

precipitaciones horarias. Este patrón se deriva de la curva de duración de la intensidad de las precipitaciones, utilizando los datos sobre las mismas registrados por hora.

En el estudio se utilizó la curva de duración de intensidad de las precipitaciones desarrollada en Campo Elías localizado aguas arriba del río Guanare. La proporción de las precipitaciones máximas por hora comparadas con la precipitación durante 24 horas es de 0,41 como se muestra en la Fig. 4.3.2.

4) Estaciones pluviométricas representativas

Para estimar las precipitaciones anuales medias de la cuenca durante 8 meses (desde abril a noviembre), en las cuencas de los ríos Apure y Portuguesa y en toda la cuenca, fueron seleccionadas como representativas 61 estaciones pluviométricas mostradas en la Fig. 4.3.3. La densidad promedio las estaciones es de 2.000 km²/estación.

En referencia a las precipitaciones medias de la cuenca durante las grandes lluvias de 1976, 1981 y 1992, el número de estaciones pluviométricas utilizadas fueron 47, 39 y 27 respectivamente, dependiendo de la disponibilidad de datos.

5) Precipitaciones medias de la cuenca

Las precipitaciones medias de la cuenca fueron estimadas a partir de las registradas con el método del polígono de Thiessen. Las precipitaciones anuales medias de la cuenca durante 8 meses fueron obtenidas con el método de arriba, están presentadas en la Tabla 4.3.1.

6) Precipitaciones medias probables de la cuenca

Las precipitaciones medias probables de la cuenca fueron calculadas por medio del análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales medias de la cuenca durante 8 meses para las cuencas de los ríos Apure y Portuguesa y de toda la cuenca. El análisis de frecuencia se basó en el método Gumbel.

Los resultados están tabulados en la Tabla 4.3.2., Las precipitaciones probables medias anuales de toda la cuenca durante 8 meses durante un período de 10 años, es de 1.742 mm., lo cual corresponde a 0,959 veces las precipitaciones máximas recientes de 1.818 mm. en 1981.

(4) Método de la función de almacenamiento

1) Ecuaciones básicas

El método de función de almacenamiento fue empleado para calcular el escurrimiento de la inundación desde cada subcuenca y del canal del río. En general existen algunas diferencias en las características de escurrimiento de las cuencas. Los parámetros del método de función de almacenamiento pueden expresar estas diferencias basadas en datos topográficos. La Fig. 4.3.3 ilustra el diagrama esquemático del modelo de la cuenca y del canal del río.

a) Modelo de escurrimiento de la cuenca

La función de almacenamiento de la cuenca está expresada en las siguientes ecuaciones:

$$SI = KQ_1^P$$

$$\frac{1}{3.6} f r_{ave} A - Q_1 = \frac{dSI}{dt}$$

- Donde: SI : almacenamiento aparente en la cuenca (m³)
Q₁(t) = Q(t + T₁) : escurrimiento directo desde la cuenca con retardo (m³/seg.)
K, P : constantes
t : intervalo de tiempo (seg.)
f : relación de escurrimiento
rave. : precipitaciones medias en la cuenca (mm./hr.)
A : área de recepción (km²)
T₁ : retardo (seg.)

Las constantes K y P de la ecuación fueron estimadas empleando la siguiente fórmula empírica:

$$K = k \cdot 43.4 \cdot C \cdot L^{1/3} \cdot S^{-1/5}$$

$$P = 1/3$$

- donde: C : constante de reserva (=0,12)
L : longitud del río (km.)
S : inclinación promedio del lecho del río

k : parámetros determinados por ensayo y error

El escurrimiento de la inundación desde la subcuenca fue ajustado tomando en consideración el retardo. Este fue estimado por medio de la fórmula empírica expresada abajo.

$$T1 = 0.047 \cdot L - 0.56$$

donde: T1 : Tiempo de retardo en la cuenca (hr.)
L : longitud del río (km.)

b) Modelo de canal del río

El escurrimiento de la inundación a través del canal de un río fue estimado por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S1 = KQ_1^P$$

$$I - Q1 = \frac{dt}{dS1}$$

donde: S1 : volumen aparente de almacenamiento en el canal del río (m³)
K, P: constantes
I : corriente hacia el canal del río (m³/seg.)
Q1(t) = Q1 (t+T1) : descarga en los límites inferiores del canal con retardo (m³/seg.)
T1 : retardo (seg.)

Las constantes K y P fueron estimadas por medio del cálculo del flujo uniforme en la sección transversal del río, la inclinación del lecho y la longitud del río.

El retardo en el canal del río fue estimado por medio de la fórmula empírica abajo expresada.

$$T1 = (7.36 \times 10^{-4}) \cdot L \cdot S^{-0.5}$$

donde: T1 : Tiempo de retardo en el canal del río (hr.)
L : longitud del río (km.)
S : inclinación promedio del lecho del río

2) Datos de inundación seleccionados

a) Inundación seleccionada

Los caudales medios diarios máximos anuales de cuatro puntos principales de la cuenca del río Apure están indicados en la Tabla 4.3.3. para el período de 1975 a 1990. Como se puede apreciar en la tabla, los caudales máximos registrados son los siguientes:

Punto	Descarga máx. (m ³ /s.)	Año de ocurrencia
Bruzual (R. Apure)	3.962	1983
El Samán (R. Apure)	4.824	1976
San Fernando (R. Apure)	8.645	1981
Camaguán (R. Portuguesa)	1.238	1981

Sobre la base de estos datos se seleccionaron para calibración las inundaciones más grandes ocurridas en 1976 y 1981.

b) Hidrogramas de inundación seleccionados

En toda la cuenca de los ríos Apure y Portuguesa, existen 36 estaciones para medir el nivel del agua y 26 de las mismas fueron evaluadas. Entre ellas, 13 estaciones se seleccionaron primeramente sobre la base de la disponibilidad y confiabilidad de los datos y al coeficiente de escurrimiento utilizando los datos correspondientes a estas 13 estaciones desde abril a noviembre.

Consecuentemente nueve (9) hidrógrafos de las siete (7) estaciones de escurrimiento, 4 en 1976 y 5 en 1981, fueron seleccionados para el análisis del escurrimiento de inundación. Los hidrogramas de 1981 están mostrados en la Fig. 4.3.5.

3) Calibración de parámetros

Los parámetros del modelo de escurrimiento de inundación fueron calibrados por medio de las inundaciones reales. Antes de la calibración, se estimó el coeficiente (f1) primario de escurrimiento y la precipitación saturada (Rsa) con el método indicado a continuación.

