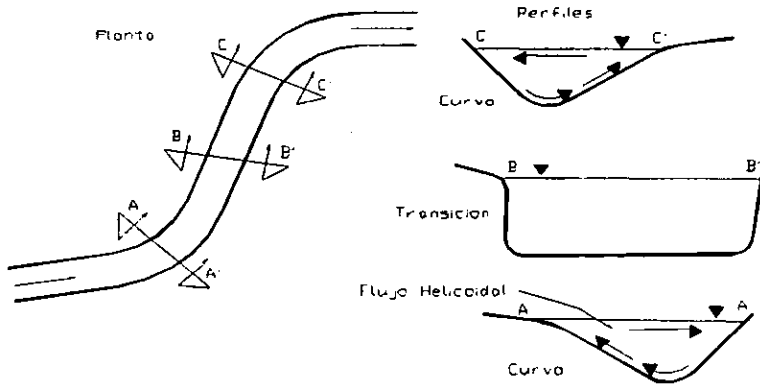


FIG 4.1.3 Meandros

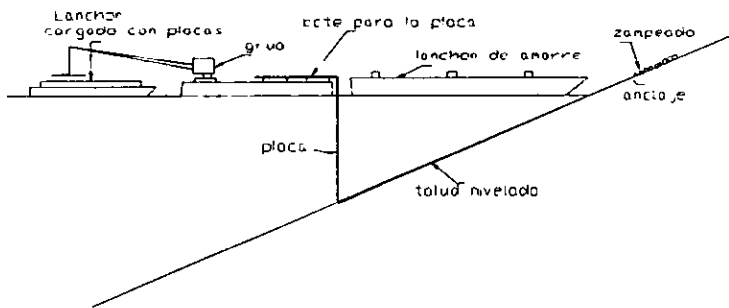


FIG 4.1.4 Colocación de Placas

Uno de los recubrimientos para la estabilización de bancos arriba del nivel normal del agua es por lo general un zanpeado el cual se ajusta a los pequeños derrumbes de los bancos continuando con la protección como recubrimiento. Otros tipos de pavimentos para los bancos son en ocasiones necesarios por la escasez de roca en el lugar. Por ejemplo el pavimento de asfalto no compactado se ha utilizado en ríos como el Mississippi, consiste de arena y grava con aproximadamente 6% de cemento asfáltico y con un espesor mínimo de 5 plg. Acerca de este tipo de estructura se presenta su estudio y clasificación de la misma más adelante.

#### 4.1.1.5 Rectificación y Alineamiento

Cuando tenemos codos bruscos la eliminación de estos ocurre algunas veces cuando se forma un corte, (figura 4.1.5), como resultado de la erosión sobre ambos lados de un cuello angosto del terreno. Los cortes artificiales se han utilizado con éxito, si los bancos han sido estabilizados para evitar posteriores divagaciones, estos cortes se forman dragando un pequeño corte piloto por el cuello del terreno. Los escurmientos posteriores del río excavan un cauce completo a lo largo del trazo del corte piloto y cierran el antiguo codo con los depósitos de azolve.

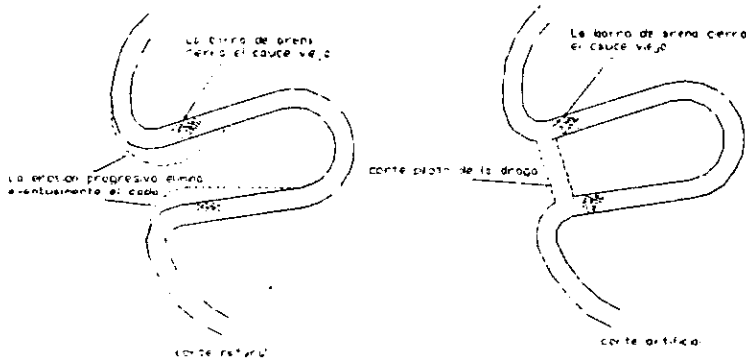


FIG 4.1.5 Formación de Cortes

#### 4.1.1.6 Eliminación de obstáculos

Troncos de árboles, rocas y otras obstrucciones del cauce constituyen peligros para la navegación y propician la formación de barras. Su remoción es esencial para el desarrollo y aprovechamiento de un río para la navegación. El método para la eliminación depende de las circunstancias de cada caso, aunque han resultado muy efectivos los tractores y los cables con cabrestantes en las orillas, las grúas en las barcazas y el uso de los explosivos.

### 4.1.2 Presas y Esclusas

#### 4.1.2.1 Presas para la navegación

Dentro del diseño estructural las características de las presas para navegación no deben olvidar las instalaciones para las esclusas. La selección de la altura de una presa para la navegación, está determinada por las características que tenga el cauce aguas arriba, y no por su capacidad necesaria de almacenamiento. Esto significa que la presa debe tener la altura suficiente para que haya profundidades adecuadas tan lejos aguas arriba de la cortina, como sea conveniente.

Debe balancearse el costo de la altura adicional contra los ahorros que se obtengan con el cauce mejorado. Si el escurrimiento mínimo de la corriente es inadecuado para proporcionar agua a las esclusas, debe darse cierta capacidad de almacenamiento en el rembalse por arriba de la profundidad navegable. El dragado del cauce puede servir como un medio para reducir la altura de la presa. Cierta dragado puede ser necesario, en cualquier caso para dar una anchura suficiente de cauce y para acceso a las instalaciones terminales. Es así que se requerirán de varias presas para abrir a la navegación una vía fluvial larga y la planeación del sistema requerirá la selección de la localización y la altura para tener el costo mínimo total.

Para la navegación se utilizan tanto presas fijas como presas móviles. Las presas fijas generalmente son presas de gravedad construidas a base de concreto.

Existen varios tipos de vertedor para una presa; de derrame con cresta fija o de compuertas de cresta móvil o agujas, para regular el nivel del embalse. Las presas fijas son generalmente necesarias, si la altura es de 30 pies o más, pero algunas veces se utilizan para alturas menores.

Se sabe que las presas móviles navegables están formadas de compuertas que se enrollan en el umbral cuando no se utiliza. Las primeras de éstas presas emplearon la compuerta de postigo Chanoine, que es una compuerta de tablero de madera mantenida en posición contra el esfuerzo del agua por medio de un puntal, (figura 4.1.6). Cada postigo se levanta jalándolo hasta que el puntal queda asentado en la escotadura hecha en el umbral. Para bajar el postigo, se jala hacia adelante el puntal para desengancharlo.

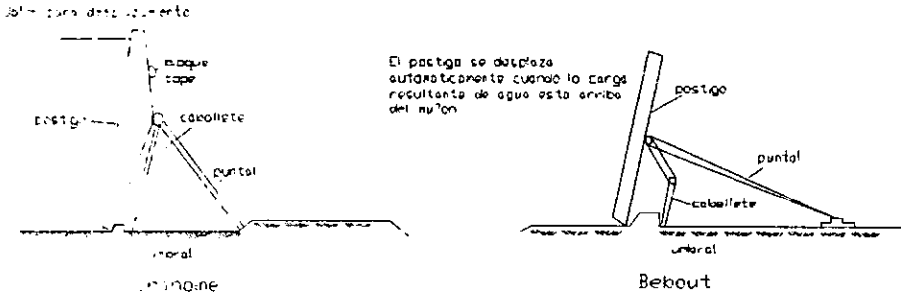


FIG 4.1.6 Compuertas sumergibles

Una de las ventajas de las presas navegables móviles es que con los escurrimientos altos se puede continuar sin impedimento la navegación sobre los postigos bajados y sin usar las esclusas.

**DIMENSIONAMIENTO**

Para obtener una vía navegable, las presas por lo regular se les denomina presas derivadoras pues se encargan de disponer de cargas suficientes.

Estas presas constan de una obra principal y una de toma, la primera se aloja en el cauce del río, está formada por una serie de compuertas y los bordos, mientras que la segunda generalmente posee una compuerta para regular el gasto que va hacia el canal de derivación y se le ubica en una margen del río, (figura 4.1.7).

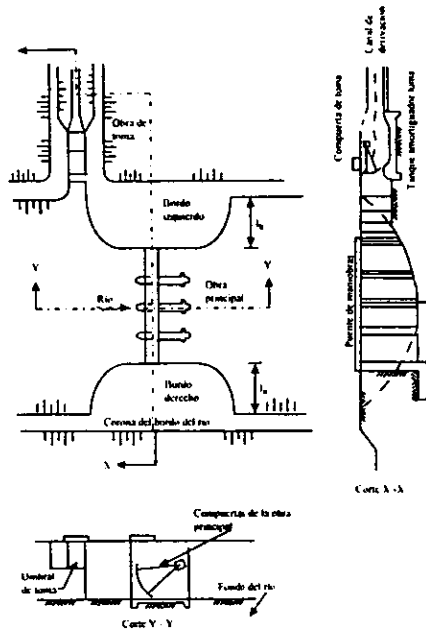


FIG 4.1.7 Esquema de una presa derivadora

Los datos que se requieren para el dimensionamiento de estas estructuras son:

1. Bordo libre original del río, para el gasto máximo de diseño en el sitio de la presa y especificación de su reducción por la presencia de la obra.
2. Relaciones con el tirante del río. Se obtiene de curvas tirantes - gastos, tirantes - áreas y tirantes - ancho de superficie libre.
3. Canal de derivación. Se debe definir la cota de arranque, ancho de plantilla, inclinación de taludes, coeficiente de rugosidad y pendiente de fondo.
4. Gastos en el río. Se requiere de los datos de gasto de diseño máximo ( $Q_G$ ), mínimo ( $Q_{ch}$ ) y mínimo permisible ( $Q_p$ ) en el río.
5. Gastos en la obra de toma. Se requiere contar con los gastos máximo ( $G_G$ ) y mínimo ( $G_{ch}$ ) que saldrán por la obra de toma. Se recomienda que los gastos máximo y mínimo se determinen para un periodo de retomo (intervalo promedio de tiempo dentro del cual un evento de magnitud dada puede ser igualado o superado en valor por lo menos una vez en promedio) de 30 años.

Para dimensionar una presa la metodología es la siguiente:

- Selección de compuertas
  - Número (n) y ancho (b) de las compuertas de la obra principal.
- Cálculo de tirantes en el río
  - El tirante (y) y la velocidad (v) en la obra principal.
  - El tirante (y), la velocidad (v) y el nivel N2 de aguas arriba de la obra principal.

- Cambio en el bordo libre.

**PROCEDIMIENTO**

Con el gasto máximo del río en época de avenidas  $Q_G$  se encuentra el tirante en el río aguas abajo de la obra principal  $y_0$ , mediante la curva tirantes - gastos. Con este tirante y la curva tirantes - áreas, se determinará el área hidráulica  $A_0$ , y se obtiene la velocidad media con la ecuación de continuidad:

$$v_0 = Q_G / A_0 \dots (4.1.1)$$

Se escoge un número de compuertas  $n_p$  y un ancho de ellas, de modo que  $B_p = n_p b_p$  y se establecen las ecuaciones simultáneas siguientes, (figura 4.1.8):

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_0 + \frac{v_0^2}{2g} + \frac{(v_1 - v_0)^2}{2g} \dots (4.1.1 \text{ y } 4.1.2)$$

$$v_1 = \frac{Q_c}{y_1 B_p}$$

El tercer sumando de la ecuación 4.1.1 corresponde a la pérdida de carga debido a un ampliación de la sección transversal que se produce por las compuertas, al simplificar la ecuación queda:

$$y_1 + \frac{v_1 v_0}{g} = y_0 + \frac{v_0^2}{g} \dots (4.1.4)$$

Al resolver simultáneamente las ecuaciones 4.1.2 y 4.1.3, se obtiene el tirante  $y_1$  y la velocidad  $v_1$ , de estructura principal.

De la misma manera se obtiene  $v_2$ :

$$y_2 + \frac{v_2^2}{2g} = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \dots (4.1.5)$$

$$v_2 = \frac{Q_G}{A_2} \dots (4.1.6)$$

En este caso  $A_2$  (función del tirante  $y_2$ ) se obtiene de la curva tirantes - áreas del río.

De las ecuaciones 4.1.5 y 4.1.6 se conoce el tirante  $y_2$  con el cual se define el nivel N2 aguas arriba de estructura principal. Con estos datos se checa si el bordo libre original está dentro de los límites especificados. De no ser así, se escogerán nuevamente  $n_p$  y  $b_p$  hasta cumplir con este requisito.

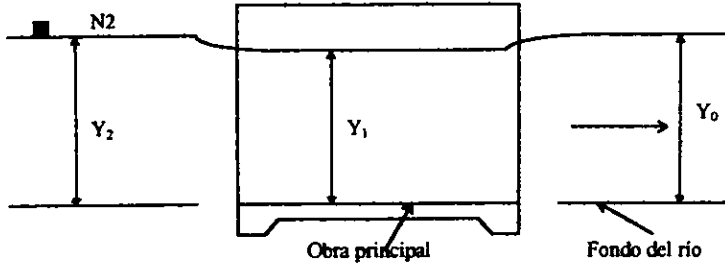


FIG 4.1.8 Tirantes de la obra principal

- Profundidad al inicio del canal de derivación ( $z$ ).
- Ancho de la compuerta de la obra de toma ( $b_1$ ).

**PROCEDIMIENTO**

Con el gasto mínimo de derivación  $G_{ch}$  y la fórmula de Manning, se determinan el tirante  $y_{ch}$  y la velocidad  $v_{ch}$  en el canal de derivación; usando estos valores, se calcula la energía específica al inicio del canal, (figura 4.1.9), mediante la siguiente expresión:

$$E_{ch} = y_{ch} + \frac{v_{ch}^2}{2g} \dots (4.1.7)$$

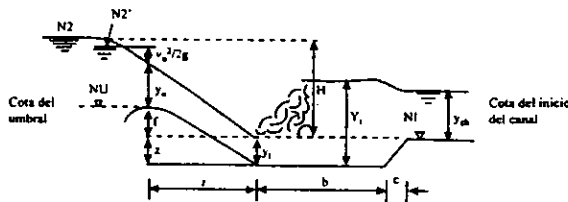


FIG 4.1.9 Corte de la obra de toma

Por otra parte, con los niveles N2 y N1 (corresponde al inicio del canal y su valor es función de la topografía del sitio donde se ubica, se tiene:

$$H = N2 - N1 \dots (4.1.8)$$

Se escogerá un ancho de compuerta de la toma  $b_1$ , que será igual al ancho de plantilla del canal en la zona de la compuerta (se recomienda que sea de un 33% mayor que el ancho de plantilla del canal de derivación) y se establece:

$$H + z = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \dots (4.1.9)$$

$$v_1 = \frac{G_{ch}}{y_1 b_1} \dots (4.1.10)$$

Considerando  $z=0$  se resuelven estas ecuaciones usando la sección transversal rectangular; conocidos  $y_t$  y  $v_t$ , se calculará el número de Froude:

$$F_r = \frac{v_t}{\sqrt{gy_t}} \dots(4.1.10)$$

Con este valor obtenemos los siguientes valores:

$$y_t = \frac{y_t}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr^2}) \dots(4.1.12)$$

$$V_t = \frac{G_{ch}}{Yb_t} \dots(4.1.13)$$

$$E_t = Y_t + \frac{V_t^2}{2g} \dots(4.1.14)$$

Si

$$E_t > E_{ch} + \frac{(v_{ch} - V_t)^2}{2g} \dots(4.1.15)$$

la descarga será libre y se necesitará un tanque amortiguador de profundidad  $z$ . De no ser así,  $z$  se tomará igual a cero y se procederá como se indica en el inciso siguiente.

La profundidad  $z$  del tanque amortiguador se encontrará por tanteos empleando las ecuaciones 4.1.9 a 4.1.14 hasta conseguir que, para una  $z$  seleccionada, se obtenga

$$E_t = E_{ch} + \frac{(v_{ch} - V_t)^2}{2g} + z \dots(4.1.16)$$

Por seguridad es recomendable usar en el diseño final una elevación  $z$  que sea un 10% a 15% mayor que la calculada con el procedimiento descrito.

• Dimensionamiento de la obra de toma

- Altura del umbral ( $f$ ) y longitud de la obra de toma ( $r$ ).

En el caso de requerir tanque amortiguador se obtendría

- Longitud del tanque amortiguador ( $b$ ) y de su conexión con el canal de derivación ( $c$ ).

PROCEDIMIENTO

Con el gasto máximo de derivación  $G_G$  y la fórmula de Manning, se obtienen el tirante  $y_G$  y la velocidad  $v_G$  en el canal de derivación, y se establece que:

$$Y + \frac{V^2}{2g} = y_G + \frac{v_G^2}{2g} + \frac{(v_G - V)^2}{2g} + z \dots(4.1.17)$$

$$V = \frac{G_G}{Yb_t} \dots(4.1.18)$$

Al simplificar la ecuación 4.1.17 se obtiene:



$$Y + \frac{Vv_G}{g} = y_G + \frac{v^2_G}{g} + z \dots (4.1.19)$$

La solución de estas ecuaciones permite conocer Y y V en la zona próxima al inicio del canal de derivación y con ellas se obtendrá la energía específica:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \dots (4.1.20)$$

Por otro lado, se obtendrá el tirante crítico para  $G_G$  y  $b_c$ , queda:

$$y_c = \sqrt[3]{\left[\frac{G_G}{b_c}\right]^2 \frac{1}{g}} \dots (4.1.21)$$

Por seguridad se escogerá como tirante en el umbral a:

$$y_u = 1.1y_c \dots (4.1.22)$$

Con éste se encontrará:

$$v_u = \frac{G_G}{b_c y_u} \dots (4.1.23)$$

$$E_u = y_u + \frac{v_u^2}{2g} \dots (4.1.24)$$

$$\Delta h = \frac{(v_u - V)^2}{2g} \dots (4.1.25)$$

De la figura 4.1.9 se tiene que la altura del umbral sobre la cota de inicio del canal será:

$$f = E + \Delta h - (E + z) \dots (4.1.26)$$

La longitud de la obra de toma puede obtenerse, considerando que la pendiente de la rápida es 2:1, con:

$$r = 2(f + z) \dots (4.1.27)$$

Cuando la profundidad z determinada anteriormente es distinta de cero implica que se tiene un tanque amortiguador con las dimensiones b y c, (figura 4.1.9) que podrán evaluarse a partir de las expresiones siguientes

$$b = 4.5Y_1 \dots (4.1.28)$$

$$c = 1.5z \dots (4.1.29)$$

Con ello quedará definida la geometría de la obra de toma. Por otra parte el nivel del umbral de la toma será:

$$N U = N I + f \dots (4.1.30)$$

y así, para el gasto  $G_G$  el nivel aguas arriba de la obra principal estará dado como

$$N2' = N U + E_u \dots (4.1.31)$$

De esta forma para dar el gasto  $G_G$  con el nivel  $N2'$  la compuerta de la toma deberá estar totalmente abierta. En cambio, si no está derivando, la altura de la compuerta deberá ser:

$$h_t = N_2 - UN + \Delta B \dots (4.1.32)$$

En esta ecuación  $N_2$  es el nivel del río antes de la estructura principal determinado anteriormente y  $\Delta B$  un bordo libre de seguridad, cuyo valor se puede tomar cercano a 0.30 m.

Finalmente, cuando el nivel en el río es  $N_2$  y si se quiere derivar el gasto mínimo  $G_{ch}$ , será necesario abrir parcialmente la compuerta un abertura  $a_{ch}$  determinada con la siguiente ecuación:

$$a_{ch} = H - \left[ H^{3/2} - \frac{3G_{ch}}{2\sqrt{2g}(0.68)b_t} \right]^{2/3} \dots (4.1.33)$$

con

$$H = N_2 - UN \dots (4.1.34)$$

- Condiciones en la obra principal para el gasto mínimo
    - \* El tirante conjugado mayor ( $Y$ ) aguas abajo de la obra principal.
    - \* La abertura ( $a_{ch}$ ) de la compuerta, cuando la descarga sea ahogada.
- En caso de requerirse un tanque amortiguador se encontraría
- \* La geometría de esta estructura

**PROCEDIMIENTO**

Se definirá el gasto mínimo que escurrirá por el río aguas abajo de la obra principal

$$Q_r = Q_{ch} - Q_G \dots (4.1.35)$$

Este gasto no puede ser inferior al gasto mínimo permisible  $Q_p$  especificado en los datos. Para el gasto  $Q_r$  de la curva tirantes - gastos del río se encontrará el tirante  $y$ , aguas abajo de estructura principal. Además, el tirante  $H_N$  (antes de la estructura) es igual a:

$$H_N = N_2' - N_0 \dots (4.1.36)$$

donde  $N_2'$  es el nivel determinado anteriormente y  $N_0$  es nivel del fondo del río, (figura 4.1.10)

Se puede establecer

$$H_N = y + \frac{v^2}{2g} \dots (4.1.37)$$

$$v = \frac{Q_r}{B_p y} \dots (4.1.38)$$

La solución simultánea de las ecuaciones anteriores permite conocer  $y$  y  $v$  con los que se calculará:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} \dots (4.1.39)$$

$$Y = \frac{y}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr^2}) \dots (4.1.40)$$

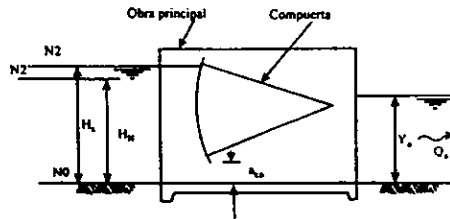


FIG 4.1.10 Abertura de una compuerta

Si resulta que  $Y \gg y_r$ , se requerirá un tanque amortiguador, cuya geometría podrá definirse a través del procedimiento mencionado anteriormente. De no ser así, la descarga será ahogada y la abertura  $a_r$  de la compuerta se calcula con la expresión:

$$a_r = \frac{Q_r}{0.55B_p \sqrt{2g(H_N - y_r)}} \dots (4.1.41)$$

La altura de la compuerta  $h_p$  se determina como sigue:

$$h_p = H_{br} a_r + \Delta B \dots (4.1.42)$$

en donde nuevamente  $\Delta B$  será un bordo libre de seguridad, del orden de 0.30 m.