Cuenca	f1	Rsa (mm.)
1. Cuenca del río Apure	0,75	2.400
2. Area río arriba de El Baúl	0,15	2.500
3. Cuenca del río Portuguesa y áreas tributarias derechas	0,45	1.800
4. Cuenca del río Cojedes	0,30	2.500

F1 y Rsa de la cuenca del río Cojedes fueron asumidos como 0,30 y 2.500 mm., ya que la cuenca del río Cojedes está localizada entre la cuenca del río San Carlos y la del río Acrigua. Las constantes K, P y el retardo (T1) de cada subcuenca y del canal del río fueron estimadas por el método de ensayo y error.

De acuerdo con la simulación, los hidrogramas observados y simulados, concuerdan bien, y los parámetros del modelo fueron juzgados como aplicables. La Fig. 4.3.5 muestra la comparación de los hidrogramas observados y simulados de 1981.

Además, los parámetros del modelo fueron verificados comparándolos con los volúmenes observados y simulados de escurrimiento de inundación. Los volúmenes observados y simulados del escurrimiento de inundación coinciden bien. Sobre todo, los picos específicos de escurrimiento de inundación de la de 1981 estimados en los sitios de la represa existente y de la propuesta, fueron verificados por medio de los datos disponibles.

(5) Escurrimiento probable de inundación

Basándose en las precipitaciones probables y en el modelo de escurrimiento de inundación desarrollado en la sección previa, la Fig. 4.3.6 muestra el escurrimiento probable de inundación en los respectivos puntos base que fueron utilizados para el Método del Modelo de Embalse. Las distribuciones pico probables de inundación para un período de retorno de 10 años bajo las condiciones actuales (con la represa existente), sin la misma y con las represas propuestas estando presentadas en las Figs. 4.3.7 a 4.3.9.

Por otro lado, las descargas probables medias diarias fueron calculadas como se indica en la Tabla 4.3.4 por medio del método Gumbel. Las inundaciones de 1976 y 1981 fueron evaluadas con períodos de retorno de 5 y 20 años, respectivamente.

(6) Caudal de inundación confinada en el cauce del río

El área de estudio de mitigación de inundaciones posee una gran área de recepción y las inundaciones ocurren en varios puntos. Por ello, es difícil confinar toda el agua de inundación en el canal del río formado por diques. Sin embargo, para saber el grado de concentración de inundación bajo las condiciones mencionadas, el caudal de inundación confinada en el canal del río fue calculada por medio del método de función de almacenamiento con las inundaciones reales en 1981 de la cuenca del río Portuguesa, asumiendo que los canales actuales de los ríos Portuguesa y Guanare permanecerán tal cual y que se construyan diques en ambas márgenes con una ancho de 10 km.

El resultado está mostrado en la Fig. 4.3.10. Como se puede apreciar en la figura, el cálculo del caudal pico de la inundación en el punto base inferior del río Portuguesa es de $6.600 \text{ m}^3/\text{seg}$.

4.3.3 Análisis del Anegamiento e Inundación

(1) Generalidades

Como se mencionó anteriormente, la mayoría del área de estudio tiene problemas de anegamiento e inundación y por ello no se puede simular en el área el fenómeno de escurrimiento de inundación utilizando el método de cálculo normal de escurrimiento hidrológico. Por ello se empleó el Método del Modelo de Embalse para simular hidráulicamente el escurrimiento de inundación en las áreas de anegación e inundación para el análisis en cuestión.

(2) Modelo del sistema de cuenca y río

Para el análisis de anegamiento por inundación por medio del método del modelo de embalse, el área objeto fue dividida en dos bloques reticulados como se muestra en la Fig. 4.3.11. El área objeto es de 23.900 km^2 y está dividida en 495 bloques reticulados. Cada bloque reticulado tiene básicamente un tamaño de $10 \text{ km.} \times 10 \text{ km.}$, pero los bloques reticulados para el canal del río tienen un tamaño menor.

(3) Método del Modelo de Embalse

1) Ecuaciones básicas

El modelo de embalse fue adoptado para simular una inundación de gran extensión en las áreas ubicadas aguas abajo del curso de los ríos Portuguesa, Igues Guanare y Guanare Viejo. Para expresar el movimiento de doble

dimensión del flujo de la inundación en el área inundada, se adoptó un modelo de embalse secuencial. Este modelo simula la propagación del flujo de la inundación dividido entre los bloques reticulados, por medio de la resolución de las ecuaciones de movimiento y continuidad presentadas a continuación:

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = (h_1 + Z_1) - (h_2 + Z_2) - L \frac{n^2 |v|v}{h^{4/3}}$$

$$F \frac{dH}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

- Donde
- L : intervalo entre bloques reticulados (m.)
 - g : aceleración por gravedad (m/seg²)
 - v : velocidad de flujo (m./seg.)
 - t : tiempo (seg.)
 - h : profundidad del agua en la retícula (m) z: altitud del embalse (m.)
 - n : coeficiente de aspereza
 - F : área del bloque reticulado (m²)
 - H : nivel del agua en la retícula (m.)
 - Q_{in} : flujo hacia la retícula (m³/seg.)
 - Q_{out} : flujo que sale de la retícula (m³/seg.)

2) Datos ingresados en el modelo

El ingreso para el área objeto cubierta por el modelo de embalse consiste del escurrimiento de los ríos circundantes calculado por medio del método de función de almacenamiento y de la lluvia que cae directamente sobre el área objetivo. El escurrimiento arriba mencionado y mostrado en la Fig. 4.3.6, corresponde a los hidrogramas de inundación probable de los ríos que fluyen hacia adentro del modelo de embalse. Las precipitaciones de los bloques reticulados correspondientes están dadas por las precipitaciones medias de la cuenca.

La evaporación del área de inundación fue estimada sobre la base de los datos de las estaciones meteorológicas de Arismendi y Bruzual, ubicadas en el área de inundación. El valor promedio de la evaporación media diaria de cada mes desde junio a septiembre fue calculada por la relación de reducción 0,9, que es normalmente utilizada como relación promedio para el valor de la evaporación media en el recipiente tipo aplicable al área de llanura en Venezuela. Consecuentemente se obtuvo un valor de 4,1 mm./día para el cálculo.

3) Calibración de parámetros

Es bastante difícil hacer una simulación precisa por medio del modelo de embalse para el área objeto debido al flujo complicado y a la vastedad del área. La calibración de parámetros para el modelo de embalse fue efectuada por medio del examen cualitativo de la inundación y la observación del escurrimiento en las estaciones de medición en El Samán, San Fernando, Jobalito y Camaguán, que están ubicadas en el área llana inferior.

Las inundaciones utilizadas para la calibración corresponden a 1976, 1981, y 1992. Los resultados de la simulación coinciden aproximadamente con el fenómeno actual. La Fig. 4.3.12 muestra los resultados de la simulación para 1992.

(4) Simulación del resultado de los planes alternativos para control de inundaciones

Utilizando el modelo de embalse calibrado, se efectuó la simulación para el escurrimiento probable de inundaciones durante 10 años como parte de los planes alternativos para mitigación de inundaciones. Los casos simulados son los siguientes:

No.	Plan	Condición
1	A1	Construcción de un dique en el río Portuguesa (margen derecha)
2	B1	Construcción de un dique en el río Guanare (margen derecha)
3	B2A	Construcción de un dique en el río Guanare (margen derecha) y mejoramiento del río Guanare viejo (25 m. de ancho)
4	B2B	Construcción de un dique en el río Guanare (margen derecha) y mejoramiento del río Guanare viejo (50 m. de ancho)
5	C1	Construcción de un dique en el río Apure (margen izquierda)
6	C2	Construcción de un dique en el río Apure (margen izquierda, más corto)
7	C1A	Mejoramiento del curso actual de las inundaciones
8	D1B	Mejoramiento del curso actual de las inundaciones y construcción de un canal de desvío
9	D2	Construcción de un embalse moderador por medio del módulo tipo Apure
10	General Plan	A1 + Plan B1 + Plan C1

El resultado de la simulación para los casos de arriba están compilados en el Informe de Apoyo: Parte D.

Entre ellos, los resultados de la simulación del Plan A1, Plan B1, Plan C1, y del plan general están mostrados en las Figs. 6.1.1 a 6.1.11.

4.4 Análisis del Flujo del Cauce

4.4.1 Niveles del Agua y Duración del Flujo

(1) Nivel del agua

Los cambios mensuales de los niveles del agua de los ríos Apure y Portuguesa están mostrados en la Fig. 4.4.1., ilustrando los niveles mensuales promedio, máximo y mínimo del agua. Los niveles del agua del río Apure y del Orinoco forman un círculo hidrográfico único durante un año con un período de creciente de cinco (5) a seis (6) meses. La diferencia del nivel mensual del agua del río Apure durante un año varía de 2,65 m. en el puente Remolino a 6,06 m en San Fernando, y de 6,93 m. en El Jobalito a 6,58 m. en Camaguán para el río Portuguesa. El nivel mensual del agua cambia de 11,35 m. en la estación Caicara del río Orinoco.

Se ha observado también que el pico del nivel del agua de las estaciones localizadas en la parte inferior de los ríos ocurre más tarde que el de la parte superior, con períodos de creciente más largos, probablemente debido al retardo de escurrimiento ocasionado por la inundación. Es también importante notar que el pico del río Portuguesa se presenta más tarde que el del río Apure.

(2) Caudales de aguas bajas

Basándose en los registros de caudales diarios disponibles desde 1975, se estudiaron las condiciones de aguas bajas.

Entre las siete (7) estaciones existentes, la de Bruzual es la estación básica para el río Apure principal y la estación de El Jobalito para el río Portuguesa, ya que estas estaciones poseen un período relativamente prolongado de registros de caudal y están ubicadas cerca de las partes del río que pueden presentar problemas de navegación.

La duración promedio del flujo de las estaciones respectivas está mostrado en la Tabla 4.4.1. Las características de la duración promedio del flujo están resumidas a continuación.

Estación	Cuenca (km ²)	Min. (m ³ /s.)	Máx. (m ³ /s.)	Máx./Min.
1. Rfo Apure principal				
1) P. Remolino	8.400	83	1.060	13
2) Bruzual	40.000	148	3.442	23
3) El Samán	48.000	217	3.954	18
4) San Fernando	111.800	289	5.744	20
2. Rfo Portuguesa				
1) El Baúl	13.200	9	229	25
2) El Jobalito	23.300	31	458	15
3) Camaguán	54.400	57	1.034	18

El coeficiente del régimen del río que es definido como la relación de descarga máxima anual a descarga mínima (Máx./Min., varía de 13 a 25 para los ríos Apure principal y Portuguesa.

4.4.2 Construcción del Modelo de Flujo de Cauce

(1) Nivel del agua en la boca del río Apure

La confluencia del Apure con el Orinoco está ubicada a 730 km. aproximadamente, aguas arriba desde el mar (boca del Orinoco) y la estación Caicara está ubicada aguas arriba a unos 27 km. desde la confluencia del Apure.

El nivel del agua en la boca del río Apure fue estimada basándose en los registros de nivel de agua de la estación Caicara. De acuerdo con el perfil a lo largo de la ruta de navegación del río Orinoco, la pendiente N.A.B. es de 1/18.400 para el tramo de 27 km. desde Caicara hasta la confluencia del Apure. El N.A.B. son los datos de nivel del agua para la navegación especificados por el I.N.C. basados en los niveles más bajos de agua registrados en las estaciones principales.

El nivel del agua en la confluencia del Apure fue estimado a partir del nivel del agua en Caicara agregando 1,47 m.

(2) Modelo de flujo del río Apure

Las secciones del río observadas en marzo de 1992 por PROA fueron utilizadas para el cálculo de flujo del canal complementando algunas secciones con los resultados del

sondeo de I.N.C. Se incorporaron cuarentainueve (49) secciones en el modelo de flujo de canal para todo el tramo de 681 km. desde la boca del río (Orinoco) hasta el puente Remolino.

La distribución gastos para el cálculo de flujo de canal fue determinada sobre la base de los gastos en las cuatro (4) estaciones de San Fernando, El Samán, Bruzual y Puente Remolino, ubicadas en las confluencias de los tributarios principales en el área de la cuenca.

La rugosidad del canal fue estimada por medio de procedimientos de ensayo y error de tal manera que los niveles de agua calculados deben estar dentro de la curva de caudales en función del nivel del caudal del río en la estación del extremo superior del tramo seleccionado para el cálculo. Por ello, la rugosidad varía dependiendo de los caudales del canal y representa todos los factores desconocidos incluyendo el modelo de flujo y la rugosidad del canal.