- Condiciones en la obra principal para el gasto máximo
  - La apertura ( $a_G$ ) de la compuerta para el gasto máximo.

**PROCEDIMIENTO**

Esta condición de abertura de compuertas se presenta generalmente en la época de avenidas, y se calcula como:

$$Q_a = Q_G - G_{ch} \dots (4.1.43)$$

Para  $Q_a$  se encontrará el tirante ya en el río mediante la curva tirantes - gastos. El tirante aguas arriba de la estructura principal será ahora:

$$H_1 = N2 - NO \dots (4.1.44)$$

Para determinar si se requiere un tanque amortiguador para la obra principal, se deberán seguir los pasos señalados en el inciso anterior teniendo solo cuidado en utilizar  $H_2$  en lugar de  $H_1$ . Si no se necesita el tanque amortiguador se calcularán las velocidades antes y después de las compuertas mediante las ecuaciones:

$$v_s = \frac{Q_a}{H_s B_p} \dots (4.1.45)$$

$$v_r = \frac{Q_a}{y_a B_p} \dots (4.1.46)$$

con base en lo anterior se establecerá la ecuación

$$H_s + \frac{v_s^2}{2g} = y_a + \frac{v_a^2}{2g} + \frac{(v_{co} + v_a)^2}{2g} \dots (4.1.47)$$

de donde se despeja el valor de  $v_{co}$ , la velocidad bajo las compuertas, que es igual a:

$$v_{co} = v_a + \sqrt{2g(H_s - y_o) + v_s^2 - v_a^2} \dots (4.1.48)$$

Conocida esta velocidad se determina la abertura  $a$  de las mismas mediante la expresión:

$$a_{co} = \frac{Q_o}{B_p v_{co}} \dots (4.1.49)$$

si seguimos este método, el gasto y las aberturas son grandes y no es aplicable la ecuación 4.1.41, la cual es válida para relaciones  $H_w/y_f$ , pequeñas.

Definidas las dimensiones de las compuertas de las obras principal y de toma, la cota del umbral en esta última y las aberturas de compuerta para distintas condiciones de trabajo, nos permiten conocer las alturas de los bordos en cada caso.

#### 4.1.2.2 Esclusas

Para de subir y bajar a los barcos en los desniveles se utilizan las esclusas que en determinados sitios se hacen necesarios en las vías navegables.

De los dos conceptos principales en el diseño de esclusas para la navegación, son la determinación del tamaño y el diseño de los sistemas de llenado y vaciado. La altura de la esclusa está fijada por los niveles del tanque, seleccionados para aguas arriba y aguas abajo. La altura total de la cámara de la esclusa, debe ser igual a la diferencia máxima probable en las elevaciones del tanque, más la altura de calado necesaria, más el libre bordo.

La elevación del fondo de la cámara de la esclusa debe ser igual al nivel mínimo del tanque de aguas abajo, menos el calado necesario. El tamaño de la esclusa en planta depende del tráfico probable que pase por ella.

En la figura 4.1.11 muestra una esclusa simple que está constituida por una cámara en donde se aloja al barco que va a subirse o bajarse. Esta cámara esta limitada hacia aguas arriba por una compuerta superior, CS y aguas abajo por una inferior, CI. Además cuenta con un sistema de llenado formado por varios conductos cuya descarga se controla por medio de las compuertas o válvulas  $V_i$ .

Debido a que los convoyes de barcazas remolcadas deben aproximarse a la esclusa con reducida velocidad para evitar los daños por choques y como las embarcaciones tienen poco control de dirección a bajas velocidades, es importante que los accesos a las esclusas sean protegidos por muros de encauzamiento para que los remolinos y la turbulencia en el canal de navegación como producto del escurrimiento sobre la presa, sean reducidos.

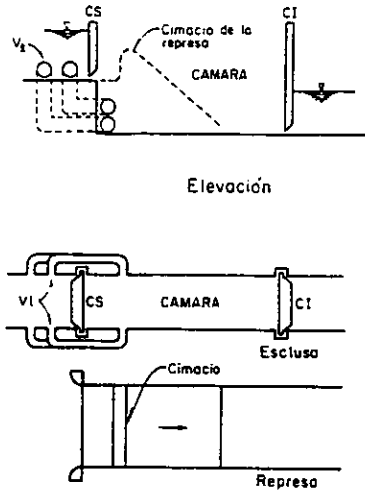


FIG 4.1.11

Para diseñar el sistema de llenado y vaciado de la esclusa se necesita de una transición entre dos demandas diferentes: (1) que el tiempo de llenado sea breve para no retrasar el tráfico y (2) que las alteraciones en la cámara de la esclusa no provoquen esfuerzos en los cables de amarre, que podrían hacer que se soltara el remolque y dañarse la estructura de la esclusa. Cuando ésta está llenándose, las embarcaciones están inicialmente en agua poco profunda y el agua va entrando con una carga relativamente alta. Esta condición es más seria que la que se presenta al hacerse el vaciado y en consecuencia, los criterios reguladores son los que se presentan durante la operación de llenado. Si las compuertas de la esclusa se abrieran instantáneamente una onda abrupta viajaría a lo largo de la cámara de esclusa, (figura 4.1.12 a). Esta onda causa una fuerza desequilibrada sobre la embarcación y una tensión considerable sobre los cables de amarre. Cuando la onda llega al extremo final de la esclusa es reflejada hacia atrás, empujando a la embarcación en la dirección opuesta. La operación total de llenado consistiría en la continuación del movimiento de esta onda, alternativamente hacia una dirección y después hacia la dirección opuesta. Si la válvula de entrada se abre lentamente, es posible cierto alivio, para que una onda inclinada (figura 4.1.12 b) se produzca junto con fuerzas no balanceadas más pequeñas.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

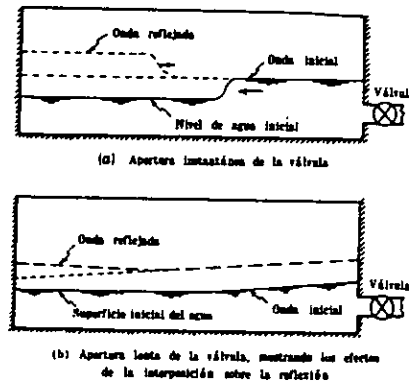


FIG 4.1.12

Hay un gran número de sistemas para llenar las cámaras de las esclusas. La más común son los conductos longitudinales en los muros de la esclusa con accesos laterales, (figura 4.1.13) para distribuir el escurrimiento uniformemente en toda la longitud de la esclusa y evitar así la acción de onda antes citada. Es difícil diseñar un sistema de este tipo que distribuya el escurrimiento uniformemente y el distribuidor parece que sirve más para amortiguar el escurrimiento y evitar así las fuerzas de impulso directo que se producirían con una entrada simple. Si se utiliza una sección transversal trapezoidal en la válvula (figura 4.1.13 b) nos permite un ritmo inicial pequeño del cambio del gasto con un movimiento uniforme de la válvula. Los conductos de expansión permiten velocidades moderadas del escurrimiento hacia la cámara de la esclusa y reducen también el tamaño necesario de las válvulas. Los deflectores unidos a la cara interna de la hojas de la compuerta (figura 4.1.13) ayudan a reducir las velocidades a la entrada. El grado de abertura de la compuerta debe ser al principio muy lento e irse aumentando conforme la esclusa se va llenando.

En general las maniobras de ascenso y descenso se hacen en las tres etapas que se indican a continuación:

ASCENSO				
Etapa	Compuerta CS	Válvulas V <sub>i</sub>	Compuerta CI	Barco
1	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ENTRA
2	CERRADA	ABIERTA	CERRADA	SUBE
3	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	SALE
DESCENSO				
Etapa	Compuerta CS	Válvulas V <sub>i</sub>	Compuerta CI	Barco
1	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	ENTRA
2	CERRADA	CERRADA	SEMIABIERTA	BAJA
3	CERRADA	CERRADA	CERRADA	SALE

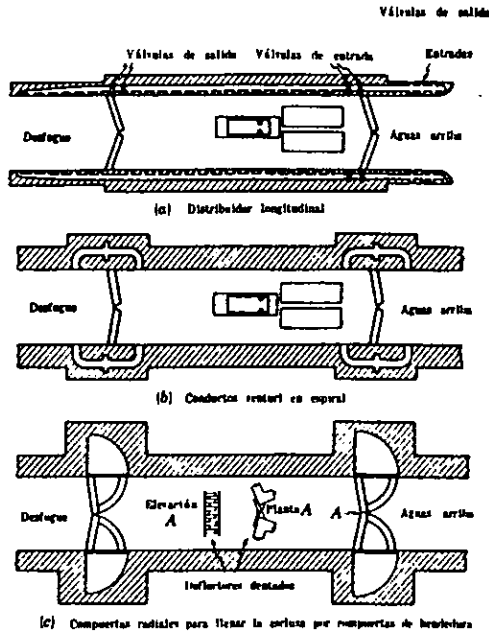


FIG 4.1.13 Sistemas de llenado

### DIMENSIONAMIENTO

Cuando la esclusa se encuentra en un río que conduce un gasto  $Q$ , paralelamente a la esclusa se necesita construir una represa para remansar el agua, provista de un cimacio o compuertas para descargar el gasto  $Q$ . Además, requerir de un tanque amortiguador.

Para facilitar las maniobras del barco hacia y desde la esclusa es necesario ampliar transversalmente el cauce desde una distancia no menor que cuatro esloras, aguas arriba y aguas abajo de las secciones inicial y final de la esclusa, en la zona donde se localiza la represa. En ocasiones es recomendable construir muros guías de por menos 1.5 veces la eslora antes y después de la esclusa.

Las dimensiones de la ampliación transversal quedan condicionadas por el ancho de la esclusa, la forma y dimensiones de los conductos de llenado, el ancho de la cresta del cimacio y las limitaciones que imponga el diseño estructural.

- Datos para el anteproyecto de una esclusa.

Se necesita conocer las dimensiones del barco tipo que se pretende subir o bajar, incluyendo su eslora, su manga, su calado y la altura de la superestructura de la embarcación

medida desde el nivel del agua, así como el número de embarcaciones diarias que pasarán por la obra. También se requiere conocer el desnivel que va a salvarse con la esclusa y el gasto  $Q$  transportado por éste, la velocidad media en él, compatible con la velocidad de tránsito del barco tipo y el tirante correspondiente.

- Criterios de cálculo (simplificados)

Si el desnivel del agua entre la entrada y la salida de un conducto ahogado es  $H_0 - H_1$  y su área es  $A_c$ , el gasto que circula por él está dado por:

$$Q = A_c C_c \sqrt{2g} \sqrt{H_0 - H_1} \dots\dots(4.1.50)$$

donde:

$C_c$  es el coeficiente de descarga

En una tubería corta o en una compuerta bien perfilada,  $C_c$  suele tener valores comprendidos entre 0.6 y 0.8, de modo que 0.7 puede considerarse como un valor medio representativo.

En la figura 4.1.14 a se muestra a un recipiente de grandes dimensiones y carga constante  $H_U$ , llenando a otro de área  $A_c$ , mediante el conducto de área  $A_t$ . Si originalmente el nivel en este segundo tanque es  $H_1$ , el tiempo que transcurre en alcanzarse el nivel  $H_M$  está dado por la siguiente ecuación:

$$t_{1,M} = \left[ 2A_c / (A_t C_c \sqrt{2g}) \right] \left[ \sqrt{(H_U - H_1)} - \sqrt{(H_U - H_M)} \right] \dots\dots(4.1.51)$$

De modo similar, en la figura 4.1.14 b se muestra a un recipiente de área  $A_c$ , descargando hacia un recipiente de grandes dimensiones y carga constante  $H_D$ , mediante un conducto de área  $A_t$ . Si el nivel original en el primer tanque es  $H_1$ , el tiempo que transcurre hasta que el nivel es igual a  $H_M$  está dado por:

$$t_{1,M} = \left[ 2A_c / (A_t C_c \sqrt{2g}) \right] \left[ \sqrt{(H_1 - H_M)} - \sqrt{(H_M - H_D)} \right] \dots\dots(4.1.52)$$

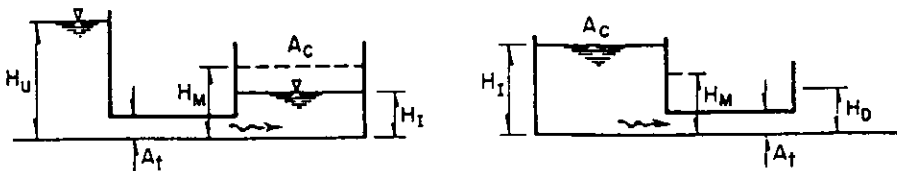
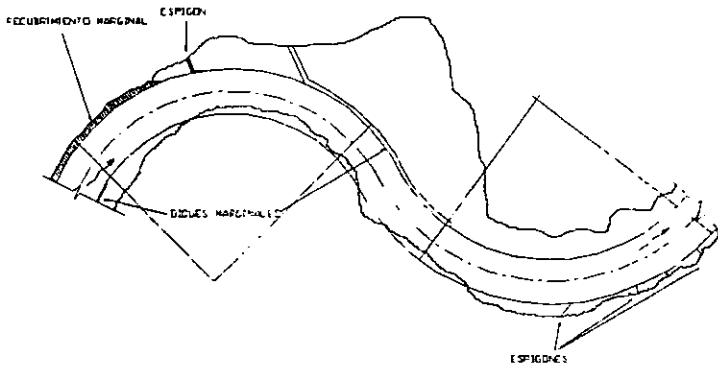


FIG 4.1.14



## 4.2 Obras de Encauzamiento

Los procedimientos más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo las exteriores de las curvas y/o guiar o conducir el flujo en una dirección deseada y conveniente, son: los espigones, recubrimientos marginales y los diques marginales, figura 4.2.1. El propósito principal de las obras mencionadas consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla.



OBRAS DE PROTECCION MARGINAL

FIG 4.2.1

### 4.2.1 Espigones

Son estructuras interpuestas a la corriente, uno de sus extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras es alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione. Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen.

De los efectos que se presentan al construir este tipo de obras se consideran los siguientes:

Como ventajas:

1. Son sencillos de construir y fácil de supervisar.
2. Su conservación es sencilla cuando se utilizan materiales pétreos o tabla - estacados debidamente empotrados.
3. El costo de conservación disminuye con el tiempo, aunque puede ser alto, durante los dos primeros años, cuando se utilizan materiales pétreos.
4. La falla de un espigón no hace peligrar a los demás.
5. Reducen el ancho del cauce, cuando ambas márgenes se protegen con estas estructuras.

Como desventajas:

1. Producen pérdidas adicionales de energía.
2. No son económicos en curvas que tienen un reducido radio de curvatura.
3. No protegen toda la orilla, ya que las zonas entre ellos pueden erosionarse antes de alcanzar un estado de equilibrio.

Los datos necesarios para el diseño de espigones son:

- a. La topografía y batimetría del río en la zona por proteger.
- b. Secciones transversales a lo largo de las orillas que serán protegidas. La separación entre ellas puede variar entre 50m y 200m dependiendo de las dimensiones del cauce. Fuera del agua se prolongarán a lo largo del talud de la orilla y se extenderán sobre el fondo del río hasta una distancia de 1/3 del ancho del cauce.
- c. Las características hidráulicas como, el gasto formativo y el gasto asociado a un periodo de retomo entre 50 y 100 años, la elevación de la superficie del agua correspondiente a esos gastos, así como las velocidades medias de los escurrimientos y de ser posible la velocidad del flujo a lo largo de las orillas por proteger.
- d. Granulometría y peso específico de los materiales del fondo y orillas del cauce.
- e. Materiales de construcción disponibles incluyendo la localización de bancos de roca y el peso específico del material de cada uno de ellos.

Existen una serie de conceptos importantes a tener en cuenta en el diseño de una protección con espigones, estas son:

- a) Localización en planta
- b) Longitud de los espigones
- c) Forma de los espigones en planta
- d) Separación entre espigones
- e) Pendiente longitudinal y elevación de la cresta de los espigones
- f) Ángulo de orientación de cada espigón, con respecto al flujo
- g) Permeabilidad de los espigones
- h) Materiales de construcción
- i) Erosión al pie del espigón en el extremo dentro de la corriente

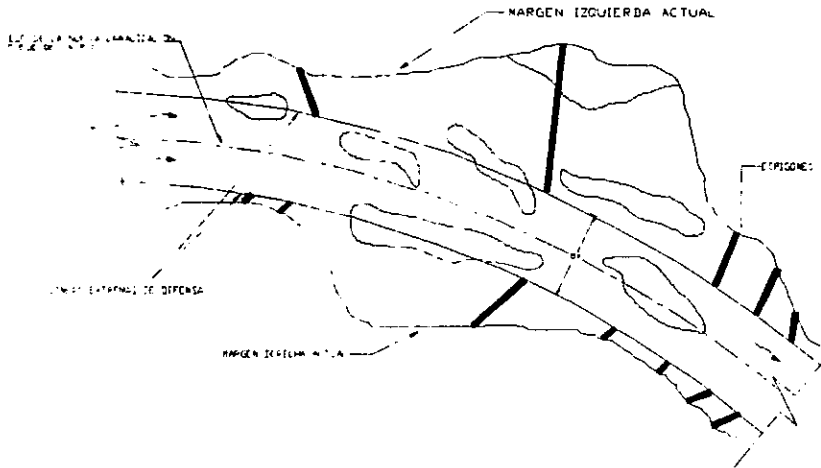
#### a. LOCALIZACIÓN EN PLANTA

Primero se traza el eje del río tal como quedará una vez que sea rectificado, (figura 4.2.2) o bien el eje existente si solo se van a proteger las orillas, sin efectuar ningún cambio a la geometría del río ni en la dirección de la corriente. Al terminar el trazo del eje del río se conoce el radio o radios que forman cada curva y la longitud de las transiciones.

Posteriormente se trazan dos líneas paralelas a ese eje y separadas entre sí una distancia igual al ancho que tendrá el río una vez protegido. Dichas líneas se denominarán líneas extremas de defensa. Todos los espigones partirán de las márgenes y llegarán hasta una de esas dos líneas,

por lo que la longitud final de cada espigón es función de la separación que existe entre cada una de esas líneas y su margen correspondiente. La separación entre las dos líneas extremas de defensa podrá ser igual o menor al ancho estable del río, teniendo en cuenta el cambio de pendiente que se introduce cuando el tramo en estudio es rectificad, para lograr la navegabilidad del tramo.

Analíticamente el ancho estable se obtiene en función del gasto formativo, características físicas del material del fondo y orillas y de la pendiente del río.



TRAZADO DEL EJE DEL RÍO Y LINEAS EXTREMAS DE DEFENSA EN UNA RECTIFICACION

FIG 4.2.2 Obras de protección

El ancho de la superficie libre del cauce estable se designará con B. Si el agua escurre por un solo cauce, B es igual al ancho de la superficie libre cuando escurre el gasto formativo. La separación entre las dos líneas extremas de defensa se designará B<sub>e</sub>.

Se debe recordar que para mejorar la navegación, los espigones se construyen para reducir el ancho de B a B<sub>e</sub>, y se tendrán que colocar espigones en ambas márgenes uno frente al otro. Con ello el río se convierte en un río con dos grados de libertad.

En caso de que se desee rectificad un tramo de río o defender sus curvas y si las márgenes son arenosas o ligeramente limosas, los radios de curvatura r, medidos hasta el eje del río conviene que estén comprendidos entre los siguientes límites.

$$2B < r < 8B \dots (4.2.1)$$

donde B es el ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos.

Con la recomendación anterior se logra que las mayores profundidades siempre se encuentren cercanas a la orilla exterior de la curva y que en ésta no se formen islas o bancos de arena cercanos a la orilla cóncava.

Se ha mencionado que la línea extrema de defensa a la que llegan los espigones influye en la longitud de éstos y además, esta longitud influye en la separación entre espigones y en ocasiones en su orientación. Por lo que en un proyecto dado, deben seleccionarse diferentes alternativas tanto de ubicación de la líneas extremas de defensa como de la colocación y distribución de los espigones, para seleccionar finalmente la más económica y también la que por experiencia, se presuponga que pueda trabajar más adecuadamente.

Téngase en cuenta que si se protege una única curva de un río se debe tener la seguridad de que las márgenes de la curvas situadas aguas arriba no puedan ser erosionadas y por tanto, tener la seguridad de que la corriente incidirá aproximadamente con la misma dirección contra la margen protegida. Si esto último no ocurre, en pocos años el río escurrirá por otro sitio, abandonando completamente los espigones que fueron colocados, (FOTOS 1 a la 6). Por ello, en ríos de planicie que son inestables o que sufren erosión constantemente en sus curvas, se deben proteger tramos completos de río y no sólo una curva aislada.

#### b. LONGITUD DE LOS ESPIGONES

La longitud total  $L$ , de un espigón queda definida por la longitud de trabajo  $L_1$  (figura 4.2.3), que es aquella que está dentro del cauce y la longitud de empotramiento  $L_e$ . (FOTO 7), por lo que se expresa  $L$  como:

$$L=L_1+L_e \dots(4.2.2)$$

Esta longitud de trabajo de los espigones está dada por su distancia entre el cruce de la margen con la corona del espigón, y la línea extrema de defensa mencionada anteriormente, tal longitud debe estar comprendida entre los siguientes límites:

$$d \leq L_1 \leq B/4 \dots(4.2.3)$$

donde  $d$  es el tirante o profundidad del río, asociado al gasto formativo, en el sitio donde se construirá el espigón.