La superficie de agua calculada fue juzgada como razonable comparándola con los niveles de agua observados y las elevaciones de terreno.

(3) Modelo de flujo del río Portuguesa

Existen treintainueve (39) estaciones a lo largo de todo el tramo de 249 km. aproximadamente desde la boca del río Apure hasta el puerto El Baúl. Toda esta sección es el resultado de los sondeos desde la superficie del agua y no están relacionados con los datos M.S.L. Estas secciones fueron investigadas del 2 al 4 de octubre de 1989, y el nivel del agua era elevado todavía.

Para construir el modelo de flujo de canal para la evaluación de la capacidad de navegación bajo diferentes tipos de descarga de canal, la elevación del perfil del lecho del río fue asumida y se estimó la rugosidad del canal.

El perfil fue estimado sólo para el presente estudio basándose en los datos que estaban disponibles. El perfil del río para un estudio más detallado del flujo de canal debe ser preparado sobre la base del estudio del perfil real longitudinal.

4.4.3 Influencia del Río Orinoco

La influencia del río Orinoco sobre el Apure fue estudiada utilizando un modelo de flujo de canal en condiciones de estación de lluvias y seca para los diferentes niveles de agua en la boca del río tales como: nivel de agua normal del Apure (caso 1), nivel máximo del agua (caso 2) y nivel mínimo del agua (caso 3) del río Orinoco.

Los resultados de los cálculos de flujo están mostrados en la Fig. 4.4.2. El grado de influencia hidráulica del río Orinoco pudo ser estimada comparando los niveles de agua de los casos 1 y 2, y el grado de influencia debido a los cambios de nivel del agua del río Orinoco pudieron ser estimados comparando los niveles de agua de los casos 2 y 3.

La influencia hidráulica del río Orinoco se extiende hasta 94 km. desde la boca del río (cerca de Danta Flaca, aproximadamente 29 km. aguas abajo desde Arichuna). Se supone que el canal del río Apure aguas abajo de Arichuna será formado por la influencia del río Orinoco.

Por otro lado, la influencia causada por los cambios del nivel de agua del río Orinoco se extienden hasta 89 km. desde la boca del río (cerca de El Sausal), justo aguas abajo de la ramificación.

4.4.4 Capacidad Máxima del Cauce

La capacidad máxima de transporte del río Apure fue estimada por medio de un modelo de flujo de canal. La capacidad máxima estimada de transporte del río Apure está mostrada en la Fig.4.4.3. El resultado ha sido resumido de la siguiente manera:

Tramos (desde la boca)	Capacidad máxima (m ³ /s.)		Observaciones
	promedio	mínima	
0 - 70 km	2290 (1760)	2210 (1110)	Parte inferior Ramificación con retorno al cauce principal
70 - 130 km	2480	1750	(Apure principal solamente)
130 - 195 km	4140	2990	Entre ramificaciones con retorno al cauce principal
195 - 275 km	3150 (1380)	3150 (1380)	Ramificación con retorno al cauce principal (Apure principal solamente)
275 - 450 km	3380	2500	El Samán - Bruzual
450 - 520 km	2080	1800	Bruzual - Suripá R.
520 - 680 km	9100	600	Suripá - Guasqualito

4.4.5 Características del Flujo de Sedimentos

(1) Materiales del lecho

Para el estudio se utilizaron los resultados de la investigación de los materiales del lecho y de las perforaciones conducidas por el grupo de estudio.

De acuerdo con estos resultados, la gradación de las muestras del lecho del río difieren mucho dependiendo del lugar de muestreo. Sobretudo, la gradación de un lugar difiere mucho en la vertical, dependiendo del estrato muestreado. Las muestras están claramente clasificadas en suelos arenosos y suelos arcillosos. De acuerdo con las muestras de perforación, los estratos de suelo arenoso y arcilloso están ubicados en forma alternada. Los suelos arenosos son probablemente transportados por la corriente de la inundación y los suelos arcillosos son depositados durante el período de bajada de la inundación.

Los suelos arenosos fueron utilizados para el estudio de transporte de sedimentos. Se calculó la composición granulométrica promedio de los suelos arenosos en los sitios respectivos, y está mostrada en la Fig. 4.4.4. Los cambios longitudinales del tamaño de los granos a lo largo del río no es claro. La gradación promedio de todo el tramo del Apure fue estimada de la siguiente manera:

Tamaño especificado	d25	d50	d65	d75
Tamaño de granos (mm.)	0,15	0,26	0,34	0,41

El coeficiente promedio de clasificación definido como la raíz cuadrada de (d_{75}/d_{25}) del suelo arenoso es 1,68, con fluctuaciones de 1,33 a 2,68.

(2) Tipo de flujo de sedimentos

Los hidrogramas de escurrimiento del río Apure forman un ciclo anual único y el agua del río desborda por un período que va de 2 a 4 meses. La descarga dominante para la formación del canal del río es considerada como la descarga del canal a márgenes llenas.

De acuerdo con los diagramas empíricos para la clasificación se estudió el flujo de tipos de sedimentos y las formas de lecho del río Apure y río Portuguesa bajo condiciones de descarga de cauce a márgenes llenas. Los resultados están resumidos a continuación.

- 1) El transporte de sedimentos del río Apure es tipo carga en suspensión.
- 2) En relación a la configuración del lecho a escala media, el río Apure y río Portuguesa fluyen sobre bancos semi-arenosos y bancos alternados.

(3) Capacidad de transporte de sedimentos

La capacidad de transporte de sedimentos del río Apure fue estimada bajo diferentes condiciones de descarga utilizando la fórmula modificada de transporte de sedimentos y los registros de observación de sedimentos de PROA. de la siguiente manera:

- 1) La relación entre la descarga de canal y la carga de sedimento observada por PROA está mostrada en la Fig. 4.4.5.
- 2) La descarga de sedimentos fue calculada como la suma de la carga del lecho y de la carga suspendida. Estas cargas fueron calculadas para varios tamaños de granos del material del lecho.
- 3) Se adoptó la fórmula de Sato-Kikkawa-Ashida para la estimación de la carga del lecho, y la fórmula de Brown para la carga en suspensión. La fórmula de Brown fue modificada sobre la base de los datos observados.

Los resultados de los cálculos para diferentes tipos de descargas están mostrados en la Fig. 4.4.6.

(4) Transporte anual de sedimentos

Se estimó la capacidad anual de transporte de sedimentos multiplicando la capacidad de transporte de los mismos por la duración del flujo, como promedio para cada tramo del río. A continuación se muestran los resultados resumidos.

Tramos	Carga anual sedimentos (mill. m ³ /año)	Longitud del tramo (km.)	Ancho aprox. de del cauce (m.)
Boca del río hasta San Fernando	14,7	167,3	340
De S. Fernando a El Samán	15,2	180,8	342
De El Samán a Bruzual	14,5	94,1	522
De Bruzual al Rio Suripá	13,0	81,4	501
Del R. Suripá al P. Remolino	14,3	139,8	265

V. ESTUDIO DEL PLAN PARA LA ESTABILIZACION DEL CAUCE

5.1 Generalidades

El estudio para la estabilización del canal apunta a formular un plan para mejoramiento del canal para propósitos de navegación.

El estudio comenzó con la revisión de los estudios previos y de las obras basadas en datos e información reunida. Luego, se estudiaron las características del canal existente desde el punto de vista geométrico e hidráulico. Se discutieron las medidas para mejoramiento del canal para la navegación y los principios para diseño de instalaciones, basándose en la revisión y en estudios del canal. Finalmente se formuló un plan para estabilizar el mismo.

El tamaño del proyecto y la implementación del programa para el mejoramiento del canal para navegación deben ser discutidos conjuntamente con el plan maestro de navegación en consideración a la viabilidad económica. El estudio sobre el plan maestro de navegación está programado para ser efectuado separadamente y aún se está esperando su comienzo.

El plan para mejoramiento del canal para la navegación fue discutido fundamentalmente desde el punto de vista ingenieril. A través del estudio se intentó suministrar datos técnicos para las obras de estabilización del canal tanto en el plan maestro de navegación como en las obras que están siendo implementadas actualmente para el mejoramiento del canal por parte de PROA y de otras autoridades relacionadas.

5.2 Estudios y Obras Previas

5.2.1 Proyectos para el Desarrollo de los Recursos Hídricos

El flujo del canal es un factor importante para la navegación fluvial así como también los cambios del mismo ocasionados por el desarrollo de los recursos hídricos, considerados en detalle por el estudio. En vista de lo cual, se revisaron los proyectos para el desarrollo de los recursos hídricos y proyectos para represas en el área de estudio entre otros.

(1) Represas existentes y propuestas

Las represas existentes y propuestas en el área de estudio están conjuntamente listadas con sus características principales. La ubicación de estas represas está mostrada en la Fig. 5.2.1. Existen 22 represas en el área de estudio incluyendo las propuestas como se indica a continuación:

Proyecto	Existente	En construcción	Propuesta
1) Proyecto Uribante-Caparo	1	2	1
2) Proyecto Guanare-Masparro	3	-	1
3) Otras represas en la cuenca del río Apure	1	-	-
4) Otras represas en la cuenca del río Portuguesa	5	2	6
Total	(10)	(4)	(8)

(2) Proyecto Uribante-Caparo

El proyecto apunta fundamentalmente al desarrollo de la energía hidroeléctrica con un total de 1.274 MW, construyendo represas en los ríos Uribante (1.000 m., M.S.L), Doradas (70 m., M.S.L), Camburito (200m., M.S.L.) y Caparo (200 m., M.S.L.), con un área total de embalse de 4.580 km².

Las obras de los proyectos componentes y la etapa de construcción son las siguientes:

1) Río Uribante

- a) Represa La Honda: existente
- b) Túnel Uribante-Doradas: existente
- c) Hidroeléctrica San Agatón: existente
Capacidad instalada: 300 MW
- d) Túnel de desvío Linda-Doradas: propuesto

2) Río Doradas

- a) Represa Las Cuevas: propuesta
- b) Túnel Doradas-Camburito: propuesto
- c) Hidroeléctrica La Colorada: propuesta
Capacidad instalada: 460 MW

3) Río Camburito

- a) Represa Borde Seco: en construcción

4) Río Caparo

- a) Represa La Vultosa: en construcción
- b) Hidroeléctrica La Vultosa: propuesta
Capacidad instalada: 514 MW
- c) Canal de derivación para navegación Caparo-Uribante viejo: propuesta

(3) Proyecto Guanare-Masparro

El proyecto Guanare-Masparro es un proyecto de desarrollo integral del área que incluye varios componentes de obras de infraestructura tales como desarrollo de recursos hídricos, carreteras e instalaciones para educación, conservación y aprovechamiento de recursos naturales, que cubre un área de 950.000 hectáreas aproximadamente y que consiste de 500.000 hectáreas para desarrollo y 450.000 para conservación y aprovechamiento de recursos naturales.

En relación al desarrollo de los recursos hídricos, hay cuatro (4) represas con tres (3) embalses que juegan un papel importante:

1) Represa Masparro: existente

- a) Irrigación: 67.500 hectáreas
- b) Energía hidroeléctrica: Represa hidroeléctrica Masparro con capacidad para generar 25 MW durante la estación seca.

2) Represa Boconó-Tucupido: existente

- a) Irrigación: Las dos represas en conjunto tienen capacidad para irrigar 300.000 hectáreas de tierras de cultivo. El sistema existente de irrigación Boconó-Tucupido abarca un área de 9.200 hectáreas de las cuales 7.200 están irrigadas.
- b) Hidroeléctrica: La represa hidroeléctrica Peña Larga está ubicada al pie de la represa Boconó que tendrá capacidad para generar 80 MW (40 MW x 2 unidades). Las obras de la planta generadora de electricidad están siendo realizadas por C.A.D.A.F.E.

3) Represa Guanare: propuesta

- a) Se evaluaron tres (3) sitios posibles y el más prometedor es Mesa de Cavaca.
- b) La represa tendrá funciones de irrigación y control de inundación. El sistema de irrigación del Guanare abarca un área de 7.690 hectáreas

aproximadamente.

5.2.2 Plan de Navegación

El estudio del plan maestro para navegación fluvial del sistema Orinoco-Apure está programado para ser realizado separadamente. El plan maestro de estudio no ha comenzado aún. Aunque el plan maestro para la navegación fluvial no ha sido preparado todavía, el plan de navegación ha sido discutido entre PROA y otras autoridades relacionadas ya que las necesidades diarias de navegación y algunas obras están siendo implementadas en el campo.

Basándose en la información obtenida hasta el momento de PROA, se esbozó el plan de navegación existente. El plan existente es un plan de mejoramiento de la navegación a corto plazo.