Es posible empotrar los espigones a la margen o bien terminar en contacto con ella; cuando esto último ocurre  $L_e=0$ , (figura 4.2.7). La máxima longitud de anclaje recomendada es igual a un cuarto de la longitud de trabajo,  $0.25 L_1$ . Por lo que la longitud máxima de un espigón llega a ser:

$$L=1.25 L_1 \dots(4.2.4)$$

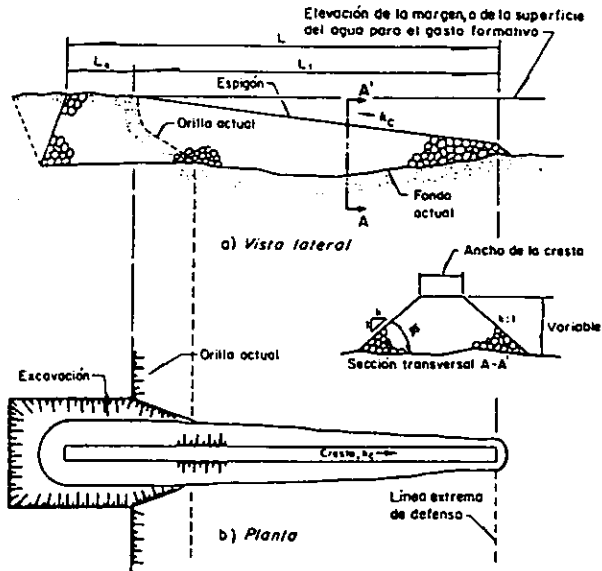


FIG 4.2.3

### c. FORMA DE LOS ESPIGONES EN PLANTA

En planta la forma espigones puede ser: recta, curvada hacia aguas arriba o hacia agua abajo, en L con el brazo también dirigido hacia aguas arriba o hacia aguas abajo y en T, (figura 4.2.4).

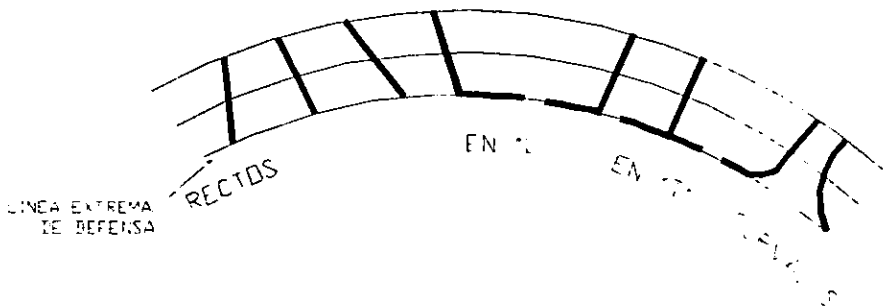
De los más usuales están los rectos por su facilidad de construcción y ser más económicos. Los espigones con forma de L o T son los más costosos, ya que su parte extrema debe construirse en la zona más profunda del río.

Cabe mencionar que la principal diferencia entre espigones y los diques marginales consiste en que los primeros se interponen a las líneas de corriente, mientras que éstos son paralelos a la cara exterior de los diques.

### d. SEPARACION ENTRE ESPIGONES

Como ya mencionamos la separación depende de la longitud del espigón de aguas arriba y de su orientación, así como de la configuración de la margen.

Para calcular la separación entre dos espigones es necesario tener en cuenta la expansión teórica que sufre la corriente al pasar frente al extremo del espigón, (figura 4.2.5). Normalmente se considera que el ángulo de expansión  $\beta$  varía entre 9 y 11°. Dicho ángulo se mide en la planta del espigón, con respecto a la tangente a la línea extrema de defensa.



FORMA EN PLANTA DE LOS ESPIGONES.  
FIG 4.2.4

Las fórmulas y recomendaciones que a continuación se presentan son válidas para  $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ , siendo  $\alpha$  el ángulo de orientación del espigón, en el caso de la separación se consideran dos condiciones diferentes que son, cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa y cuando la margen es irregular.

a) Separación entre espigones cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa.

En espigones que son utilizados para defender las márgenes de un río se utilizan las siguientes expresiones si se construyen para reducir el ancho de la superficie libre del agua e incrementar la profundidad en ríos navegables, las separaciones son menores a las que aquí se indican.

1) Separación en tramos rectos,  $S_s$  (figura 4.2.5)

$$S_s = L_i \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen } \beta} \dots\dots(4.2.5)$$

Al sustituir los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  señalados anteriormente,  $S_s$  varía entre los límites

$$4L_i \leq S_s \leq 6.3L_i \dots\dots(4.2.6)$$

desde el punto de vista práctico y económico conviene que la separación inicial sea  $S_s = 6L_i$ . Si así separados se observa que la corriente ataca e inicia la erosión de la orilla cerca del punto de arranque de alguno de los espigones, se deberá construir un nuevo espigón intermedio aguas arriba de él, con lo que la separación entre los espigones, en esa zona, se reduce a  $3L_i$ .

Cuando las márgenes de un tramo recto hay construcciones de importancia, la separación inicial entre espigones debe ser como máximo de  $4L_i$ .

2) Separación en curvas,  $S_e$ . La separación entre espigones ubicados en las márgenes exteriores de las curvas puede variar entre los siguientes límites:

$$2.5L_i \leq S_e \leq 4L_i \dots\dots(4.2.7)$$

En curvas, la separación entre espigones depende del radio de curvatura, a menor radio menor separación.

b) Separación entre espigones cuando la margen es irregular.

La separación entre espigones deberá obtenerse en forma gráfica como se muestra en la figura 4.2.5.

El procedimiento consiste en lo siguiente:

- 1) Trazar en el punta del espigón una tangente a la línea extrema de defensa.
- 2) Con respecto a esa línea, y hacia aguas abajo medir el ángulo  $\beta$  que se haya seleccionado.
- 3) Con ese ángulo trazar una línea hacia aguas abajo hasta que intersecte la margen.
- 4) En el punto de intersección con la margen trazar un nuevo espigón al que se le dará el ángulo de orientación  $\alpha$  deseado, y se prolongarán hasta alcanzar la línea extrema de defensa. En ese punto se traza la tangente a dicha línea y con respecto a esa tangente se mide nuevamente el ángulo de expansión  $\beta$ , para repetir el procedimiento ya descrito.

Al diseñar una protección con espigones, el primero por dibujar puede colocarse libremente en cualquier parte y todos los restantes quedarán situados siguiendo el procedimiento descrito.

En la situación extrema en que se desee encauzar un río en cuyas márgenes no haya construcciones ni cultivos de valor, se puede construir una protección aún más económica separando los espigones hasta  $8L_c$  en los tramos rectos y  $8L_c$  en las curvas. Si esto se lleva a cabo, debe observarse el comportamiento de la obra durante la primera época de avenidas para construir, en el siguiente estiaje, espigones intermedios en las zonas débiles o más atacadas por el flujo.

#### e. PENDIENTE LONGITUDINAL Y ELEVACIÓN Y ANCHO DE LA CRESTA DE LOS ESPIGONES.

Estas estructuras pueden ser construidas con pendiente horizontal o teniendo una pendiente hacia el centro del río que puede llegar a ser hasta de 0.25.

Si los espigones con cresta horizontal se construyen principalmente cuando se desea reducir artificialmente el ancho del río, es decir, cuando se desea mejorar la navegación. En cambio, cuando el propósito de los espigones consiste en proteger una margen o rectificar un tramo de río, la cresta del espigón debe de tener una pendiente longitudinal de la margen hacia el extremo que se encuentra en el interior del río. (FOTOS 8 a 11).

Al considerara la elevación del punto de arranque de un espigón puede tratarse de cualquiera de los siguientes, (figura 4.2.6):

- a. En ríos de planicie será igual a la elevación de la margen.
- b. En zonas intermedias o de montaña será igual a la elevación del agua que corresponde al gasto formativo.

Al seleccionar la pendiente longitudinal del espigón, conviene tener en mente lo siguiente:

- a. Lograr que el extremo del espigón que se encuentra dentro del río quede a una elevación de uno 50cm arriba del fondo del cauce

- b. Si el río es perenne, el extremo antes indicado debe quedar a la elevación que tiene el agua durante el momento de la construcción, la que conviene efectuar en época de estiaje, cuando las profundidades y velocidades de los escurremientos son menores.
- c. La pendiente longitudinal no debe ser mayor que la que permita el manejo seguro del equipo de construcción.

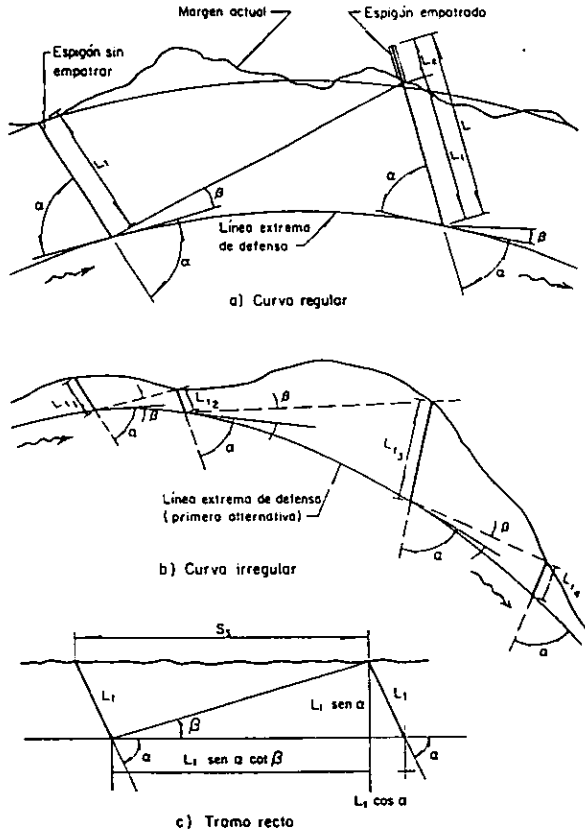
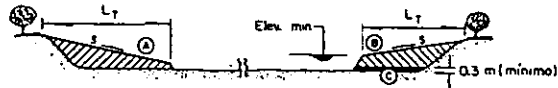
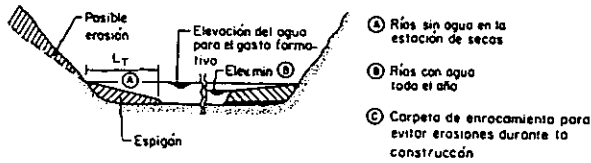


FIG 4.25





a) Construcción de espigones en zona de planicie



b) Construcción de espigones cuando los márgenes son altos

FIG 4.2.6

Para calcular el ancho de la corona de los espigones se debe tener en cuenta que depende de los materiales con que se construyen y del procedimiento de construcción empleado. Por ejemplo, si el espigón es construido con enrocamiento, el ancho de la corona debe ser tal que permita el acceso de camiones de volteo. Cuando el material de construcción son troncos, pilotes o tabla - estacados, el ancho de la corona corresponderá al de las piezas que lo forman.

#### f. ORIENTACION DE LOS ESPIGONES

Estas estructuras pueden estar orientados hacia aguas abajo, hacia aguas arriba o ser perpendiculares a la dirección del flujo. Su orientación está dada por el ángulo  $\alpha$  que forma el eje longitudinal del espigón con respecto a la tangente trazada a la línea extrema de defensa en el punto de unión con el espigón y medido hacia aguas abajo, figura 4.2.5, (fotos 12 a 14). El ángulo de orientación conviene que esté comprendido entre

$$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \dots (4.2.8)$$

En curvas con márgenes uniformes se recomienda

$$\alpha = 70^\circ \dots (4.2.9)$$

Es importante destacar que los espigones con pendiente horizontal, sí se pueden orientar hacia aguas arriba formando un ángulo no mayor de  $115^\circ$ .

Téngase en cuenta que el ángulo de orientación de los espigones repercute en la separación entre ellos.

#### g. PERMEABILIDAD DE LOS ESPIGONES

Los espigones pueden ser impermeables o permeables. Los primeros alejan de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, mientras que los segundos reducen la velocidad del flujo por debajo de su límite erosivo. Estos últimos, facilitan la sedimentación de arena entre los espigones.

Dentro de la mayoría de los espigones permeables se construyen con troncos de árbol y pilotes de madera formando una pantalla en la que dichos elementos no están juntos, sino que

están unidos con travesaños de madera y en ocasiones con alambre, (fotos 15 y16). Usualmente, los espigones construidos con roca o gaviones no son totalmente impermeables al inicio de su vida útil; lo llegan a ser cuando sus huecos se rellenan con la arena y limo transporta el agua.

Se sabe que los espigones permeables deben llegar también a la línea extrema de defensa. Su separación entre ellos es menor que para los espigones impermeables y depende de la reducción de la velocidad que se obtenga con cada uno de ellos; generalmente están separados entre 10 a 15m independientemente de su longitud. Su corona es siempre horizontal longitudinalmente y siempre deben de empotrarse. Además requieren de una observación y mantenimiento constante, ya que pueden ser destruidos por troncos y árboles que arrastre la corriente.

#### **h. MATERIAL DE CONSTRUCCION**

De los materiales con los que pueden ser construidos son; tabla - estacados de madera o concreto, troncos de árboles y ramas, enrocamiento, elementos prefabricados de mortero o concreto, elementos prefabricados de acero y alambre, y con gaviones.

En nuestro país la mayoría de los espigones se construyen con enrocamiento o gaviones.

Estos materiales de construcción deben ser lo suficientemente resistentes para soportar la velocidad de la corriente y sobre todo para resistir el impacto directo de troncos y árboles que pueda arrastrar la corriente durante grandes avenidas.

#### **i. EROSION LOCAL AL PIE DE ESPIGONES**

Cuando estas estructuras son construidas en ríos que llevan aguas todo el año, y aún la velocidad de la corriente en estiaje es elevada, se presenta en mayor grado la problemática de la erosión al pie del espigón, que ocurre en el extremo que se encuentra dentro del agua. Si ello ocurre, a medida que se construye el espigón se produce una socavación en su extremo y por tanto, al continuar la construcción también se tiene que ir rellenando la depresión que se forma por efecto de esa erosión, (figura 4.2.7). Esto trae como consecuencia un incremento en el volumen de material de construcción, y por tanto, en el costo final de la obra. Si ello se desea evitar, conviene primero colocar una capa de grava o enrocamiento de unos 30 a 50 cm de espesor, cuyos elementos no sean arrastrados por la corriente, y que ocupe toda la base del espigón. Esto necesariamente tendrá que hacerse desde barcazas. Posteriormente se construirá el espigón iniciándolo desde la orilla.

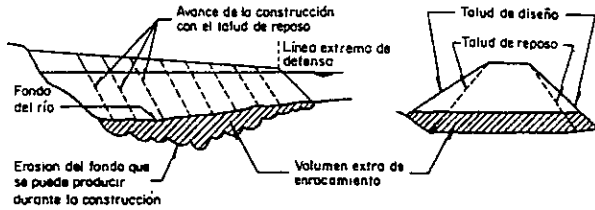


FIG 4.2.7

### 4.2.2 Muros Longitudinales

Son protecciones que consisten en colocar directamente sobre la orilla un material natural o artificial que no pueda ser arrastrado por la corriente, con objeto de evitar contacto directo de los escurrimientos con el material de la margen, o, reducir la velocidad de la corriente para que esta no arrastre dicho material.

Los muros longitudinales al apoyarse directamente contra el talud de la orilla tienen la inclinación de ésta, sin embargo, también se construyen verticalmente formando muros sobre todo en los tramos en que los ríos cruzan ciudades o poblados. Estas protecciones también se forman con elementos colocados cerca de la margen y a lo largo de ella.

Como ventajas y desventajas de este método se consideran las siguientes:

**Ventajas:**

1. Fijan la orilla protegida en forma definitiva, lo que no ocurre con los espigones, ya que la margen entre espigones puede sufrir algún grado de erosión.
2. No reducen el área hidráulica original.

**Desventajas:**

1. Son más difíciles de construir cuando se requieren filtros.
2. Su procedimiento constructivo es más delicado y complejo, sobre todo cuando el río lleva agua todo el año y el tirante o la profundidad del flujo es grande aun en estiaje.
3. Requieren de un mantenimiento cuidadoso, ya que la falla de una parte de la estructura se propaga hacia los lados y puede dañar un gran tramo de la protección.
4. Son más costosos que los espigones.

Este tipo de obras pueden ser simples o dobles. Los simples son necesarios, solo cuando la naturaleza de la corriente es tal que la erosión actúa solamente en un lado del río, como ocurre en las curvas. Se requieren dos muros paralelos en posiciones intermedias, rectas y también en

lugares donde se quiera dirigir la corriente de un talud al otro opuesto, de otra manera la corriente tenderá a esparcirse y el canal se azolvirá.

Dentro de estas estructuras existen los permeables, semi - permeables e impermeables.

1. Recubrimientos permeables: permiten el paso libre del agua pero reducen su velocidad para que pierda capacidad erosiva. Como ejemplo de estas protecciones se pueden citar los jacks (FOTO 17), así como las pantallas construidas con madera (FOTO 18), troncos o pilotes que dejan huecos entre sus elementos. En estas obras el agua está en contacto con la margen.
2. Semi - permeables: cubren la margen y evitan el contacto directo de la corriente con el material que la forma, aunque no evitan que el agua pueda fluir entre sus huecos, perpendicularmente a la protección. Dentro de esta clasificación se encuentran todas las protecciones formadas con materiales sueltos como enrocamiento, gaviones o colchones de malla y roca, y las formadas con elementos prefabricados de concreto. Generalmente requieren de la colocación de un filtro entre el material de la orilla y el material resistente al flujo que forma la coraza o capa exterior de la protección. El filtro detiene el material de la orilla y evita que pase a través de los huecos que forman los elementos del recubrimiento.
3. Recubrimientos impermeables: evitan completamente el contacto entre el material de la orilla y el agua, se pueden citar estructuras como las losas de concreto, recubrimientos asfálticos, muros de mampostería o concreto (FOTO 19) y los tabla - estacados.

De estos tres tipos los permeables se utilizan con éxito en corrientes pequeñas que arrastran una gran cantidad de vegetación. Los semi - permeables se utilizan en todo tipo de corrientes, mientras exista espacio suficiente para formar el talud en que apoyar la protección, por último los impermeables con talud vertical se utilizan con más frecuencia en las zonas donde los ríos cruzan ciudades y poblados. Las siguientes recomendaciones y comentarios se hacen en función de muros longitudinales construidos con enrocamiento, pues son los más utilizados.

#### DATOS NECESARIOS

Aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño de muro longitudinal:

- a) Localización en planta
- b) Talud de la protección
- c) Dimensionamiento de los recubrimientos
- d) Materiales de construcción
- e) Protección contra la erosión local
- f) Altura de los recubrimientos

#### A. LOCALIZACIÓN EN PLANTA

Primero hay que dibujar el eje del nuevo cauce, siguiendo las recomendaciones mencionadas en el diseño de espigones, después se marca la orilla y el pie del talud de la margen, si de antemano no estuviera claramente indicadas; líneas O - O' y T - T' de la figura 4.2.8. A

continuación y paralelo al eje del río, se traza el pie del talud de la futura protección, línea E -E', que coincide con la línea extrema de defensa; y por último, la línea F - F'; si fuera necesario.

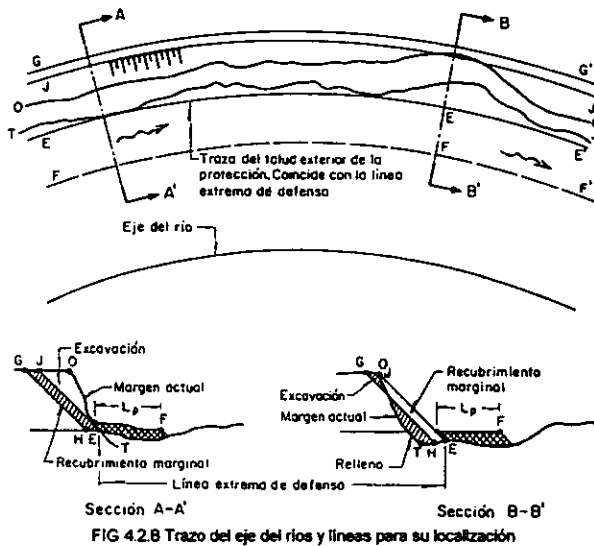


FIG 4.2.B Trazo del eje del ríos y líneas para su localización

La de las E - E' corresponde a la ubicación de la traza del talud de la protección con el fondo. Para ubicarla hay que tener en cuenta los materiales de construcción, tipo del filtro por utilizar y talud del recubrimiento. Por ello, se dibuja una primera línea, la que se corregirá y reubicará a medida que avance el diseño. Cuando el recubrimiento es vertical, esta tercera línea coincide con su pared exterior, en contacto con el agua. Cuando se diseña un recubrimiento permeable esta línea no es necesaria. Ubicada la línea E - E', el talud de la protección y la elevación de la planicie, se traza la línea J - J', que corresponde al punto superior del exterior de la protección. Además, una vez que el recubrimiento ha sido diseñado y se conoce su espesor, se logra definir la posición de la líneas H - H' y G - G', que marcan la superficie sobre la que se apoyará el recubrimiento marginal propiamente dicho.

La cuarta línea denominada extrema de protección, línea F -F', que también es paralela al eje del cauce, indica hasta donde llega la protección contra la socavación local del recubrimiento marginal cuando éste es impermeable o semi - permeable. Dicha línea se traza al final, una vez que el recubrimiento marginal ha quedado diseñado. Si el recubrimiento es permeable indica hasta donde llegarán los elementos de dicha obra.