(1) Principio del mejoramiento de la navegación

1) Secuencia de implementación del proyecto:

- 1ro.: Del río Orinoco al puerto San Fernando (tramo A1)
- 2do.: Del puerto San Fernando al puerto El Baúl (tramos A2,P1 y P2)
- 3ro.: Del puerto San Fernando al Puerto de Nutrias/Bruzual(tramo A3)
- 4to.: De Nutrias al puerto Santos Luzardo/Guasdualito (tramo A4)

2) Nivel de mejoramiento: Efectuar las instalaciones necesarias para lograr la navegación durante ocho (8) meses por medio del uso efectivo del canal existente del río.

3) Cantidad de carga a ser transportada: El diseño de la cantidad de carga ha sido establecido tentativamente en 70.000 toneladas/año. El tipo de carga y el destino no han sido decididos.

(2) Construcción de puertos fluviales

Se ha planificado la construcción de cuatro (4) puertos y las obras están en marcha.

- 1) Puerto San Fernando: construído
- 2) Puerto El Baúl: en construcción
- 3) Puerto Nutrias/Bruzual: construído
- 4) Puerto Santos Luzardo: construído

(3) Criterios para transporte y sección estándar del cauce

Gabarras y botes serán utilizados para el transporte de mercancías, y el tamaño de las gabarras con remolcadores será clave para la sección del cauce de navegación. Los siguientes tamaños de gabarras y remolcadores fueron adoptados como criterio para el estudio de mejoramiento del canal:

Item	R. Apure	R. Portuguesa
1) Gabarra		
- Ancho (Ws)	13 m	10 m.
- Longitud (Ls)	60 m	40 m.
2) Remolcador		
- Longitud (Lt)	20 m.	20 m.
3) Canal (asumiendo que no hay ayuda para navegación)		
- Profundidad (Dc)	≥ 2 m.	$\geq 1,70$ m.
- Ancho (Wc)	$\geq 3 \times Ws$ (*)	≥ 30 m.
- Radio de curvatura (Rc)	$\geq 4 \times (Ls+20)$ (*)	≥ 240 m.

(*) Ws y Ls para el río apure puede cambiar debido a las características de la/s gabarras/s.

5.2.3 Estudios y Obras Previas

El mejoramiento del Apure se inició en los años 1960 conjuntamente con el desarrollo de recursos hídricos para la generación de energía eléctrica, irrigación, suministro municipal de agua y control de inundaciones.

Las obras para mejoramiento del canal implementadas hasta el presente están dirigidas en su mayoría a la protección de pueblos, instalaciones públicas y tierras de cultivo, contra inundaciones y erosión de las márgenes. Recientemente se ha comenzado a prestar atención a través de estudios y trabajos a las características exclusivas del río Apure como canal de navegación en el país.

Los principales estudios y obras previas están mostrados en la Fig. 5.2.2.

5.3 Características del Cauce

Para facilitar la descripción, el cauce del río fue dividido en varios tramos de acuerdo a la ubicación de los puertos fluviales y a las características del río como se indica a continuación:

Río Apure

- 1) Tramo A1 (o St-A1): Desde la boca del río (confluencia con el río Orinoco) al puerto San Fernando
- 2) Tramo A2 (o St-A2): Desde el puerto San Fernando a la confluencia con el río Portuguesa
- 3) Tramo A3 (o St-A3): Desde la confluencia del río Portuguesa al Puerto de Nutrias en Bruzual
 - a) Tramo A3.1: Desde la confluencia del río Portuguesa hasta Apurito
 - b) Tramo A3.2: Desde Apurito a Puerto de Nutrias
- 4) Tramo A4 (o St-A4): Desde puerto Nutrias hasta laconfluencia del río Suripa
 - a) Tramo A4.1: Desde Puerto de Nutrias hasta Rio Suripá
 - b) Tramo A4.2: Desde la confluencia del río Suripá hasta el puerto Santos Luzardo

Río Portuguesa

- 5) Tramo P1 (o St-P1): Desde la boca del río (confluencia del río Apure), hasta la confluencia del río Cojedes
- 6) Tramo P2 (o St-P2): Desde la confluencia del río Cojedes hasta el puerto Baúl en el Paso La Portuguesa

5.3.1 Características Generales del Cauce

El perfil longitudinal y el ancho del río Apure existente fueron estudiados utilizando mapas topográficos a escala 1/10.000. Los resultados del estudio están mostrados en la Fig. 5.3.1 para el perfil de las márgenes del río y en la Fig. 5.3.2 se indica el ancho del río y sistema de cauce. A continuación se presentan las características principales del río Apure por tramos:

- 1) Tramo A1: La inclinación del terreno es de 1/8.500. Este tramo presenta grandes ramificaciones. El río no está trezado. En la porción inferior de Arichuna, las cotas fluctúan probablemente debido al efecto del río Orinoco. El ancho promedio del río es de 257 m., de 120 m. a 600 m. en el Apure y de 135 m. a 600 m. incluyendo las ramificaciones.
- 2) Tramos A2 y A3.1: La inclinación del terreno es de 1/7.200. Este tramo presenta grandes ramificaciones con retorno al cauce principal. El río no está trezado. El ancho promedio del río Apure es de 251 m. fluctuando de 100 m. a 560 m., y de 342 m., yendo de 250 m. a 560 m. incluyendo las ramificaciones con retorno al cauce principal.
- 3) Tramo A3.2: La inclinación del terreno es de 1/50.000. El río hace trenzas (braided) y el ancho promedio del mismo es de 522 m. fluctuando de 200 m. a 880 m.
- 4) Tramo A4.1: La inclinación del terreno es de 1/4.200. Existen varios tributarios que confluyen aportando mucho sedimento. El río es trezado (braided) y el ancho promedio del mismo es de 501 m., fluctuando de 220 m. a 800 m.
- 5) Tramo A4.2: La inclinación del terreno es de 1/2.500. No hay confluencia de tributarios grandes y el canal no está trezado (braided). El ancho promedio del río es de 265 m., variando de 100 m. a 370 m.

5.3.2 Variaciones Históricas

(1) Lecho y márgenes del río

Se efectuó un estudio comparativo de los mapas topográficos del año 1988 (escala 1/10.000) con los de los años 1960 a 1966 (escala 1/25.000), para establecer las variaciones de las márgenes izquierda y derecha. Los resultados están mostrados en la Fig. 5.3.3.