En los ríos navegables se deben proteger ambas márgenes a todo lo largo del tramo rectificado o canalizado, sobre todo cuando se reduce el ancho natural o estable del río. En el diseño de esta protección se debe tener en cuenta el efecto del oleaje producido por el desplazamiento de la embarcaciones.

## B. TALUD DE PROTECCION

Simultáneamente con la localización en planta, en cada sección transversal dibujada en el proyecto, se deberá trazar una línea vertical en el lugar que corresponde a la línea E -E' que señala el pie del talud exterior de la protección. Con ello, se visualiza la ubicación del pie del talud. A partir de ese punto se trazará el talud seleccionado y espesor que tendrá la protección, líneas E - J y H - G. De esta forma se conocerán las zonas que deben ser rellanadas o los cortes que se tienen que realizar antes de colocar el recubrimiento.

En ocasiones, la ubicación del pie del talud se selecciona de tal forma que sólo se requieran rellenos, ya que es una acción más fácil de realizar, que la de efectuar cortes y perfilar el talud de la margen.

En muros longitudinales formados con enrocamiento conviene utilizar taludes de 2:1 o mayores, con objeto de que la protección se sostenga adecuadamente y el tamaño máximo de los elementos no sea muy grande. El talud de 2:1 se recomienda también por facilidad constructiva cuando las márgenes son protegidas con losas de concreto o colchones formados con malla metálica y rellenos con grava o boleó. Taludes más tendidos como 3:1 se utilizan en grandes ríos y sobre todo cuando es similar el talud natural de las márgenes.

Cuando la protección se requiere en zonas en que los ríos atraviesan poblaciones, en ocasiones se diseñan con taludes verticales con objeto de ganar terreno al río o bien, para no destruir construcciones que están cerca de la orilla. Para ello se recurre a tabla - estacados de diferentes materiales, muros de concreto o mampostería y, en ocasiones muros formados con gaviones. Estas estructuras deberán resistir los empujes de tierra y por tanto, pueden requerir de la construcción de muertos de concreto y colocación de cables de anclaje.

## C. DIMENSIONAMIENTO DE LOS MUROS

### a) Muros longitudinales semi - permeables.

Un muro semi - permeable se forma generalmente con enrocamiento o colchones de malla rellenos con grava o boleó. Esas obras deben descansar sobre la margen, por lo que ésta debe ser perfilada al talud deseado. Si el río tiene agua durante todo el año, sólo se perfila el talud de la margen y los rellenos que fueran necesarios se hacen con enrocamiento, ya que la compactación sólo es posible realizarla cuando las obras se construyen en seco.

Los muros longitudinales formados con enrocamiento deben de contar como mínimo con:

1. Una coraza en contacto con el flujo cuyos elementos tengan el peso suficiente para no ser arrastrados por la corriente.
2. Un filtro que evite que las partículas que forman la margen del río salgan entre los huecos de la coraza del recubrimiento.

Su espesor mínimo de coraza debe ser de 1.8 veces el tamaño medio de los elementos mayores que la forman.

Entre el material de la orilla y la coraza del recubrimiento hay que colocar un filtro, ya que las partículas que forman la orilla pueden ser arrastradas por un flujo de tierra hacia el río, el que se origina cuando el nivel freático en la margen tiene una elevación superior a la elevación de la superficie libre del río, (figura 4.2.9).

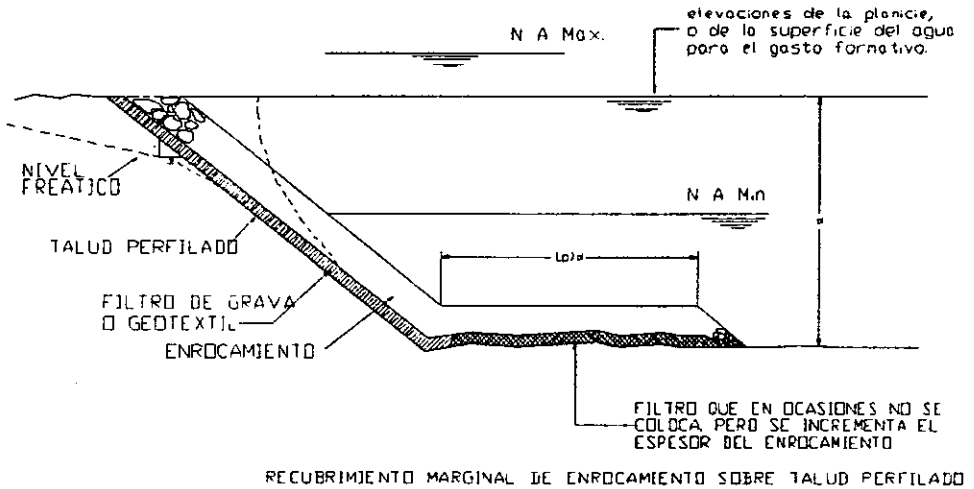


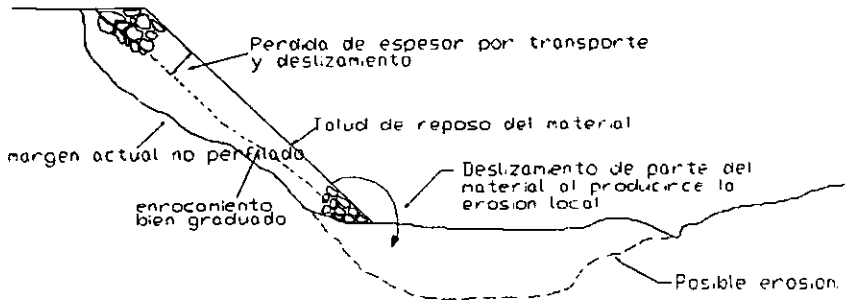
FIG 4.2.9

Si el filtro se forma con elementos pétreos, puede tener una o varias capas dependiendo del tamaño de la coraza de la protección y del tamaño de las partículas que forman la margen del cauce.

Otro tipo de filtro son las fajillas que se forman con ramas delgadas de árboles que estén entretejidas entre sí y que por su espesor no permiten fácilmente el paso del material natural de la orilla, cuando éste es grueso.

Los filtros formados con geotextiles pueden ser la mejor solución en muchas obras de protección, tanto por su facilidad y rapidez de colocación como su resistencia y mínimo espesor que tienen; sin embargo son costosos. La facilidad de colocación de los filtros depende de la elevación del agua y sobre todo de su velocidad, así como del equipo de construcción.

Cuando no es posible la colocación adecuada de filtros, se requiere colocar los materiales más finos cerca de las márgenes y hacer una selección de los más gruesos para formar la coraza; en otras ocasiones toda la protección se forma con el mismo material procurando que esté bien graduado; es decir, que su granulometría sea extendida, figura 4.2.10.



RECUBRIMIENTO SIN FILTRO Y SIN PROTECCION CONTRA LA EROSION LOCAL AL PIE DE TALUD

FIG 4.2.10

Dentro de los muros longitudinales los construidos con enrocamiento son más rugosos que los construidos con otros materiales, esa rugosidad aumenta con el tamaño de las rocas utilizadas, y reduce la velocidad del agua en la parte exterior de la curva y aleja de la orilla de las líneas de corriente con mayor velocidad. El efecto señalado es favorable para el recubrimiento, ya que se reduce la magnitud de la erosión al pie de su talud y la zona más profunda del río o tawleg se aleja de la orilla exterior.

**b) Muros longitudinales impermeables**

Estos se forman usualmente con losas de concreto hidráulico o asfáltico y se utilizan sólo en ríos y canales en los que se puede trabajar en seco.

Si el nivel freático sube por arriba del fondo y se construye una protección impermeable se deben colocar lloraderos en el recubrimiento, para evitar la subpresión.

En las zonas donde los ríos cruzan poblaciones se utilizan con frecuencia muros verticales de concreto o mampostería, figura 4.2.11. Estas estructuras deben desplantarse a una profundidad tal que no pueda el río llegar a erosionarla.

Por último, los muros longitudinales se pueden formar con tabla - estacados metálicos o de concreto. Son muy útiles en cauces profundos y márgenes arcillosas que tienden a ser verticales y para protecciones de emergencia en zonas donde no hay roca ni grava.



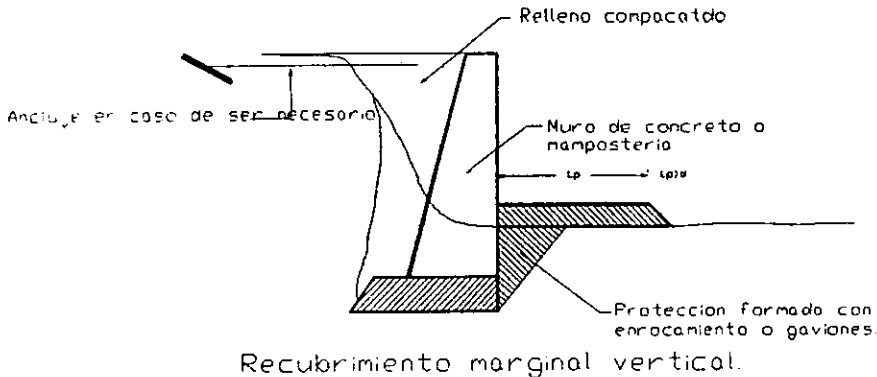


FIG 4.2.11

**c) Muros longitudinales permeables**

Como se ha indicado, son obras que consisten en colocar a una cierta distancia de la orilla y a lo largo de ella, elementos que no puedan ser arrastrados por la corriente y que permitan que la vegetación y basura que transporta la corriente queden detenidas en ellos. El propósito de esas obras consiste en disminuir la velocidad de la corriente a lo largo de la orilla, con objeto de evitar que el material de la margen sea movido y transportado, y de ser posible, facilitar además el depósito de los sedimentos que transporta el flujo, con lo que se logra una mayor protección de la margen. Estas obras se utilizan con éxito en pequeñas corrientes y se pueden formar de la siguiente manera:

1. Con pilotes separados entre si y alineados a lo largo de la línea extrema de defensa; en ocasiones se unen entre sí con alambre de púas. Entre los pilotes y la orilla se colocan troncos y ramas.
2. Con jacks, (FOTO 17). Son cruces en tres dimensiones con brazos metálicos de igual longitud que se unen en su parte central perpendicularmente entre sí. Los brazos se ligan entre sí con alambre con lo que aumenta su capacidad para detener los cuerpos flotantes que transporta la corriente. Con objeto de que los jacks no sean arrastrados o movidos de su lugar se unen con cables entre si y el de aguas arriba se liga a un muerto de concreto o pilote colocado en la margen. En el espacio que queda entre los jacks y la margen, en ocasiones, se colocan ramas y troncos de árboles. Estos elementos son útiles en pequeñas corrientes, sobre todo si ellas arrastran gran cantidad de basura, ramas y arbustos, que quedan detenidos entre los jacks.

**E. PROTECCION CONTRA LA EROSION LOCAL**

De las causas principales de la falla y destrucción de los muros longitudinales está la erosión que se produce al pie de los mismos, por lo que el éxito de un muro depende de su protección contra esa erosión local, la cual se puede deber a la erosión general del cauce o a la erosión en curvas.

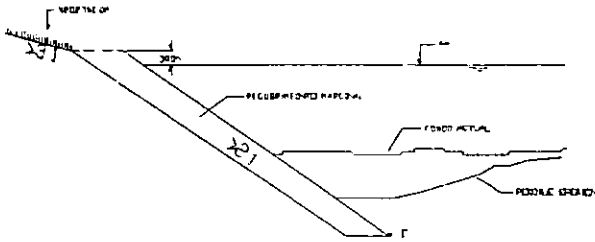
Cuando una margen está protegida y no puede desplazarse lateralmente, la erosión en curvas aumenta, debido principalmente a que la margen interior de la curva, sujeta a sedimentación, se sigue desplazando hacia el interior del río, hasta que alcanza un nuevo estado de equilibrio.

Existen varios procedimientos para evitar que un recubrimiento sea socavado. Entre ellos están los siguientes, figura 4.2.12.

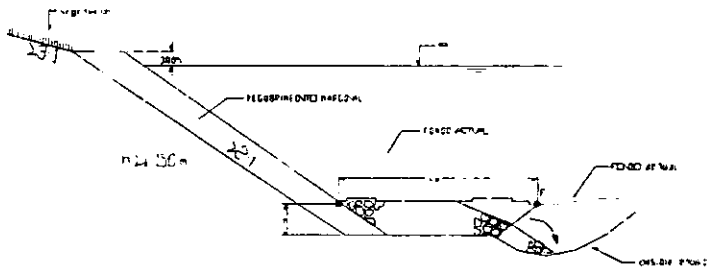
1. Desplantar la protección a una profundidad tal que no sea afectada por la erosión general o la erosión en curvas. Esta protección se realiza con facilidad en ríos que no llevan agua durante algunos meses del año.
2. Excavar en trinchera al pie del recubrimiento, como se indica en la figura 4.2.12 b. Dicha trinchera se rellena con material pétreo que no pueda ser arrastrado por la corriente. Si se produce erosión y el fondo desciende se producirá un deslizamiento y reacomodo de algunos elementos de la trinchera, pero el recubrimiento marginal sigue protegido.
3. En lugar de profundizar la protección se puede colocar un delantal a base de enrocamiento sobre el fondo del cauce, con elementos que no sean arrastrados por la corriente. Al erosionarse el fondo del cauce, parte del enrocamiento del delantal se desliza hacia las zonas erosionadas y se reacomoda, pero siempre tiende a formar una coraza protegiendo el fondo.

La selección entre las opciones indicadas depende principalmente de aspectos económicos y de los equipos de construcción disponibles.

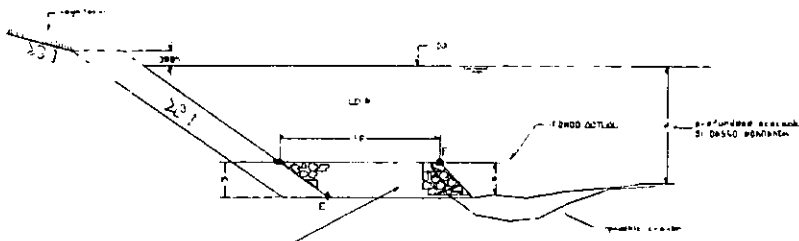
Si se somete el error de recubrir exclusivamente las márgenes sin profundizar el recubrimiento o sin formar el delantal de protección, dichos recubrimientos inevitablemente llegan a fallar. En igualdad de circunstancias, las fallas tienen una extensión mayor cuando se utiliza concreto o mampostería. Además no se pueden reparar y se requiere construir otro nuevo recubrimiento, en cambio, si el muro es flexible, como los construidos con enrocamiento, éste se desliza y aunque sea parcialmente destruido tiende a proteger el fondo de la zona erosionada. Para reparar la falla se pueden colocar volúmenes adicionales de enrocamiento, aún sobre las zonas en el que el filtro haya desaparecido.



RECUBRIMIENTO DESPLANTADO A UNA ELEVACION INFERIOR QUE LA POSIBLE EROSION



ARMADURA RELLENA DE ENROCAMIENTO



ESPANTAL DE PROTECCION

FORMAS DE PROTEGER UN RECUBRIMIENTO MARGINAL CONTRA LA EROSION  
FIG 4.2.12

### F. ALTURA DE PROTECCIÓN

En los ríos se recomienda que la protección llegue hasta el borde superior de la orilla. En ríos que no son de planicie, el recubrimiento marginal, se llevará un metro más arriba del nivel del agua al pasar el gasto formativo (figura 4.2.12) y se deberá cubrir con vegetación del lugar para que aumente su resistencia a la erosión.

### 4.2.3 Diques y Espolones

#### 4.2.3.1 Diques

Son estructuras, por lo regular de gran longitud, colocadas dentro del cauce y que se utilizan cuando se quiere formar una nueva orilla que permita encauzar al flujo en forma más adecuada o cuando se desea reducir el ancho del río y aumentar su profundidad. Al igual que los espigones puede iniciarse y estar unidos a la margen mientras que toda la obra está dentro del cauce. La principal diferencia entre ellos y los espigones consiste en que estos últimos interfieren con las líneas de flujo mientras que los diques se colocan y diseñan para lograr que las líneas de corriente sean paralelas a estas obras. Son construidos normalmente con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos; su sección transversal es trapecial y el talud en contacto con la corriente del río es formado en forma similar a los muros longitudinales. (FOTOS 20 y 21)

Los diques marginales son estructuras aún más costosas, ya que constan de todos los elementos de un muro longitudinal y además requieren de un cuerpo o apoyo a esa protección. Cuando un dique es necesario no puede ser sustituido por un recubrimiento marginal. Si se deseara utilizar espigones para lograr el efecto de un dique, estos normalmente son más costosos y no trabajan tan eficientemente. Estas estructuras se utilizan principalmente en aquellas zonas en las que los cauces tienen islas, o son divagantes, o las márgenes son irregulares, o cuando se requiere formar una nueva orilla separada de la actual.

#### RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE LOS DIQUES

- a. Se construyen en forma semejante a los espigones en cuanto que son estructuras dentro del cauce y que deben resistir a la velocidad de la corriente, tanto a lo largo de su vida útil, como durante su construcción, (si el río lleva agua todo el año).
- b. Se debe diseñar la cara o talud del dique en contacto con los escurrimientos del río en forma semejante a los muros longitudinales. Sobre el talud exterior, en contacto con el flujo, se coloca una coraza resistente como si fuera un recubrimiento marginal pero sin necesidad de usar filtros. Los filtros se requieren cuando, por no haber bancos de roca abundantes y cercanos, se forma el cuerpo del dique con arena.
- c. No se requiere de protección especial en la cara interior del dique, ya que está en contacto con aguas cuyas velocidades son muy lentas.
- d. Al igual que en los muros longitudinales, el pie del talud expuesto a la corriente se debe proteger contra la erosión local.
- e. Se construyen generalmente con:
  - a) enrocamiento
  - b) corazón de arena y grava con recubrimiento de roca o gaviones
  - c) tabla - estacados y pilotes metálicos o de concreto

De las formas comunes de diques (permeables) es la de pilotes. Esta consiste en dos o más hileras paralelas de pilotes que están formadas por formas tripode de ellos, cortados aproximadamente a la mitad de la altura del banco y con su parte superior amarrada con alambre. Cada grupo de pilotes va espaciado de 15 a 20 pies, en hileras que aproximadamente están separadas 5 pies. Unos largueros colocados entre los pilotes conectan a cada grupo de ellos. Generalmente los pilotes se hincan a profundidades de 20 a 30 pies. Los diques de este tipo por lo regular se colocan en serie. El dique de aguas arriba se voltea hacia aguas abajo con un ligero ángulo en relación con el cauce, para desviar la corriente.

- f. La altura de la corona de los diques generalmente es la misma que la de la margen cercana o la correspondiente a la elevación del agua asociada al gasto formativo. Sin embargo, puede ser menor cuando se desea que el propio río rellene con sedimentos las zonas muertas que quedan entre los diques y la margen actual.
- g. Para ubicar los diques se procede en forma semejante a lo descrito para los espigones y muros longitudinales.

En los diques que se diseñan con paramento vertical, éste coincide con las líneas mencionadas y su ubicación no se modifica al avanzar el diseño; es decir, al dimensionar y detallar la sección transversal del dique, sus elevaciones de desplante y corona, así como el tamaño de los elementos que la formarán.

Una vez diseñada la sección del dique, se ubican en planta el eje y orillas de la corona y el pie del talud del lado interior.

Aunque la mayor parte de un dique se alinea paralelo al eje del río y por tanto a la dirección del flujo, un tramo de él debe unirse a la orilla en su parte inicial de aguas arriba, por lo que éste puede quedar interpuesto a la corriente y funcionar como espigón.

#### **4.2.3.2 Espolones**

Estas estructuras son diques pequeños y estrechos, unidos a la orilla por un solo extremo, y proyectándose hacia el lecho del río, usualmente forman un ángulo recto con la dirección de la corriente. En algunos casos los espolones están formados por tabla - estacados hincados en continuidad y reforzadas con largueros horizontales; también pueden estar formados por pilotes hincados, trazando, con largueros horizontales, una cuadrícula de 5 pies de ancho por 15 de largo. Las celdillas formadas por esta cuadrícula se rellenan, de grava o con de ramas unidas y aseguradas con alambre, sellando los intersticios con barro o arcilla, para tal propósito se utilizan también sacos de arena.

Los pilotes para espolones no necesitan ser muy largos; una profundidad de hincado de 10 a 20 pies generalmente es suficiente. Para la altura se requiere que tenga por lo menos la del nivel de ribera y debe sobresalir lo suficiente para indicar la posición del espolón en tiempos de avenida. El cuerpo de la obra no necesita ser llevado más allá del nivel ordinario de aguas altas, además

suele haber espolones sumergidos. Los espolones se espacian a diferentes distancias: intervalos equivalentes a su largo o variando, de acuerdo con los requerimientos de cada localidad. Tienen el efecto de guardar de la corriente la ribera a la cual están conectados, enviándola hacia el centro del cauce y produciendo una contracción en el ancho del mismo. Esta contracción o concentración del flujo produce un incremento en la acción erosionante del agua en el lecho, aumentando su profundidad.

A los lados del río, los espacios entre los espolones gradualmente aumentan, y la acumulación de material interceptado por los espolones conduce a la formación de represas continuas marcadas por una serie de entradas crecientes.

Siendo así que los espolones constituyen una útil medida inicial en la que no ejerce una represión muy rígida en una corriente. Construidos en principio en longitudes cortas con posibilidad de extensión en etapas sucesivas, actúan gradualmente sobre la corriente sin cambios violentos en su comportamiento lo que conduciría a resultados opuestos.

#### **4.3 Rectificación de Cauces (Corte de Meandros)**

Una forma de aumentar la capacidad hidráulica de un cauce principal es la de rectificando un tramo del río, cabe mencionar que el aumento de capacidad se obtienen solo en el tramo rectificado y en el tramo inmediato aguas arriba de él.

Cuando en un río hay meandros, (figura 4.3.1), se puede hacer una rectificación del mismo por medio del corte de uno o varios meandros cuya capacidad hidráulica es mayor que la del río original, pues su pendiente es mayor (FOTO 22).

Por la reducción de la longitud, la pendiente aumenta y por tanto aumenta la capacidad hidráulica de la sección en el tramo B'C' rectificado.

Sabemos que en los ríos existe una relación de equilibrio entre los gastos líquido y sólido que pasan por un tramo determinado, de las dimensiones de la sección transversal del cauce, de la pendiente y las propiedades físicas del material de fondo y orillas del cauce. Al cortar uno o varios meandros se incrementa la pendiente y se altera el equilibrio, para recuperarlo, el río tiende a suavizar la pendiente desarrollando nuevos meandros, que es lo que se debe evitar para que la acción estructural funcione. Esto se logra protegiendo las márgenes del río por medio de espigones, espolones, muros longitudinales y diques, para que el cauce no se desplace lateralmente y no se desarrollen los nuevos meandros.

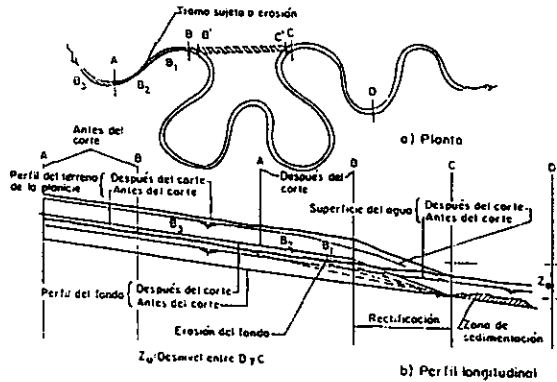


FIG 4.3.1

Si ya se ha construido la protección adecuada el río tenderá aún a disminuir su pendiente, esto lo logra erosionando el fondo hacia aguas arriba del corte y depositando el material aguas abajo de él. Esta acción erosiva continúa permanentemente si el material del subsuelo es homogéneo e igual al material original del fondo, y puede disminuir si, durante el proceso erosivo se descubren estratos más resistentes. La erosión mencionada aumenta el área hidráulica y por lo tanto pasarán gastos mayores.

Ahora bien, para que la acción comentada sea de utilidad se debe dragar el río aguas abajo del último corte, con objeto de retirar el material que se deposita y que proviene del fondo erosionado en cortes aguas arriba de ellos.

El corte de meandros se hace construyendo inicialmente un cauce piloto, el cual será ampliado posteriormente por el río debido a la mayor capacidad de arrastre y erosión que tiene el agua al pasar por él. Las dimensiones del cauce piloto dependerán de su pendiente y de las propiedades físicas del material que forman las paredes y el fondo del mismo.

#### DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS

En el tramo B'C' (Figuras 4.3.1 y 4.3.2), el cauce piloto se excavará hasta que su plantilla alcance el nivel del fondo del río. A lo largo del cauce la pendiente de la plantilla será uniforme uniendo las elevaciones del fondo de las secciones anteriores, por lo que la excavación se tendrá que llevar hasta la línea imaginaria que une el fondo del cauce en los puntos B y C.

El ancho mínimo del cauce piloto deberá ser igual a dos veces la altura que existe entre el fondo del cauce piloto y la superficie del terreno natural:

$$B_{\text{mín}} = 2 (\text{nivel terreno} - \text{nivel fondo})$$

Con ello se evita que se cierre completamente la sección y se obstruya el paso de agua si llega a ocurrir algún deslizamiento debido al proceso erosivo que también ocurre al pie del talud de las orillas.

Por otro lado, el ancho mínimo del cauce piloto debe ser tal que garantice el arrastre de las partículas del fondo y de las orillas. Para obtenerlo se :

1. selecciona un ancho
2. obtienen los tirantes, velocidades y caudal que pasa por el cauce piloto, cuando en el río se presentan las condiciones media de la época de estiaje.
3. en la sección media del cauce piloto, se obtiene el esfuerzo cortante que el flujo ejerce sobre el fondo,  $\tau_0$ . Este esfuerzo es igual al producto de la densidad del agua por el radio hidráulico y por la pendiente hidráulica .
4. compara  $\tau_0$  con el esfuerzo cortante crítico  $\tau_c$  necesario para iniciar el arrastre de las partículas del fondo,  $\tau_0/\tau_c = \epsilon$ .
5. recomienda que  $\epsilon$  sea igual a 3 para que el arrastre de partículas sea uniforme.

En el momento que se efectúa un corte de meandros y durante el proceso erosivo, como resultado del cual se amplía el cauce piloto, se cumple la relación:

$$Q_r = Q_c + Q_m$$

donde:  $Q_r$  es el gasto total del río  
 $Q_c$  es el gasto a través del cauce rectificado  
 $Q_m$  es el gasto que pasa por el meandro cortado

Ver fig. 4.3.2

Puesto que el fondo del cauce piloto se lleva hasta el nivel de fondo del río tanto en B como en C, la erosión y por tanto la ampliación del cauce piloto se produce hacia los lados, aunque también ocurre en el fondo de las secciones cercanas a B. Se sabe que el radio hidráulico de una sección muy ancha ( $B=40y$ ), es casi igual al tirante, por lo cual a medida que el cauce piloto se amplía lateralmente, el radio hidráulico se incrementa tendiendo al valor mencionado. Esto produce a su vez un incremento en la velocidad, en el ancho y en el transporte de sedimentos por lo que aumenta también el proceso erosivo.

En otras palabras el fenómeno del corte de meandros es como sigue: el río transporta una cantidad de sedimentos que es función de la pendiente, entre otros. Como el tramo rectificado tiene una mayor pendiente se transporta más material. Como de aguas arriba llega una cantidad menor, la diferencia la toma del fondo y éste se erosiona, dicha erosión hace descender el fondo y con ello aumenta el área hidráulica del cauce.



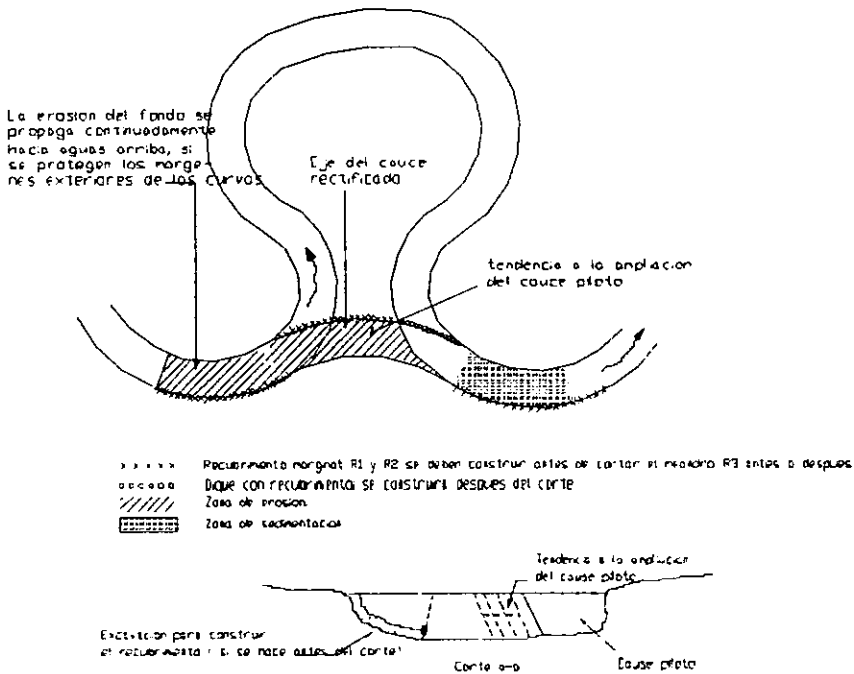


FIG 4.3.2

Si el material es más resistente por tener mayor tamaño y cohesión se debe de excavar una sección de ancho mayor, de tal manera que con esos radios hidráulicos mayores el flujo alcance velocidades que tengan el poder erosivo necesario.

Si el material removido y arrastrado del fondo y de las paredes del cauce piloto es arenoso o de diámetro mayor se depositará en el tramo aguas abajo de C, ya que ahí disminuye la velocidad media del flujo por reducirse la pendiente.

El depósito mencionado reducirá la sección hidráulica y la superficie del agua se elevará produciendo un remanso que afectará parte del cauce piloto. Para evitar lo anterior, se requiere dragar en el primer tramo aguas abajo de C, ver figura 4.3.1, o bien colocar un a draga fija cerca de C que retire el material.

En los ríos donde el fondo y orillas están formadas con material muy fino como limos y arcillas, no ocurre sedimentación aguas abajo del corte y por lo tanto el dragado no es necesario.

#### 4.4 Muelles y Atracaderos

Un *muelle*, es una estructura para fondear o atracar los barcos que cargan y descargan mercancías o embarcan y desembarcan pasajeros. Con frecuencia lo embarcaderos y malecones se denominan muelles.

En cambio un embarcadero es un muelle que corre paralelo a tierra. Está generalmente contiguo a ésta, pero no necesariamente debe ser así. Por otro lado, un malecón, aunque es similar a un muelle y a menudo se le denomina como tal, tiene como respaldo a la tierra.

Un muelle abierto es un muelle que se proyecta dentro del agua. Cuando se construye en combinación con un rompeolas se denomina muelle rompeolas. En contraste con un embarcadero, que puede usarse como muelle de un solo lado, los barcos pueden usar un muelle abierto por ambos lados. Pero hay ocasiones en que se utiliza sólo un lado, debido a las condiciones físicas del lugar o a que no hay necesidad de mayor espacio para atracar. Un muelle abierto puede ser, más o menos, paralelo a la costa o en ángulo recto. En este caso el muelle se llama muelle en T o muelle en L, según la posición en que esté el paso de tierra.

Los atracaderos son estructuras marinas para fondear naves. Se usan habitualmente en combinación con muelles abiertos y embarcaderos para acortar la longitud de estas estructuras. Los atracaderos son una parte principal del tipo de instalación de fondeo y amarre fijos, usados ampliamente para instalaciones de descarga y carga a granel. También se usan para unir barcos y transferir carga de un barco a otro. Los atracaderos son de dos tipos; los de atraque y los de fondeo o amarre.

- De atraque: Se diseñan para absorber el impacto de un barco cuando atraca y para sujetar el barco en contra de un viento de lado. En consecuencia están provistos de defensas para absorber el impacto del barco y evitar daño al barco y al propio atracadero.
- De fondeo o de amarre: Para sujetar un barco contra el viento de lado que sople alejándose del muelle se proveen atracaderos adicionales hacia fuera de popa y proa, a cierta distancia atrás del frente del muelle. Estos se llaman atracaderos de fondeo o de amarre y no se diseñan para el impacto del barco, puesto que están lejos del frene del muelle y los barcos no pueden pegarse.

Los atracaderos, muelles y malecones se dividen generalmente en dos grandes clasificaciones: muelles de construcción abierta con las cubiertas soportadas por pilares o cilindros; muelles de construcción cerrada o sólida, como las celdas de tablaestacas, malecones, cubos, cajas de concreto y muros de gravedad o de contención.

Hablando de los muelles de construcción abierta estos a su vez pueden subdividirse en plataformas de nivel alto o de descarga, en los cuales la losa estructural principal está debajo de la cubierta terminada y el espacio intermedio se rellena para proporcionar peso adicional con objetos

de estabilidad (figura 4.4.1). Las cubiertas de nivel alto tienen en general una losa sólida como cubierta. Pero en los muelles para petróleo la losa puede ser un enrejado constructivo y omitirse en la zona de tuberías (figura 4.4.2).

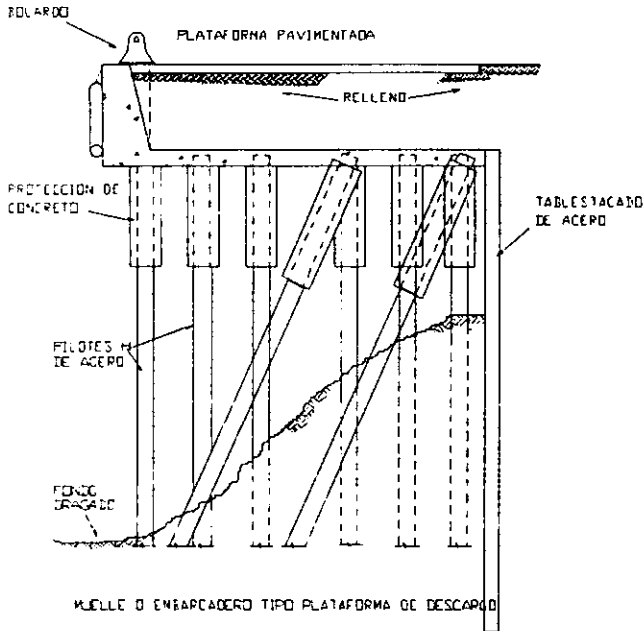
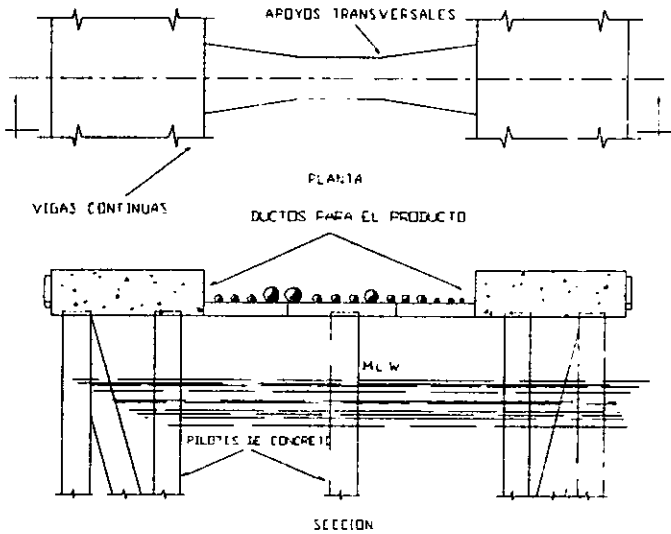


FIG 4.4.1

Construcción de tipo abierto. La cubierta puede ser de madera tratada, de concreto reforzado o una combinación de concreto y acero o madera. Se ha comprobado que las losas de concreto presforzado o precolado, así como las vigas del mismo material, son una forma económica de construcción.

La cubierta puede estar apoyada sobre pilotes, que pueden ser de madera, de acero (sección H o tubo), o de concreto reforzado. Los pilares de concreto presforzado, así como cilindros del mismo material, se han usado particularmente en aguas profundas y en donde las condiciones de un fondo suave o flojo requerían soportes de cimentación muy largos.



MUELLE PARA PETROLEO CON ARMAZON DE ESQUELETO

FIG 4.4.2

**Muelles de construcción sólida.** Las celdas del tipo de tablaestacas de acero se usan con mucha frecuencia en profundidades del agua que no excedan de 50 pies y donde las condiciones del fondo sean adecuadas para soportar estructuras del tipo de gravedad. Para la estabilidad, las celdas normalmente se llenan con roca o grava. Las celdas generalmente se cubren con una losa de concreto y un muro de contención sobre la superficie del agua, (figura 4.4.3). En las celdas se usan tablaestacas planas de acero, que trabajan a la tensión para retener el relleno interior, con lo cual se forma un muro de gravedad de peso y resistencia al esfuerzo cortante suficiente para resistir el volteo y el deslizamiento en la base. Las celdas pueden ser de forma circular o pueden tener extremos circulares y paredes rectas.

**Muelles para terminales generales de carga.** En las figuras 4.4.4 y 4.4.5 se muestran las dimensiones para muelles de doble y cuádruple atraque, respectivamente. El amarradero para cuatro barcos debe ser lo suficientemente ancho para maniobrar un barco con un remolcador hacia dentro y hacia afuera del atracadero, pasando junto a los barcos que están atracados en el extremo de afuera.

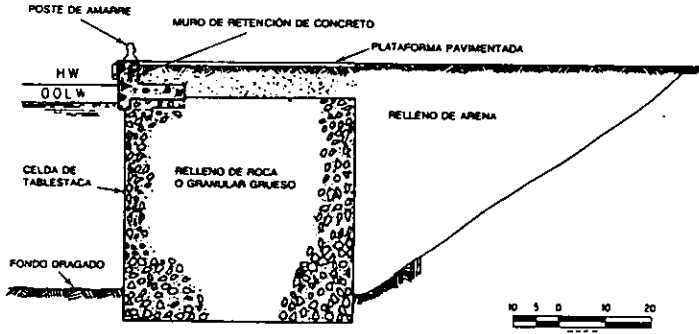


FIG 4.4.3

En la figura 4.4.6 se muestran las dimensiones para un embarcadero. El área de cada cobertizo de tránsito depende de la capacidad de almacenar la carga de los barcos. Esta capacidad de basa en la medición de las toneladas . El ancho a de plataforma depende del uso de grúas de portal o semiportal y el número de vías de ferrocarril y de carriles para camiones, si es que lo hay.

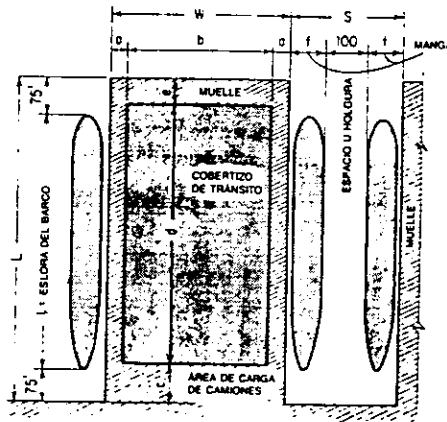


FIG 4.4.4

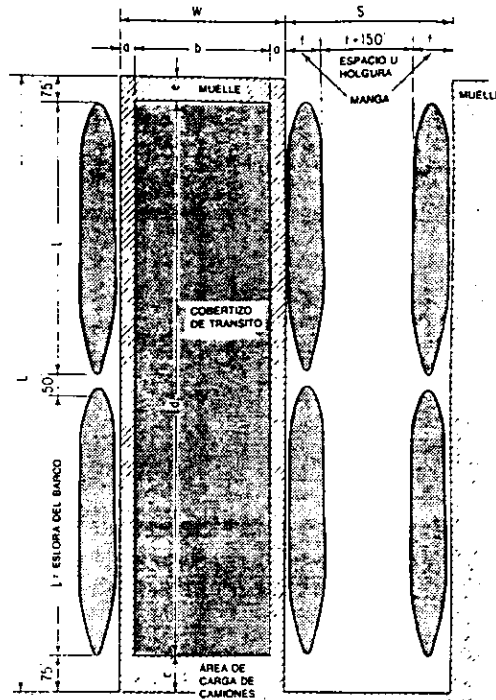


FIG 4.45

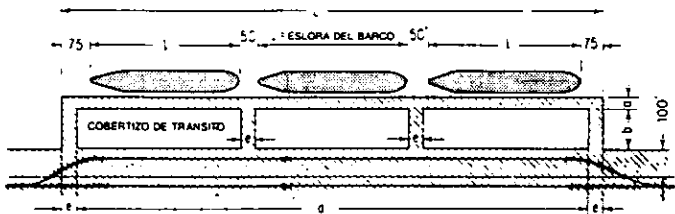


FIG 4.46

Cuando el tipo de muelle y sus características generales de construcción se han determinado, es necesario establecer las cargas vertical y lateral para las que se diseña el muelle. Estas fuerzas son: del viento, de corriente, de Impacto, sísmicas y cargas de gravedad.

#### Defensas de muelle.

La función principal de una defensa de muelle es evitar que un barco o el muelle sufran daño durante el ataque. En condiciones ideales y bajo control perfecto, un barco puede aproximarse a un muelle sin dar un golpe severo, pero aun así todavía es esencial separarlo del muelle por medio de tiras amortiguadoras de madera o de hule. Tales tiras evitarán que se dañe la

pintura de la nave debido al movimiento relativo entre el muelle y la nave causado por el oleaje y el viento.

Es su forma más simple, una defensa puede ser un miembro horizontal de madera o un número de miembros verticales de madera o de tiras de hule sujetas a la cubierta o al frente del muelle. Para miembros verticales pueden usarse maderos que terminen al nivel del agua y colgados desde la cubierta. Los pilotes de madera que se colocan como defensa alejados del muelle con una inclinación ligera, aproximadamente 1 en 24, absorberán energía debido a la deflexión cuando son golpeados por un barco. Sin embargo, para barcos grandes, es necesario algo adicional para absorber más energía y se han diseñado diversos tipos de sistemas de defensas flexibles que han funcionado con éxito.

De los materiales más usados está el hule se usa mucho en los sistemas de defensa. Las tiras de hule colgadas de un lado del muelle son un ejemplo. Con el uso de tiras de hule han surgido amortiguadores rectangulares o cilíndricos huecos, bloques rectangulares de hule y el tipo sandwich, conocido como amortiguador de defensa Raykin. El tipo de cilindro hueco se utilizó originalmente como una defensa de cortina (figura 4.4.6). Esto requiere una pared de frente sólida de una profundidad por lo menos de 6 pies, ya que es deseable repartir la carga en una altura por lo menos de 3 pies de la placa del barco.