En la figura se pueden apreciar los siguientes cambios de las características de las márgenes del río Apure existente:

- 1) Tramos A1, A2 y A3.1: La erosión de las márgenes y la sedimentación de estos tramos son relativamente bajas en general. Los grandes cambios de las orillas del río cerca del pueblo de San Fernando son debidas a las obras del canal artificial.

- 2) Tramos A3.2 y A4.1: La erosión de las márgenes es más activa en el tramo A4.1, mientras que la actividad de la misma es medio baja en el tramo A3.2. El movimiento activo del canal en el tramo A4.1 puede ser ocasionado por el escurrimiento y la entrada de sedimentos de los tributarios izquierdos.
- 3) Tramo A4.2: La erosión prevalece en la margen izquierda y la sedimentación en la derecha, lo cual indica que el lecho del río está moviéndose hacia la margen izquierda como un todo. La erosión de las márgenes es moderada en comparación con otros tramos.

El cambio del lecho del río está mostrado en la Fig. 5.3.4 seleccionando lugares típicos en Guasualito, Bruzual y San Fernando.

(2) Sección del río

PROA ha venido efectuando el estudio de la sección transversal en las estaciones seleccionadas de los ríos Apure principal y Portuguesa desde 1988, así como también observaciones hidrológicas.

Utilizando los estudios de PROA, se estudiaron las características de las secciones del río y sus cambios. Las secciones transversales estudiadas fueron superpuestas sobre cada sitio y se verificaron los datos de sección. Las secciones representativas del río están mostradas en la Fig. 5.3.5. Se estudió también la profundidad del recorrido del río y los cambios de la misma en las secciones representativas.

De los datos de arriba se desprende que:

- 1) La profundidad del río aumenta corriente abajo, en general. En las cercanías del puente de San Fernando y del de Bruzual, los canales son más profundos.
- 2) El cambio anual del lecho del río no puede apreciarse claramente con estos datos. Los cambios estacionales de la profundidad del río, esto es, la diferencia de la profundidad media del río durante la estación de las lluvias y la seca, no es clara tampoco.
- 3) Como índice de la estabilidad del canal, se calculó un índice de variación (máx./min)/medio, en las secciones de las que se tiene un mínimo de cinco (5) años de observaciones. El índice de variación varía de 0,12 a 0,58. Las secciones con valores más bajos o más altos del coeficiente son las siguientes:

Sección	Ubicación	(Máx.-min.)/media
(Las tres más bajas: relativamente estables)		
1. San Fernando	180,47 km	0,12
2. El Chinal	397,07 km	0,18
3. El Saman	348,12 km	0,21
(Las tres más altas: cambiantes)		
1. Totumito	633,36 km	0,58
2. Santos Luzardo	663,38 km	0,57
3. San Vicente	465,41 km	0,51

5.3.3 Variación Durante la Estación de Inundaciones

La variación del canal durante la estación de las inundaciones fue estudiada con base en los resultados del estudio del río efectuado en junio/julio de 1992, y en enero/febrero de 1993, conducidas por el grupo de investigación de JICA en los siguientes tres sitios:

- 1) Sitio Guasualito desde el puente Remolino hasta el puerto Santos Luzardo del río Apure.
- 2) Sitio Bruzual desde San Vicente a Bruzual del río Apure
- 3) Sitio Camaguán desde el pueblo Camaguán hasta 10 km. aguas arriba del río Portuguesa.

(1) Variación de las características del cauce

Se compararon las características del canal en junio/julio de 1992 y de enero/febrero de 1993. Los resultados están mostrados en las Figs. 5.3.6 hasta la 5.3.8 para los sitios respectivos.

Los cambios de la sección del río durante la estación de las inundaciones están establecidos como sigue:

- 1) Los canales del río en el sitio Camaguán son hondos y estrechos, mientras que los de los sitios de Guasualito y Bruzual son relativamente llanos. La relación entre ancho y profundidad en estos sitios es la siguiente:

Sitio	Ancho		Profundidad promedio	
	(B:m)	(hm:m)	(hm:m)	(B:hm)
a) Guasualito	258	3,58	3,58	72
b) Bruzual	415	5,07	5,07	82
c) Camaguán	139	7,49	7,49	19

- 2) Esto muestra claramente que los canales del sitio Camaguán son estables en comparación con los de los otros dos sitios.
- 3) En referencia a la profundidad máxima del canal, los cambios en Guasualito y Bruzual son notables. El cambio máximo de la profundidad del canal durante una inundación fue de 2,3 m. (o 37% de la profundidad máxima promedio), en el sitio Guasualito y de 3,3 m (o 41%), en el sitio Bruzual, mientras que fue de 1,4 m. (o 13%) en el sitio Camaguán.
- 4) En relación a los cambios laterales, los cambios máximos del ancho del canal y de las márgenes izquierda y derecha durante una inundación fueron aproximadamente el 70% del ancho del río en el sitio Guasualito, y de aproximadamente 55% en Bruzual. En el sitio Camaguán, el ancho del río varió un 35% como máximo y las márgenes del río un 20% del ancho del mismo.

(2) Relación de profundidad de la sección del cauce

Se estudió la relación entre el índice de profundidad (h_{max}/h_m) y la excentricidad (E_c), que está mostrada en la Fig. 5.3.9. La excentricidad (E_c) se define como $|E-B|/B$, donde E es la distancia horizontal desde la margen izquierda hasta el punto de máxima profundidad de una sección.

Item	Guasualito		Bruzual		Camaguán	
	1992	1993	1992	1993	1992	1993
Índice de profundidad (h_{max}/h_m)						
Máximo	3,32	3,47	2,58	3,05	1,95	2,13
Mínimo	1,23	1,17	1,10	1,17	1,18	1,16
Promedio	1,77	1,85	1,52	1,77	1,46	1,45
(Máx.-min)/prom	1,18	1,24	0,97	1,06	0,53	0,67
Excentricidad (E_c)						
Máximo	0,48	0,48	0,49	0,48	0,44	0,39
Promedio	0,35	0,37	0,33	0,32	0,25	0,25

Con base en lo anterior se consideró lo siguiente:

- 1) Los valores máximos de relación de profundidad (h_{max}/h_m), están dentro de 3,5, 3 y 2 en los sitios de Guasualito, Bruzual y Camaguán, respectivamente. En los sitios de Camaguán se puede considerar que el lecho del cauce es plano en general.
- 2) La distribución de los gráficos del sitio Guasualito es similar a las del sitio Bruzual, presentando una tendencia creciente de índice de profundidad con una excentricidad creciente.
- 3) La distribución del sitio Camaguán es bastante diferente que la de otros sitios, presentando una marcada tendencia a la excentricidad.
- 4) No se observaron cambios significativos de la relación de profundidad en secciones 1992 y 1993 en los sitios de Guasualito y Camaguán. En el sitio Bruzual, el límite superior de la relación de profundidad en 1992 es casi la mitad del de 1993. Esto puede ser causado por el relleno ocasionado por el caudal de estiaje.