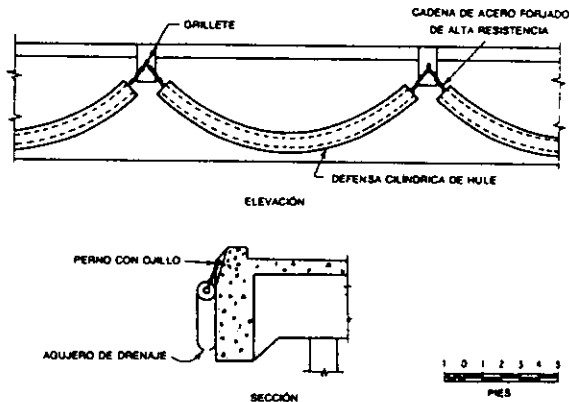


FIG 4.4.6

## 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

En nuestro país, como en todas las naciones, uno de los principales problemas en el curso de la historia ha sido el de las vías de comunicación. La importancia de estas es vital para el progreso de un país, pues es sabido que el desarrollo de un país depende directamente de la fase en que se encuentre la evolución de su sistema de transporte, favoreciendo a una mayor explotación y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales de las poblaciones que ligan, además de promover beneficios de carácter económico, social y cultural.

Se debe tener en cuenta la estrecha dependencia de los transportes de la política oficial, del Plan nacional de desarrollo y de la situación económica del país, que representan un contexto importante y en el que se introduce necesariamente el funcionamiento de los transportes. Por ejemplo uno de los apartados del Plan de Desarrollo de la Región del Sureste menciona:

"Uno de los propósitos en materia de comunicaciones y transportes, es modernizar y ampliar la infraestructura, y mejorar la operación a efecto de desarrollar y consolidar un sistema integral de comunicaciones y transportes, basado en las vías marítimas, aéreas, ferroviarias, carreteras y de telecomunicaciones con el fin de mantener la funcionalidad y la operatividad de la infraestructura mediante obras de reconstrucción, conservación, ampliación y mejoramiento".

Tanto es la relación del sistema de transporte con la política, economía y desarrollo de la nación que se han llegado a acuerdos (en cursos de ingeniería de transportes) para promover el desarrollo de tal sector, comunes a las distintas modalidades de transporte, con principios como:

1. Necesidad de una coordinación entre las modalidades de transporte y su planificación integrada.
2. Adaptación de cada sistema a las necesidades de su demanda típica.
3. Adopción de innovaciones técnicas
4. Mejora de la seguridad de la investigación.
5. Protección del medio ambiente.
6. Funcionamiento del sistema con un costo social mínimo.
7. Integración con otros sectores económicos, y en especial con el turismo y urbanismo.
8. Protección y defensa a la red vial.
9. Preparación de planes de infraestructura.
10. Necesidad de dar un trato especial a los servicios extraeconómicos que demuestren ser convenientes.

El buen servicio de transportes constituye una de las condiciones esenciales para el desarrollo. Este factor esencial queda corroborado por el volumen cada vez mayor de inversiones mundiales en transportes (tanto en el sector público como en el privado), en infraestructura, vehículos y en actividades de investigación.



## 5.1 Noción de Complementariedad en el Transporte

Grandes cuerpos de agua como mares, lagos y ríos, han sido desde los orígenes del hombre medios de comunicación entre grupos humanos. El conocimiento de la existencia de pueblos lejanos y el establecimiento de relaciones con ellos no hubiera sido posible de no haber logrado el hombre dominar la técnica de la navegación. El descubrimiento mismo de América por parte Europa es un claro ejemplo de ello.

Con un franco retraso tecnológico respecto al transporte marítimo, el transporte terrestre se desarrolló sobre todo a partir del descubrimiento de la rueda, pero no es sino hasta mediados del siglo XIX cuando, con el invento de la máquina de vapor y su adaptación al ferrocarril, logra superar al transporte marítimo tanto en velocidad como en oportunidad y comodidad, dado el desarrollo del sistema fluvial en aquel entonces.

A medida que el hombre extiende sus dominios requiere explotar el interior de su territorio. Cuando las dificultades del transporte terrestre se superan tecnológicamente aparecen los grandes puentes, que sin interrumpir el tránsito fluvial agilizan el tránsito terrestre, al sobrepasar el obstáculo que le oponen los cuerpos de agua, especialmente los ríos.

Es así como surge una competencia entre los subsistemas carretero, ferroviario y marítimo fluvial, donde quedaba a elección del usuario la demanda de cada uno, evaluando sus ventajas y desventajas. Desde esos años los sistemas se complementaban entre sí, ya que cada uno ofrecía condiciones diferentes, además de que su construcción quedaba restringida a las características geográficas del país y necesidades propias de cada uno, es por ello que se buscaron nuevas formas de complementar los transportes sin afectar el servicio de cada uno de los subsistemas.

Una primera solución fue el transbordador, mediante el cual el transporte fluvial complementaba al transporte terrestre, pero aunque se contara con dos muelles, uno a cada lado del río, la vía terrestre no ofrecía la comunicación continua y había que esperar la llegada del chalán o en ocasiones la reanudación del servicio después de una reparación. Al incrementarse el tránsito carretero estas condiciones se convirtieron en inaceptables. Aparecieron así puentes por doquier, cuya finalidad de integración territorial era por lo menos en un principio, mucho más fuerte que la rentabilidad de su uso para el transporte.

### 5.1.1 Transportes.

Hablando del transporte se puede decir que es una actividad que ejerce una influencia predominante en las condiciones económicas, sociales, administrativas, políticas, militares y de la seguridad de los países, constituyendo uno de los elementos esenciales de su infraestructura. Representa el movimiento de alimentos, consumos, insumos industriales y productos manufacturados indispensables a la vida, incluyendo el transporte de pasajeros, siguiendo una trayectoria determinada y bajo la acción de fuerzas exteriores.

Para los planificadores, el transporte es uno de los elementos que más interviene en los programas y proyectos que preparan, teniendo que ajustarlo y armonizarlo con la demanda, la producción y la distribución, pues la capacidad de transporte instalada y no utilizada representa un gasto inútil para los objetivos que se pretende alcanzar, afectando una parte importante de las inversiones.

### 5.1.2 Modalidades del Transporte.

Todos los países tratan por lo general de complementar sus modalidades de transporte, pues resulta difícil encontrar un sistema ideal en cualquiera de ellos.

Existen cuatro modalidades principales de transporte que se han desarrollado en mayor o menor grado según la evolución de la tecnología y de las condiciones económicas, geográficas, sociales y políticas, estas modalidades son:

- Por carretera
- Por ferrocarril
- Por agua
- Por aire

Por carretera el sistema se inició utilizando las calzadas de las vías antiguas por donde circulaba el transporte de tracción animal, modificándose después gradualmente y yendo acompañado de una evolución técnica de distinto grado.

Al paso del tiempo la red de ferrocarriles proyectada para atender la economía de una época determinada, ha ido desajustándose (por lo general en virtud de sus propias limitaciones, de las modificaciones técnicas y de las exigencias de la masa de inversiones) en relación con el crecimiento económico, con el alejamiento de las fuentes de producción y con la explosión demográfica. Sin embargo, ha encontrado el apoyo complementario de un eficiente transporte por carretera y un transporte fluvial, para el movimiento de pasajeros y mercancías.

Los transportes marítimos, fluviales y lacustres no suelen presentar una tecnología de punta en la actualidad, pese a esto en países con grandes longitudes de ríos y lagunas existe sin dificultades con una técnica moderna.

En cuanto a los transportes por aire, no hay ningún país que no disponga hoy en día de alguna forma de este transporte, por sus características peculiares, pues proporciona un servicio a larga distancia con una velocidad insuperable. Además, ofrece la ventaja extraordinaria de su movilidad y de su facilidad para establecer el enlace entre cualquier región (desarrolladas o no).

De manera general, los transportes presentan a su vez, las modalidades que se enumeran a continuación:

- Ductovianos (conductos o canalizaciones), que sirven para mover y/o conducir continuamente un gran volumen de materias sólidas, líquidas o gaseosas, es decir: acueductos, oleoductos, gasoductos y mineroductos.

- Redes para suministro de energía eléctrica, siendo la transmisión la calificación más apropiada para este tipo de transporte.
- Transportadores Industriales, entre los cuales figuran los planos inclinados, elevadores, escaleras rodantes, teleféricos, cintas transportadoras, puentes rodantes, tornillos sinfín y tubos neumáticos.

En función del camino que recorren los medios de transporte, se distinguen los siguientes tipos de vía:

- Vías terrestres, con desplazamiento sobre la superficie de la tierra
- Vías acuáticas (marítimas, fluviales y lacustres), con desplazamiento sobre el agua
- Vías aéreas, con desplazamiento en la atmósfera
- Vías subterráneas, con desplazamiento bajo la superficie de la tierra
- Vías submarinas, con desplazamiento bajo la superficie del agua
- Vías estratosféricas, con desplazamiento por encima de la atmósfera

Por las regiones y localidades a que dan servicios, los transportes se clasifican en:

- Transportes urbanos, cuando funcionan dentro de los límites de un núcleo urbano
- Transportes suburbanos, cuando se realizan entre núcleo urbanos y sus zonas adyacentes
- Transportes rurales, cuando enlazan los núcleos urbanos y los suburbios con las zonas rurales
- Transportes regionales o estatales, que enlazan las regiones o estados del país
- Transportes municipales, cuando funcionan dentro del término de un Municipio
- Transportes nacionales, cuando dan servicio a toda la nación
- Transportes internacionales, cuando enlazan a diferentes países entre sí

Por su valor, peso y volumen, las cargas tienen la siguiente clasificación:

- Cargas de poco valor
- Cargas de valor normal
- Cargas de gran valor

### **5.1.3 Sistemas de Transporte.**

Las relaciones entre las modalidades de transporte no son de causa - efecto, sino funcionales. Los problemas de transporte deben estudiarse y analizarse mediante el enfoque de la teoría de sistemas, por la conveniencia que ofrece la acción recíproca entre las diversas modalidades a base de correlacionar las ventajas y desventajas de cada una según los distintos casos que se plantean.

En consecuencia, a nivel de la variedad de las modalidades de transporte, las correlaciones de cada modalidad con las demás forman un conjunto, la eficacia de cuyas

operaciones deberá resultar de la conciliación de cada modalidad con las restantes del conjunto, procurando conseguir:

- mejor conjunto de características (sistema de calidad económica más elevada)
- costo más barato (sistema de costo económico más bajo)
- mejor plazo de ejecución (sistema de plazo económicamente más breve)

Partiendo de estos conceptos analíticos, el sistema de transportes es un conjunto de modalidades interrelacionadas, organizadas, coordinadas y jerarquizadas según el valor de sus atributos, tratando de lograr una eficaz acción recíproca entre los componentes.

#### **5.1.4 Complementariedad y coordinación de las modalidades de transporte.**

Como las modalidades de transporte tecnológicamente desarrolladas (si bien con características, condiciones de uso y costo distintos) ocurren simultáneamente, es necesario conjugarlas mediante su integración y coordinación, para lograr una distribución racional de los recursos en beneficio de todos los usuarios y de la nación.

Sabemos que la participación relativa de las modalidades de transporte de mercancías varía de un país a otro, según las circunstancias peculiares de cada uno de ellos, la experiencia indica que en vez de competir, las modalidades de transporte se complementan a causa de un conjunto de factores interdependientes pero que son peculiares de cada país.

Como primera condición la coordinación de los transportes requiere de un sector integrado, concepto que debe basarse en la idea de una distribución óptima del tránsito entre las modalidades y las empresas de transporte. Suponiendo que operan una o más modalidades o empresas de transporte, la coordinación ofrecerá ventajas si todas las unidades participantes funcionan con eficiencia.

Los factores que determinan la coordinación de los transportes son de dos ordenes:

a) extensión de los servicios; ej:

- Los camiones pesados pueden estar sujetos a restricciones de circulación, teniendo que hacerse el embarque y/o entrega de carga en camionetas.
- Cuando se trata de trenes o embarcaciones, la vía no puede llegar al domicilio de todos los usuarios
- Empresas cuyas líneas no dan servicio a determinadas localidades, las cuales están atendidas por otras empresas que complementan el servicio

b) economía, mediante la mejor combinación de modalidades de transporte, según las características de conveniencia (costo, velocidad, seguridad, etc.) de cada una.

Dentro de los tipos de coordinación encontramos dos:

a) intramodal, es decir, entre vehículos pertenecientes a la misma modalidad de transporte; ej:

- tránsito mutuo, en que vehículos de una empresa circulan por líneas de otra a fin de evitar operaciones de transbordo
  - transbordo entre dos vehículos por restricciones de circulación, como sucede en el transporte por carretera; por diferencia de ancho de vía, como sucede en el transporte ferroviario, o simplemente por inexistencia de tránsito mutuo
- b) intermodal, cuando el transbordo se realiza entre dos vehículos de distintas modalidades de transporte. Un ejemplo de este tipo de coordinación es:
- transporte de vehículos, con o sin carga, por vehículos de otra modalidad de transporte (auto - tren o embarcación de transbordo (ferry - boat));
  - transporte de unidades de remolque, con o sin carga, por vehículos de otra modalidad de transporte (sistema de camiones en vagones, plataformas o embarcaciones y transporte de embarcaciones por vagones de ferrocarril), y
  - transbordo de recipientes con carga del mismo origen y para el mismo destino entre vehículos de diversas modalidades de transporte (contenedores).

Existen los casos en que dos o más de los modos satisfagan los requerimientos de un mismo producto, lo que da lugar a una competencia intermodal. A ello se debe que cualquier modificación que se presente en la oferta de uno de los subsistemas (vía ampliaciones en la capacidad o mejoramiento del servicio), afectará la demanda de cuando menos uno de los otros componentes del sistema.

De esta forma, la evaluación del sistema de navegación fluvial, debe realizarse no sólo desde el punto de vista de los aspectos hidrológicos, sino en el contexto del sistema integral del transporte.

### **5.1.5 Política de Transportes.**

Llamamos *política de transportes* a la que tiene por objeto la coordinación de las distintas modalidades y de las diferentes empresas del transporte, en beneficio de los usuarios, de la colectividad y de la nación, pero admitiendo el libre juego de la competencia. Este concepto no impide que el Gobierno intervenga en el mercado, sino que por el contrario, implica la necesidad de su intervención en ciertos casos, con el fin de:

- a) garantizar el funcionamiento del mercado de manera equitativa en las diversas modalidades de competencia, pero teniendo debidamente en cuenta los costos de la infraestructura;
- b) impedir los abusos que origina a veces la libre competencia, tal como el uso abusivo de posiciones predominantes, competencia mediante mecanismos permanentes de vigilancia y control de la capacidad y medidas temporales selectivas (si son necesarias);
- c) contribuir a que se alcancen los objetivos de la política regional o social;

- d) la adaptación permanente del sector a los requerimientos cuantitativos y cualitativos de desarrollo y a las necesidades de los usuarios y de la colectividad, garantizando al mismo tiempo un aumento óptimo del progreso técnico y de la seguridad de la investigación, y
- e) la coordinación del sector, para que funcione con un costo económico y social mínimo.

Dentro del inciso d se exige un sistema adecuado de planificación, en el tiempo y el espacio, basado en el conocimiento previo del sector y de su mercado. Este conocimiento se adquiere estudiando la demanda global y sectorial de transporte, su evolución futura y la oferta de transportes existentes mediante un análisis detallado de la infraestructura y del equipo. Al comparar la oferta con la demanda se determinan las necesidades básicas de infraestructura y servicios, así como los niveles de calidad, siendo indispensable prever la evolución de las disposiciones institucionales y legales que pudieran afectar esos elementos.

El funcionamiento del sistema con un costo social y económico mínimo se logra aplicando la teoría del aprovechamiento óptimo de los recursos, que es marginal y permite fijar precios iguales a los costos marginales. La determinación de estos últimos requiere complicados estudios económicos, en especial cuando se consideran los costos sociales y las deseconomías externas que origina el transporte.

En consecuencia, los fines de la política de transportes presuponen la existencia de criterios eminentemente económicos en la planificación y la definición del rendimiento económico óptimo, lo que a su vez, impone la realización de una serie de estudios para conocer la estructura del sector y su posible evolución según las condiciones peculiares del país.

Así pues el sector de transportes en vínculo con la política económica del Gobierno, tiene la finalidad de:

- a) lograr que circule la riqueza, garantizando a tal efecto el enlace de las fuentes de producción con los centros de consumo mediante una vialidad de estructura adecuada;
- b) contener o reducir los costos básicos del transporte bajo control directo o indirecto del Gobierno, para evitar una carga económica al país.

Es de gran interés también la calidad del servicio que hay que prestar, pues ambos factores se reflejan en la capacidad de competencia de la mercancía. Como el transporte constituye una parte del costo final de las mercaderías y como el tiempo necesario para colocarlas en el mercado es parte de los gastos de explotación, tiene mucha importancia que el desplazamiento desde la zona productora hasta el lugar de consumo se realice con la mayor rapidez y economía.

Se deben eliminar distorsiones, obstáculos y trabas de todas clases, desde los trámites burocráticos rutinarios y viciados hasta los problemas de estructura o de operaciones del sistema, que exigen el esfuerzo conjugado de dos o más órganos, mientras se efectúa simultáneamente un

análisis comparativo de los resultados económicos, financieros, físicos y operacionales de todo el sistema nacional de transportes.

#### **5.1.6 Tipología de los Proyectos de Transporte.**

La tipología de los proyectos de transporte está formada por el conjunto de requisitos peculiares de los proyectos del sector.

Esa tipología tiene como resultado dos etapas esenciales de la solución de un sistema de transporte:

- establecimiento de los requisitos del sistema, cuyo objeto es atender con eficiencia las necesidades del usuario, de la colectividad y de la Nación
- planeamiento del sistema, dándole características que satisfagan los requisitos estipulados

Dentro de estas etapas se debe dar prioridad al examen de:

- las funciones y servicios que desempeñará el sistema
- la organización formal del sistema
- la base financiera del sistema

En los estudios se deberá seguir una metodología que ajustándose necesariamente a los principios y normas del planeamiento general, tenga en cuenta las peculiaridades del sistema.

#### **PLANEAMIENTO DE LOS TRANSPORTES**

Para la elaboración de un plan de transportes deberán englobarse las metas que habrá que alcanzar y los medios que se utilizarán, dentro de los cuales se destacan los requisitos técnicos, económicos y sociales y la aplicación racional y eficaz de las inversiones, con objeto de aprovechar al máximo los escasos recursos disponibles.

Igual que los productos de la agricultura o del comercio, los servicios de transporte constituyen un bien económico, por lo que tienen costo y precio. Como se trata de servicios de uso intermedio que están difundidos por toda la economía, sus desequilibrios y distorsiones influyen en mayor o menor grado en toda la totalidad de las actividades económicas.

El planeamiento de los transportes se realiza a tres niveles:

- intersectorial
- intermodal
- modal

A nivel intersectorial, este planeamiento tiene dos objetivos: primero, asegurar el desarrollo de los demás sectores económicos, es decir, promover su adaptación al incremento de la demanda de servicios de transporte que deberán suministrarse donde y cuando sean más necesarios y segundo, hacer que los escasos recursos utilizados en este sector se aprovechen por lo menos con la misma eficacia que otros sectores de la economía.

Para saber dónde y cuándo serán más necesarios los servicios de transporte, es preciso:

- prever la ubicación futura, la cuantía de la producción y el consumo de las principales mercancías que originan la demanda de transporte
- determinar la tasa de crecimiento de la población, la cantidad de productos y el lugar de su elaboración y consumo, la expansión de la industria (procedencia de las materias primas y distribución de los productos industriales), el volumen exportable y localidades donde se producen y exportan los bienes, las cantidades importadas, los destinos, y los puertos que se utilizarán.

A nivel intersectorial, el planeamiento de los transportes tendrá que basarse en la proyección de la demanda y en una estructura de las circunstancias de los recursos empleados y de los servicios que se proporcionarán.

En el nivel intermodal, el planeamiento tiene como objetivo asegurar que la ampliación de la red, cada tipo de transporte proporcionará los servicios más adecuados por su costo y características. Teniendo en cuenta la variedad y el nivel de tecnología más adecuado para el desarrollo económico del país, cada modalidad de transporte impone sus características en relación con las demás.

El transporte por aire es más rápido, pero cuesta mucho por ton/km; el transporte marítimo y fluvial resulta lento, pero su costo es mucho menor; el transporte por ferrocarril cuesta menos que el transporte por carretera para un gran volumen de carga y en distancias medianas y grandes y el transporte por carretera es el más rápido, flexible y adaptable de las modalidades de transporte ferroviario o marítimo, excepto en distancias cortas o cuando el tránsito es relativamente escaso. En el planeamiento general de los transportes, cada modalidad deberá aumentar o disminuir su oferta de tal manera que la demanda global de servicios de transporte se satisfaga a un costo global mínimo, expresado en recursos reales.

A nivel modal, la primera tarea de planeamiento consiste en analizar minuciosamente como se utilizan los recursos en cada modalidad para proporcionar servicios de transporte. La segunda tarea es perfeccionar la modalidad para que tenga la expansión que se prevé en la demanda de servicios.

De esta manera es posible determinar la capacidad, costo y características del servicio de la modalidad reformada y así, decidir si esa modalidad podrá o no proporcionar algunos servicios a un costo suficientemente reducido para atraer un tránsito cuyo volumen cubra ese costo, teniendo en cuenta la demanda prevista.

En este momento es preciso comparar los servicios ya calculados y las características del costo de cada modalidad con las modalidades examinadas. A partir de aquí se continúa el planeamiento de cada modalidad con las modalidades que le hacen la competencia, para evaluar en una primera aproximación, la distribución del tránsito entre las modalidades examinadas. Después se continúa el planeamiento de cada modalidad con independencia de las restantes, concentrándose en el análisis del costo - beneficio de las inversiones requeridas para aumentar la



capacidad o ampliar la red de la modalidad, y en la preparación de un programa anual de inversiones basado en tal análisis.

### **5.1.7 Análisis Económico.**

Uno de los aspectos más importantes de los proyectos de transporte consiste en su análisis desde el punto de vista económico. El objeto de este análisis es determinar previamente cómo se desarrollarán las diversas posibilidades de ejecución y funcionamiento, no sólo en relación con el sistema que se está estudiando, sino también con los demás sistemas con los que influirá recíprocamente. Además, el análisis económico de las posibilidades permite clasificarlas según una escala de prioridad como una inversión.

La estrecha relación que existe entre los sistemas de transporte y las demás actividades del ser humano complica la elección y evaluación de las posibilidades, por lo que resulta prever en cada caso los beneficios que se obtendrán de la influencia de esos sistemas, así como los aspectos negativos que pudieran originar.

En la evaluación económica de los proyectos de transporte hay que considerar varios aspectos importantes, entre los cuales figuran:

- Una estrecha correlación entre el sector de los transportes y las actividades económicas
- El papel esencial de los transportes en las funciones de intercambio y comunicación
- Gran interdependencia de las diversas modalidades de transporte, y dentro de la misma modalidad entre las partes componentes correlacionadas y afines (por ejemplo, la apertura de un túnel queda comprometidos si no se mejoran las vías de acceso a él y las vías de comunicación de más alcance)
- Relación recíproca que existe entre la política de transportes y la ordenación de un territorio o de una ciudad
- La armonización de las condiciones de competencia entre las modalidades de transporte
- Beneficios y costos que resultarán de las posibilidades viables, etc.

La evolución de la infraestructura de las distintas modalidades de transporte determina el nivel de oferta de sus servicios y por lo tanto, la estructura de la demanda, el grado de desarrollo que se asignará a cada una de las modalidades de transporte depende del costo unitario del servicio que habrá de prestar. Los costos de los transportes tienen tres componentes:

- costos del transporte es decir, gastos de explotación del vehículo: trabajo, combustible, mantenimiento, depreciación y demás gastos pertinentes
- costos terminales, es decir, gastos del vehículo parado, derechos e impuestos pagados, depreciación del equipo de carga y descarga, gastos de documentación y todos los demás gastos que origine el estacionamiento del vehículo en la terminal.

- costos de la infraestructura, que abarcan la amortización de las inversiones en construcciones, incluyendo la amortización y beneficios del capital utilizado en la instalación y mantenimiento de ferrocarriles y carreteras, puentes, obras fijas en canales y ríos, dragado, aeropuertos, conductos, bombas, etc.

En teoría deberá elegirse el sistema que tenga el costo global menor para desplazar un determinado tonelaje a cierta distancia.

Es bien sabido que no se puede pretender que las inversiones en actividades productivas tengan éxito sin haber realizado importantes inversiones en infraestructura, principalmente de transporte.

#### CRITERIOS PARA LA EVALUACION ECONOMICA

Para las proyecciones de las corrientes se requieren de estudios muy precisos de la economía, en los cuales se tratará de averiguar entre otros aspectos, las condiciones de la producción, el suministro de insumos, los costos y precios, la distribución de la producción, la capacidad instalada o potencial de producción, la evolución de los mercados de abastecimiento y de consumo, las posibilidades de exportar, los planes o proyectos de ampliación, etc. Con estos elementos se calculan las corrientes futuras de cada mercancía, o por lo menos los datos de las más importantes desde el punto de vista del transporte. El conjunto de corrientes permitirá evaluar las necesidades globales de transportes; en cuanto a las características de las mercancías, su tonelaje y dispersión geográfica por origen y destino proporcionarán las principales indicaciones sobre la forma más ventajosa de transportarlas desde el punto de vista económico, orientando así la preparación de los planes de sector.

Las grandes inversiones en ferrocarriles, puertos u otras obras y en instalaciones y equipo indispensables para la navegación, únicamente estarán justificadas cuando aseguren el desplazamiento de grandes cantidades de carga con un valor unitario relativamente pequeño, de tal modo que el costo de transporte sea casi igual al pago total por concepto de fletes y seguros. Este es el motivo principal de que algunos cargamentos típicos de los ferrocarriles y vías acuática estén constituidos por minerales, combustibles, cemento, productos siderúrgicos, maderas, cereales y otros granos, etc., sobre todo cuando se mueven a granel. Respecto de estos productos, los componentes de los gastos de transporte debidos a la duración del acarreo o a embalajes especiales son relativamente pequeños.

Es importante también mencionar que para el análisis de costos se consideran las siguientes variables del transporte:

- peso que hay que acarrear
- distancia que hay recorrer
- flete

Este se considera como el costo por unidad de peso y de distancia.

- costos de transporte variables, es decir, los que varían con la distancia

En condiciones normales, la decisión definitiva de ejecutar un proyecto de transporte se basará sobre todo en su evaluación económica, o sea, en el balance de ventajas y desventajas que ofrece la asignación al proyecto que se analiza de los recursos necesarios para su realización. En otras palabras, se trata de determinar si la solución dada por el proyecto justifica su ejecución, considerando los otros usos posibles a que podrían destinarse los mismos recursos.

Siendo así que para la evaluación económica se aplican determinados criterios al análisis de los resultados del proyecto, a fin de decidir si es viable, conveniente y oportuno ponerlo en práctica.

De los criterios que suelen emplear están los siguientes:

- el del costo - beneficio
- el del costo - efectividad

Se recurre al primero cuando es posible evaluar el proyecto en términos monetarios, y al análisis del costo - efectividad cuando no, este análisis es parte de otro trabajo de investigación.

### **5.2 Impacto del Transporte Carretero en el Sistema Fluvial**

Sin considerar las primitivas veredas, cuya edad debe aproximarse a la del hombre, se tiene conocimiento sobre los primeros caminos (con trazado y especificaciones de construcción según técnicas avanzadas) desde hace más de 4000 años.

En China, la dinastía Ming realizó una sorprendente red de caminos, en Egipto de los faraones, hasta la Roma a partir de 200 años a.c., se construyeron obras que aún subsisten con numerosos tramos en buen estado de conservación. Las carreteras de Roma, formaron una red de 80 mil kilómetros a través de Europa y Noráfrica, incluyendo grandes puentes, viaductos y líneas de montaña. En América, los Incas del Perú, realizaron una extensa red de más de 4000 kilómetros de caminos con excelente trazado y construcción, en tanto que en México, los Mayas operaron sus comunicaciones por una completa red de caminos (Sacbé) con pavimentos de la mejor calidad. Los caminos tipo Romano, evolucionaron lentamente hasta el siglo XVIII y a partir de los métodos de Telford y Mac adam, en Inglaterra; se inicia una nueva era, en la que Francia extiende su red de caminos vecinales en forma integral.

Finalmente, a partir de la primera guerra mundial, el automóvil, deja de ser un costoso juguete para exhibición y desde 1930 se convierte en el medio más versátil de transportación terrestre teniendo un desarrollo que puede medirse paralelamente al de la red vial, al consumo de combustible; al número de personas que directa o indirectamente dependen de la industria automotriz y la magnitud de las utilidades de esta.

En el sector caminero ha habido una gran expansión de la red en los últimos años, lo que ha garantizado las carreteras necesarias para no estrangular el proceso de desarrollo. En 1940 nuestro país contaba con 8500 km de caminos, de los cuales 130 km correspondían a Tabasco:

sólo 1.5% del total nacional. De 1950 a 1960 esta red federal se duplicó, destacándose entre las obras la construcción del camino Coatzacoalcos - Villahermosa, que permitió la comunicación por carretera entre Villahermosa y la capital del país.

A diciembre de 1996 la longitud de la red carretera de Tabasco contaba con 5,800 km. Con respecto a esta cifra y haciendo una comparación con el resto de los estados de la República, se pudiera encontrar a Tabasco rezagado con respecto a las cifras arrojadas por los demás estados, sin embargo si lo manejamos con indicadores de longitud de carretera entre el área de superficie del estado se obtiene que Tabasco tiene un indicador de 0.24 km/km<sup>2</sup>, que resulta superior al promedio nacional que es aproximadamente de 0.15 km/km<sup>2</sup>, siendo así que Tabasco se encuentra entre los primeros diez lugares a nivel nacional.

Las cifras de integración nacional expresadas en kilómetros de vialidad corresponden a los datos de la expansión de las fronteras económicas del país. En consecuencia, ha constituido uno de los factores decisivos para el lanzamiento de todos los sectores de la economía nacional y para la consolidación del sistema de vialidad, también presenta suma importancia para el perfeccionamiento de los servicios, desde la conservación hasta la seguridad, sin perjuicio de abrir nuevos caminos de iniciación y de establecer nuevos enlaces, que imponen los factores económicos sociales.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, un estudio de oferta - demanda de los diferentes sistemas de transporte es necesario para la evaluación de beneficios. Siendo así que se presentan a continuación algunos datos para tener una visión general de la situación del Estado en cuestión:

#### LONGITUD DE LA RED CARRETERA POR TIPO DE CAMINO

##### SEGÚN MUNICIPIO

Al 31 de diciembre de 1996

(Kilómetros)

MUNICIPIO	TOTAL	TRONCAL FEDERAL		ALIMEN. ESTATALES		CAMINOS RURALES	
		PAVIMEN.	REVESTIDA	PAVIMEN.	REVESTIDA	PAVIMEN.	REVESTIDA
ESTADO	5800	668,2	0	2038,5	1336,5	234	1523,1
BALANCAN	537,4	-	-	237,6	114,6	-	185,2
CARDENAS	808,7	84,5	-	208	116	157	245,2
CENTLA	240,2	59	-	74,1	18,5	-	88,6
CENTRO	646,8	148,5	-	205,4	206,1	-	86,8
COMALCALCO	286,5	22	-	179,9	80,4	-	4,2
CUNDUACAN	211,9	53,6	-	121,5	26,7	-	10,1
EMILIANO ZAPATA	104,5	53,3	-	9	17,5	-	24,7
HUIMANGUILLO	806,6	110	-	198,5	269,1	77	152
JALAPA	204,1	18	-	62,7	67,2	-	56,2
JALPA DE MENDEZ	180,2	-	-	119,7	35,2	-	25,3
JONUTA	297,6	-	-	81,8	128,3	-	87,5
MACUSPANA	410,1	43	-	151,7	90,2	-	125,2
NACAJUCA	127,9	-	-	98,9	15,3	-	13,7

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

PARAISO	130,8	19,7	-	108,4	2,7	-	
TACOTALPA	272,3	-	-	50,4	95	-	126,9
TEAPA	158,8	27,7	-	62,8	18	-	50,3
TENOSIQUE	375,9	28,9	-	70,1	35,7	-	241,2

Cuadro 5.1

**VEHICULOS REGISTRADOS  
EN SERVICIO SEGÚN MUNICIPIO  
Al 31 de diciembre de 1996**

MUNICIPIO	TOTAL	CAMIONES DE CARGA		
		OFICIALES	DE ALQUILER	PARTICULARES
<b>ESTADO</b>	<b>48.201</b>	<b>7.054</b>	<b>1.499</b>	<b>39.648</b>
BALANCAN	1.122	37	56	1.029
CARDENAS	4.211	553	104	3.554
CENTLA	917	27	86	804
CENTRO	24.477	4.525	345	19.607
COMALCALCO	3.471	548	119	2.804
CUNDUACAN	1.100	61	61	978
EMILIANO ZAPATA	1.226	36	25	1.165
HUIMANGUILLO	2.403	190	131	2.082
JALAPA	623	33	38	552
JALPA DE MENDEZ	704	27	56	621
JONUTA	342	6	29	307
MACUSPANA	2.761	511	142	2.108
NACAJUCA	558	24	47	487
PARAISO	1.516	189	75	1.252
TACOTALPA	378	230	48	100
TEAPA	1.124	28	68	1.028
TENOSIQUE	1.268	29	69	1.170

Cuadro 5.2

Al analizar estos datos se puede considerar que la red en su conjunto opera a un nivel de servicio adecuado.

Es notorio que el sistema carretero presenta una fuerte competencia ante el sistema fluvial, pero se debe de considerar que el sistema fluvial es el más adecuado en las zonas que debido al alto porcentaje de humedad de los suelos no es posible desarrollar la infraestructura vial. En el resto de las zonas del estado existiría competencia sólo para algunos productos como la caña de azúcar, el coco y otros frutales cuya consistencia y duración son mayores que las del promedio de los productos horto - frutales.

Es de saberse que los costos están a favor del sistema fluvial, y que los tiempos de recorrido a favor del sistema carretero, considerando que ambos sistemas llegan a las zonas de provisión y consumo, así como que por ambos sistemas el producto se puede transportar. Es por esto que se debe de realizar un análisis de complementariedad (antes mencionado), para encontrar la solución más adecuada y así hallar un punto de equilibrio en la compatibilidad entre

los sistemas de recepción y entrega de mercancías por el puerto de recepción y entrega por los barcos y medios terrestres para alcanzar los objetivos de un sistema óptimo de transporte en favor del desarrollo del país.

### 5.3 Impacto del Transporte Ferroviario en el Sistema Fluvial

En cuanto al sector ferroviario, sabemos, que en países como el nuestro a pesar de la superficie del país, de la extensión de la red existente y de la cantidad de material rodante y de tracción, el sistema no marcha a la par con el ritmo de crecimiento de la población y de desarrollo económico, así que su participación en la corriente de transportes va reduciéndose. Esta situación sumamente desfavorable de los ferrocarriles no sólo se debe al mayor dinamismo y flexibilidad del transporte por carretera y al progreso tecnológico que se logra con él, sino especialmente a la irregularidad de la calidad y eficiencia de los servicios que ofrecen; de aquí la importancia de reforzar el sector, para que la demanda de insumos y productos sea atendida por los trenes inmediatamente.

Inglaterra, Alemania y Estados Unidos, principian la expansión de sus caminos que culmina durante la conquista del oeste americano usando carretas, hasta detenerse temporalmente ese crecimiento caminero, ante la definitiva victoria del ferrocarril con locomotoras de vapor, que sustituye a las carretas y diligencias en todas las rutas de tráfico importante.

En México el primer Ferrocarril es a Veracruz en 1850 y se termina e 1866, después de la guerra contra la intervención Francesa. En 1864 se termina la vía del Centro entre México y Cd. Juárez; para 1905, la red asciende a 16630 kilómetros, operados por empresas concesionarias extranjeras. En 1910, la revolución interrumpe la terminación de la red básica, que lentamente crece en 1926 hasta 18450 kms., y en 1964 hasta 23500 kms. En el Sureste de México el aislamiento geográfico se contrarresta con la construcción del ferrocarril que une a la Ciudad de Coatzacoalcos, Ver. Con la de Mérida Yuc.

Actualmente la línea férrea se constituye de la siguiente manera:

#### LONGITUD DE LA RED FERROVIARIA

##### SEGÚN TIPO DE VIA

Al 31 de diciembre de 1996 (Km).

TIPO DE VIA	LONGITUD
TOTAL	315
TRONCALES Y RAMALES	266
SECUNDARIAS	30
PARTICULARES	19

Cuadro 5.3

En los últimos años se ha pretendido ampliar esta red, en particular en el puerto de Dos Bocas; sin embargo la situación económica del país ha provocado que los trabajos ya realizados de esta obra se suspendieran.

Esta situación favorece al sistema fluvial en cierta forma, pues la línea férrea, que habría de unirse al ferrocarril del Sureste, correría, en gran parte de su recorrido paralela al río.

En todos los países se creó una red ferroviaria que debía abarcar gran parte del territorio nacional, sobre todo para enlazar las zonas agrícolas con los puertos y facilitar el transporte interno de los productos de exportación, abaratando su costo. A lo largo de la vía del ferrocarril se establecieron pequeños núcleos urbanos, en los que se concentraban los servicios requeridos para explorar las tierras adyacentes. En cuanto a la exportación de minerales, su transporte no tenía que extenderse en grandes territorios, pues bastaba enlazar el lugar del yacimiento con el puerto de embarque.

El sistema de carreteras desempeñó un papel muy destacado en esta función, pues inició al mismo tiempo la competencia con el transporte por ferrocarril, en el que ejerció una influencia perjudicial al limitar sus posibilidades de absorber ciertos cargamentos, dejándole únicamente el movimiento de carga a grandes distancias.

En los países donde más se desarrolló, la red de ferrocarriles se estableció necesariamente sobre una base casi monopolista; al tener que competir con el sistema carretero, donde el transporte es muy flexible, la capacidad financiera del sistema ferroviario se resentía y no podía ni ampliarse ni mejorarse. Las empresas ferroviarias, que en su mayoría habían sido nacionalizadas durante los últimos veinte o treinta años, empezaron a tropezar con graves dificultades financieras, siendo comunes los grandes déficits de explotación que se cubrían con transferencias de recursos fiscales.

Es bien sabido que el ferrocarril no pretendió reemplazar a los automóviles, ni a los aviones o barcas, ni a los ductos; sino que pretendía y pretende subsistir para mejorar su servicio y economía.

Nos queda a nosotros como ingenieros encontrar el sistema común entre los subsistemas de transporte el más óptimo según las necesidades y características de la región, así como del país.

Entre el sistema fluvial y el férreo siempre ha existido una mejor complementariedad, debido a los volúmenes de carga que manejan, así como por las características propias de los productos que transportan. Es más entre estos dos sistemas existen ya métodos establecidos de intercambio de carga para mejorar tiempos y costos de transbordo. Por ejemplo; el carbón y el mineral de hierro, transportados por ferrocarril hasta los barcos de carga, se les transborda metiendo los carros cargados en vías a través de tambores giratorios, donde vacían su carga por rotación volcándola sobre las tolvas que conducen a las bodegas del barco, descargando en sólo minutos, miles de toneladas a bajo costo. El maíz, trigo, etc., se transbordan (de ferrocarril a

barco o de barco a bodegas y silos) por medio de ductos operados con aire comprimido, mercancías generales, colocadas en grandes cajas denominadas "containers", pasan de plataforma de ferrocarril a remolques de carretera o viceversa, usando grúas viajeras y equipos transbordadores de alta eficiencia.

Hay que tener en cuenta que el costo del transbordo, será tanto menor, cuando mayor y mejor sea el equipo y la organización empleada, ello dependerá del volumen de tráfico o sea, del tamaño de las instalaciones necesarias.

Puede parecer repetitivo la importancia de la que la compatibilidad entre los sistemas de recepción y entrega de mercancías por el puerto y de recepción y entrega por los barcos y medios terrestres, pero es el punto más importante a considerar cuando se pretende modificar, ampliar o construir un sistema determinado, pues estas obras no deben de afectar en forma negativa al sistema ya establecido, sino por el contrario, se deben de plantear las ventajas obtenidas con el nuevo sistema.

Puntos que nos ayudan a la selección final son los siguientes:

- Congruencia entre capacidad del sistema y volúmenes por transportar
- Congruencia entre rutas del sistema y puntos de origen y destino de la carga
- Frecuencia y duración del recorrido
- Tarifas
- Facilidades a los modos de transporte
- Demanda actual y futura

Así por ejemplo, el transporte fluvial puede movilizar volúmenes importantes de mercancías a precios menores a los del transporte carretero, aunque éste último ofrece tiempos de recorridos significativamente inferiores a los de aquel y en los lugares donde no se tiene acceso por vía fluvial se hace uso del transporte ferroviario, o viceversa.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se mencionó al principio de este trabajo, el agua es uno de los principales recursos para la supervivencia del hombre, por lo que se entiende la elección del ser humano de los lugares para establecerse, los avances y descubrimientos relacionados con este elemento. Se sabe que en la actualidad el hombre vive una estrecha relación con el agua, por lo que se requiere de estudiar más a fondo el comportamiento de la misma para beneficio propio.

También se planteó la importancia que ha tenido el transporte fluvial en el desarrollo de los países que gracias a su ubicación geográfica, pueden establecer vías navegables como medios de transporte. La importancia de este tipo de transporte se basa en la enorme ventaja que tiene sobre los demás sistemas, esta ventaja es el costo tan bajo que se tiene en el transporte de grandes volúmenes, lo cual no se puede considerar dentro del sistema carretero, ferroviario y aéreo, por las características propias de cada uno.

Para poder establecer una vía navegable en la mayor parte de su longitud, se sabe ahora que se requiere de realizar una serie de estudios para poder realizar las obras necesarias y obtener un medio de transporte eficiente, competitivo y barato.

No cabe duda que para cualquier proyecto es necesario como primer punto conocer las necesidades de la población que hará uso del servicio y de las condiciones del lugar donde se vaya a realizar la obra, sin dejar a un lado las características intrínsecas de los trabajos necesarios.

Resulta de igual importancia conocer las características del vehículo; el barco, del cual es necesario considerar las condiciones físicas como medidas y pesos del mismo, así como la capacidad máxima de este para poder transportar las mercancías, lo cual ayuda en gran medida a evaluar el beneficio de establecer una vía navegable al igual que conocer el gasto que esto nos producirá en función del tiempo de recorrido.

Es importante mencionar que dentro de los principales ríos de América están el Grijalva y el Usumacinta, en los que existe una extensa red de caminos de los cuales la mayoría recorren la misma trayectoria que los ríos, esto es uno de los aspectos que en la actualidad le ha restado importancia al transporte fluvial.

Para realizar los estudios es necesario que primero se haga un recorrido donde se determinan físicamente las condiciones del lugar así como las posibilidades de las poblaciones para considerarlas terminales del sistema. Para clasificarlas como tales es necesario evaluar la infraestructura de la zona, características sociales y económicas, lo que no da la información suficiente para determinar en primer plano la posibilidad de establecer terminales en las poblaciones ribereñas.

De todos los estudios el que resulta de suma importancia y en cierta forma determinante en la decisión por tomar, son los estudios hidrológicos, los que permite estimar las condiciones

físicas del río que a su vez dan a conocer el comportamiento hidráulico del cauce y así determinar la obra necesaria para poder obtener un tramo navegable, antes de realizar estos estudios se requiere conocer perfectamente el tipo de río en el que se pretende establecer el sistema, por lo que es importante el conocimiento de la mayor parte de las características del río y ubicarlo según las mismas y así poder evaluar de forma más sencilla las obras que se requerirán.

Aunque los ríos Usumacinta y Grijalva tienen tirantes mínimos aceptables a lo largo del año para la navegación fluvial, si se desea incorporarlos al sistema de transporte es necesario realizar algunas obras para hacer más eficiente al sistema,

Cierto es que existe una gran variedad en los tipos de obras para establecer sistemas de navegación sin embargo, los estudios socioeconómicos e hidrológicos permiten depurar esta información y elegir la mejor alternativa, pero aún así es necesario el conocimiento básico del funcionamiento y condiciones de trabajo de cada una de ellas para poder relacionar de la mejor forma las condiciones del lugar y sus habitantes con las obras para establecer el sistema de transporte.

La principales obras propuestas son la construcción de muelles y atracaderos en todas las terminales, esto es porque se necesita acondicionar la terminal para un buen funcionamiento del sistema y que el mismo sea competitivo con los demás sistemas existentes en la región. Otras obras convenientes para estos ríos es la rectificación de cauce por medio del corte de meandros, que a su vez condicionan a establecer sistemas de dragado, que en cualquier proyecto de este tipo es necesario para mantener al cauce en las condiciones óptimas y brindar el servicio. El corte de meandros permiten reducir notablemente el tiempo de traslado lo que a su vez reduce el costo. Se debe de considerar que se requieren obras de dragado por los azolvamientos que se producen aguas abajo del corte, para poder mantener el tirante adecuado.

Para establecer este sistema de dragado es de suma importancia conocer los volúmenes de suspensión y de fondo de partículas acarreadas por la corriente, además de que en el diseño de obras el conocimiento de las cantidades de sólidos transportados permite definir elevación y duración de las estructuras.

Se ha hablado de la gran ventaja que presenta el transporte fluvial sobre los demás sistemas de transporte, pero en la actualidad en nuestro país esta ventaja no es muy clara ya que el sistema no ha recibido la inversión y difusión necesarias para hacerlo competitivo ante los demás sistemas y a su vez lograr complementariedad entre ellos. Para esto se propone un análisis comparativo de costos y fletes en los sistemas ferroviario, carretero y fluvial y así poder identificar las distorsiones y establecer medidas perfectamente encauzadas para rectificar el sistema en general. Así, se deben buscar medidas para mejorar la eficiencia y reducir el costo y las tarifas de los servicios en general (ferroviario, carretero y fluvial), con el fin de fomentar el uso del transporte, utilizándolo de manera más amplia y mejorada para apoyar y hacer más competitivos a los productos de exportación.

No se debe de olvidar que la infraestructura de un país refleja el desarrollo del mismo, por lo que si se logra hacer más eficiente el sistema de transporte se logrará impulsar el desarrollo en este ámbito, esto es más sencillo si se vislumbra el sistema de manera general para poder relacionar cada uno de los subsistemas de la mejor manera y obtener mayor beneficio de cada uno de ellos. Es preciso también mencionar la gran ventaja que tiene nuestro país por la gran cantidad de ríos con la que cuenta, de los cuales el río Usumacinta y Grijalva son de los que por su longitud y características, son susceptibles de hacerlos navegables el mayoría de su recorrido.

En resumen, en México la importancia del transporte fluvial garantiza un notable incremento en la economía nacional, pues constituye una modalidad de muy bajo costo para la distribución de productos en el país, si se le suma que los sistemas ferroviario y marítimo - fluvial son los que permiten lograr la mayor eficiencia para la movilización de grandes volúmenes de carga a distancias considerables debido a las características técnicas y económicas de los medios de transporte; y por lo tanto los mejores costos, su importancia se remarca considerablemente.

A pesar de que en México existe una longitud considerable de ríos navegable en toda época del año, la transportación fluvial ha tenido un escaso desarrollo; ello da lugar a una demanda artificial en los modos de transporte, lo cual impide el funcionamiento sistemático del mismo.

Como conclusión final se sabe que es necesario promover el estudio de materias que nos brinden conocimientos más certeros de las necesidades del país de acuerdo con sus condiciones socioeconómicas, geográficas y de infraestructura. De acuerdo con los resultados de esta investigación también se concluyó que los ingenieros civiles requerimos mayor información de aspectos fluviales y su aplicación, pues como ya mencionamos México cuenta con un gran número de ríos de los cuales podríamos sacar mayores ventajas y fomentar el desarrollo en este rubro.

Así, el actual trabajo cuenta con recopilación de una parte de la información necesaria para establecer un sistema de navegabilidad y fomentar esta rama de la Ingeniería para un estudio más profundo y que promueva el desarrollo de dicho sistema en nuestro país.



FOTO 1. La curva mostrada fué protegida para evitar la destrucción de zonas de cultivo. Río Colorado aguas abajo del sifón Sánchez Mejorada.



FOTO 2. Aguas arriba y abajo del río podía desplazarse libremente, excepto en el cruce del sifón.



FOTO 3. Al moverse el río aguas arriba cambió la dirección del flujo frente a la curva protegida. Los espigones ya no trabajan, aunque podrían hacerlo si se incrementa el gasto.



FOTO 4. La misma zona de la foto anterior dos años después. En las islas ha crecido vegetación y el gasto del río en esta foto es menor que en las anteriores.



**FOTO 5.** Espigones de enrocamiento con carrocerías de automóvil en su extremo. La zona fué protegida de emergencia. Se presenta el corrimiento que sufre el río y la isla que se empieza a formar, por lo que los espigones ya no están en contacto con el flujo.



**FOTO 6.** Zona defendida de emergencia sin formar parte de un proyecto conjunto de protección. El río se ha desplazado y se alcanza a ver en el extremo izquierdo superior de la fotografía.

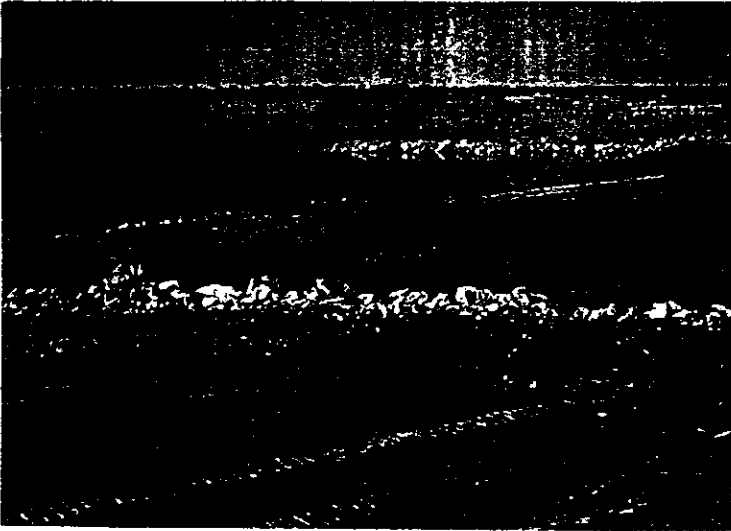


FOTO 7. Se muestran espigones empotrados. Se aprecia la trinchera que fué excavada y posteriormente rellena con enrocamiento.



FOTO 8. Prueba de espigones en el río San Pedro. La pendiente longitudinal de la cresta era aproximadamente de 0.1 a 0.14 la separación entre espigones fue de 2 Lt y se colocaron en la margen derecha.

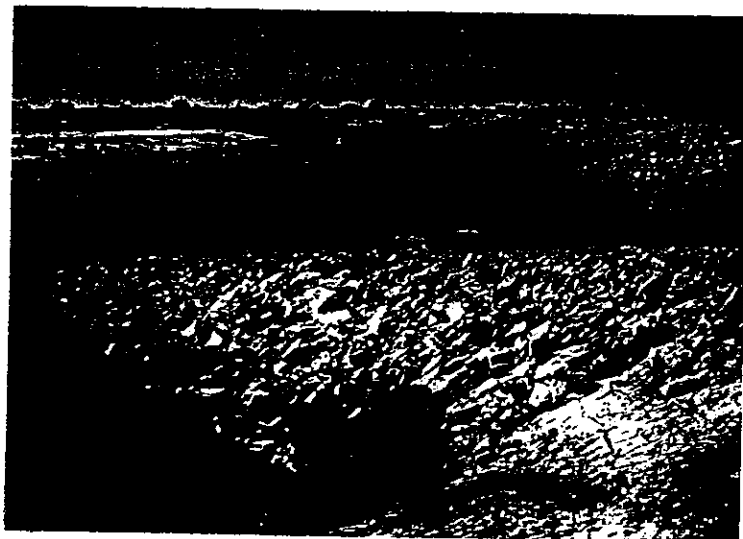
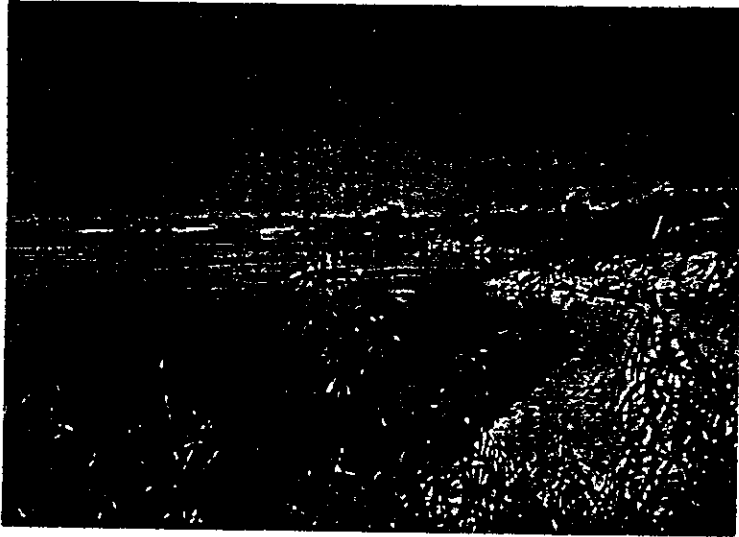


FOTO 9. Prueba de espigones en el río San Pedro. Nótese la erosión en el extremo de uno de los espigones y el depósito de arena que se han formado en la orilla interior de la curva.

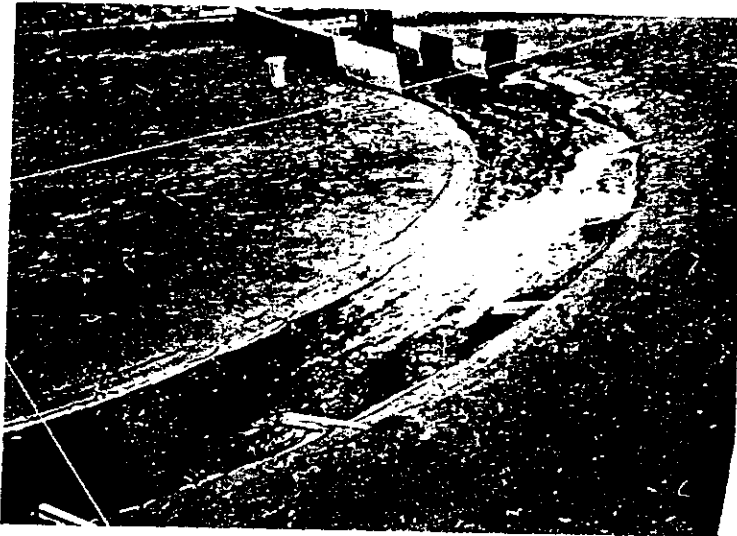


FOTO 10. Detalle de uno de los espigones. Se aprecia la forma del depósito de arena aguas abajo del espigón. En el depósito que se ha formado en el intradós de la curva empieza a crecer vegetación.





**FOTO 11.** Estado de los espigones mostrado en la fotos anteriores después de tres años de ser construidos. El extremo de algunos espigones fue erosionado debido a que la corriente arrastró los elementos de menor tamaño del enrocamiento.



**FOTO 12.** Pruebas sobre el comportamiento de espigones orientados hacia aguas abajo. Se muestra la parte inicial de la instalación experimental.



FOTO 13. Prueba de espigones perpendiculares al eje del cauce. En la superficie se ha colocado polvo de aluminio para visualizar las direcciones y concentraciones del flujo.

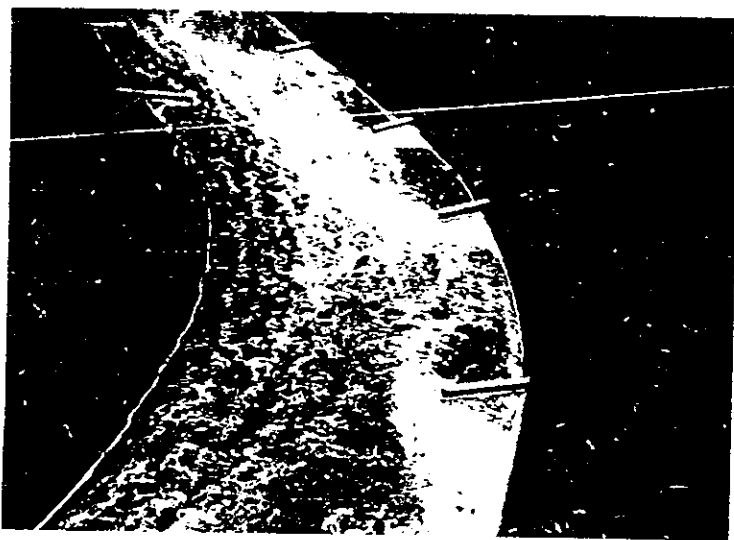


FOTO 14 Prueba de espigones orientados hacia aguas arriba. En todas las pruebas los espigones tenían cresta horizontal.



FOTO 15. Espigón permeable construido con troncos de palmera y ramas. Estos espigones son fácilmente destruidos por los troncos que arrastra la corriente.

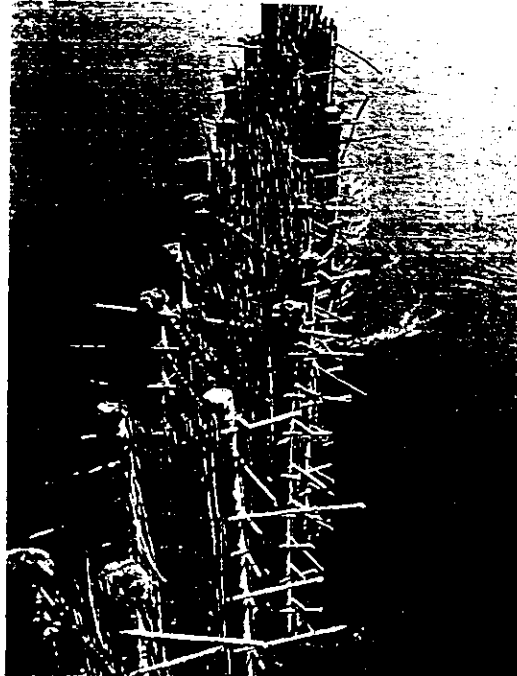


FOTO 16. Vista en planta de un espigón.



FOTO 17. Recubrimiento permeable construido con jacks. Nótese la separación entre las hileras de elementos y el talud de la orilla del cauce.

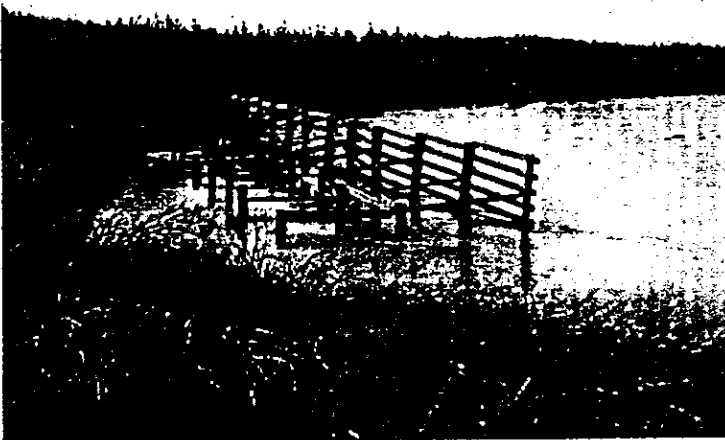
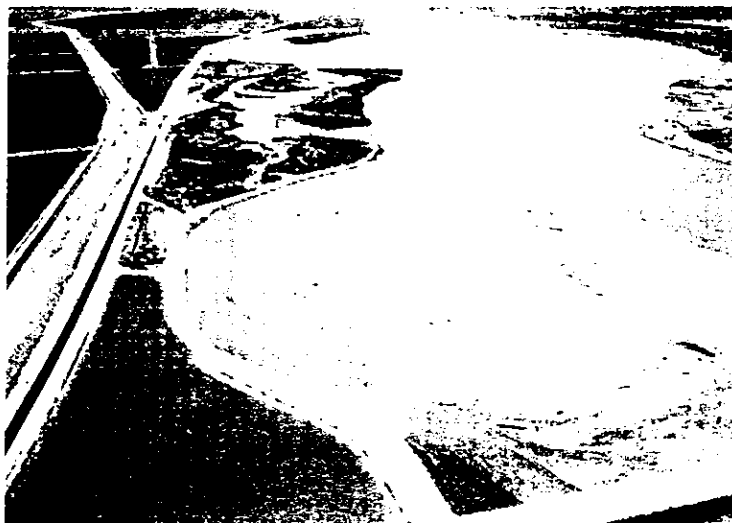


FOTO 18 Recubrimiento permeable construido con pilotes de madera y tablones. Aun no hay vegetación y basura detenida en el espigón.



**FOTO 19.** Recubrimiento marginal formado con mampostería. El talud es de 2:1. Para proteger el recubrimiento contra la erosión al pie de su talud, el recubrimiento se prolongó bajo el fondo la mitad de los que se muestra expuesto.



**FOTO 20.** Protección marginal formada con un recubrimiento marginal que se aprecia en la mitad inferior de la fotografía y que se prolongó con un dique. Por tratarse de una protección aislada, el río se ha desplazado .



FOTO 21. Recubrimiento marginal colocado para proteger el canal. Se prolongó con un dique. Nótese la vegetación que ha crecido en los depósitos aguas abajo de la protección.



FOTO 22. Rectificación del río Bravo, aguas abajo de Ojinaga, mediante el corte de meandros. Aunque no se construyó para controlar inundaciones, la capacidad hidráulica de la rectificación es mayor que la del río con meandros, ya que la pendiente en ella es mayor.

## BILIOGRAFIA

1. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1975, México, Centro de Comunicación de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, 1978, 2ª Impresión
2. Comité de Planeación para el Desarrollo de Estado de Tabasco, Plan Estatal de Desarrollo 3ª versión, Programa Sectorial Comunicaciones y Transportes, 1981, México.
3. Suárez Flores, Felipe, Vía Navegable en el Sureste, México, Tesis, Universidad LaSalle, 1978, única impresión.
4. Consultores en Ingeniería Civil, Estudio de Navegabilidad de los ríos Usumacinta y Grijalva del Estado de Tabasco, México, C.I.N.C. S.A. de C.V., única impresión.
5. Linsley, Ray K. , Franzini, Joseph B., Ingeniería de los Recursos Hidráulicos, México, C.E.C.S.A., 1980, 11ª impresión.
6. Sánchez Bribiesca, José L., Maza Alvarez José A., Navegación Fluvial. Manual de Hidráulica Fluvial, México, Instituto de Ingeniería, 1998.1ª impresión.
7. Gracia Sánchez, Jesús, Maza Álvarez, José A., Morfología de Ríos Cap. 11 Manual de Ingeniería de Ríos, México, Instituto de Ingeniería, 19970, 1ª impresión.
8. Levi, Enzo, El agua según la ciencia, México, Ediciones Castell. CONACyT, 1989, 1ª impresión.
9. Enciclopedia Quillet
10. Enciclopedia Encarta
11. Anuario Estadístico del estado de Tabasco
12. Merritt, Frederick S., Manual del Ingeniero Civil. Tomo IV, México, McGraw-Hill, 1992, 3ª impresión.
13. Berezowsky Verduzco, Moisés, Jiménez Castañeda, Amado, Flujo no Permanente en Ríos. Manual de Ingeniería de Ríos, México, Instituto de Ingeniería, 1995.1ª impresión.
14. Rico y Rico, Gil Marcial, Diseño de Obras de Protección Marítima y Fluvial, México, Tesis Universidad La Salle, 1978, única impresión.
15. Sánchez Bribiesca, José L., Fuentes Maniles, Oscar Arturo, Dimensionamiento de una Presa Derivadora, México, Instituto de Ingeniería, 1997.1ª impresión.

16. Maza Alvarez, José A., García Flores, Manuel, Estabilización y Rectificación de Ríos, México, Instituto de Ingeniería, 1996, 1ª impresión.
17. Escalante Sauri, Cedric Iván, Construcción de Puentes en Tabasco, México, S.C.T., 1ª Impresión.
18. Escuela Interamericana de Administración Pública, Fundación Getulio Vargas, Conyectos de Transportes Planificación e Implementación Vol. IV, México, Editorial Limusa, 1982, 2ª Impresión.
19. Togno, Francisco, Ferrocarriles, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México, 1982, 2ª Edición.
20. Aparicio Mijares, Francisco Javier, Fundamentos de Hidrología de Superficie, México, LIMUSA, Noriega Editores, 1997, 6ª impresión.
21. Hay, W. William, An Introduction to Transportation Engineering, U.S.A, John Wiley & Sons.
22. Paquette, Radnor J., Ashford, Norman J., Wright, Paul H., Trasportation Engineering Planning and Design, U.S.A, John Wiley & Sons, 2ª Edición, 1982.
23. Mendoza López, Manuel Jesús, Geotecnia de Ríos Cap. 23 Manual de Ingeniería de Ríos, México, Instituto de Ingeniería, 1998, 1ª impresión.