5.4 Evaluación de la Capacidad del Cauce para Navegación

5.4.1 Criterio

La capacidad del cauce existente para la navegación fue evaluada en los siguientes seis (6) tramos del canal principal basándose en el tamaño del cauce y la corriente en el mismo.

Río Apure

- 1) St-A1: Desde la boca del río Orinoco hasta el puerto de San Fernando
- 2) St-A2: Desde el puerto de San Fernando hasta la confluencia del río Portuguesa
- 3) St-A3: Desde la confluencia del río Portuguesa hasta el Puerto de Nutrias (Bruzual)
- 4) St-A4: Desde el Puerto de Nutrias hasta el puerto Santos Luzardo (Guasualito)

Río Portuguesa

- 5) St-P1: Desde la boca del río Apure hasta la confluencia con el río Cojedes
- 6) St-P2: Desde la confluencia del río Cojedes al puerto El Baúl

Se examinó la navegabilidad en relación a la profundidad del agua, el radio de curvatura y el ancho del canal para navegación. Las secciones críticas debido a la poca profundidad del agua y del ancho del canal, se examinaron comparándolas con el nivel de agua calculado bajo diferentes condiciones de flujo del canal y con la sección real del río. El radio crítico de la curvatura fue estudiado en mapas topográficos a escala 1/10.000, para la mayor parte del río Apure, y los de escala 1/25.00 para la porción del río Apure cerca de Apurito y para todo el río Portuguesa.

(1) Criterio para el tamaño del cauce

Items	Río Apure	Río Portuguesa
Profundidad del agua	≥ 2,00 m	≥ 1,70 m
Radio de curvatura	≥ 560 m	≥ 240 m
Ancho del canal	≥ 80 m	≥ 30 m

(2) Criterio para definición de caudales

Para la evaluación de la navegabilidad, se adoptó el siguiente caudal diario como criterio para el período navegable. Los caudales diario estan basados en la duración del caudal medio en las respectivos estaciones de aforo instaladas a lo largo de los ríos Apure principal y Portuguesa:

Río Apure

Caudal diario (Qnd.)	Meses de navegación (mes)	Caudal diario (m ³ /s.)			
		Est. P. Remolino	Est. Bruzual	Est. El Samán	Est. S. Fernando
Q1d	12	83	148	217	289
Q30d	11	104	203	270	391
Q60d	10	137	276	346	511
Q90d	9	208	380	449	669
Q120d	8	319	586	629	961
Q150d	7	424	890	961	1.469
Q180d	6	514	1.490	1.376	2.164
Q210d	5	599	1.849	1.886	2.839

Río Portuguesa

Caudal diario (Qnd.)	Meses de navegación (mes)	Caudal diario (m ³ /s.)		
		Est. El Baúl	Est. Jobalito	Est. Camaguan
Q1d	12	9	31	57
Q30d	11	12	37	72
Q60d	10	15	43	89
Q90d	9	20	57	120
Q120d	8	26	82	179
Q150d	7	35	119	275
Q180d	6	57	190	438
Q210d	5	80	254	613

Nota: La est. El Baúl está localizada en el pueblo El Baúl a la orilla del río Cojedes.

5.4.2 Evaluación del Río Apure

(1) Cálculo del flujo del cauce

Las secciones del río observadas en marzo de 1992 por PROA fueron utilizadas para el cálculo de flujo del canal complementando algunas secciones con los resultados del sondeo de I.N.C. Se incorporaron cuarentainueve (49) secciones en el modelo de flujo de canal para todo el tramo de 681 km. desde la boca en el río Orinoco hasta el puente Remolino.

Utilizando el modelo de flujo del canal, se calcularon los niveles de las aguas del mismo bajo diferentes condiciones de flujo, o sea: 1, 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 caudales diarios. Para cada caso se determinó la distribución del caudal y la rugosidad del cauce por medio de procedimientos de ensayo y error.

(2) Profundidad crítica ($D_c < 2$ m.)

Los mapas de sondeo preparados por I.N.C. fueron confeccionados a intervalos de 150 m. aproximadamente para el río Apure, exceptuando el tramo más bajo de 95,74 km. Los mapas de sondeo fueron utilizados para la comparación del nivel de agua calculado. La ruta de navegación fue dibujada en el mapa de sondeo del río Apure y preparada por I.N.C., conectando mayormente el punto más profundo del río y el perfil longitudinal.

Las elevaciones del lecho del río del mapa de sondeo no son conocidas. La elevación del lecho del río en cada sección el dato M.S.L. fue estimada basándose en varias secciones con elevaciones conocidas, asumiendo la línea de la superficie del agua entre ellas.

Por otro lado, la profundidad necesaria para navegación es de 2 m. considerando el calado de las gabarras y cierto margen. Por lo tanto, el lecho crítico del río que permite la navegación de las gabarras se asumió como siendo 2 m. inferior al nivel del agua calculado en el río Apure.

El resultado de la evaluación está resumido a continuación.

Meses de navegación (mes)	No. de secciones críticas			
	St-A1 (Sec.) (%)	St-A2 (Sec.) (%)	St-A3 (Sec.) (%)	St-A4 (Sec.) (%)
12	43 (9,4)	24 (15,2)	367 (23,2)	423 (29,1)
11	25 (5,5)	18 (11,4)	331 (20,9)	359 (24,7)
10	21 (4,6)	17 (10,8)	272 (17,2)	289 (19,9)
9	11 (2,4)	13 (8,2)	214 (13,5)	192 (13,2)
8	3 (0,7)	6 (3,8)	148 (9,4)	95 (6,5)
7	1 (0,2)	3 (1,9)	38 (2,4)	45 (3,1)
6	0 (0)	1 (0,6)	6 (0,4)	26 (1,8)
5	0 (0)	1 (0)	6 (0)	18 (1,2)
Total	(458)	(158)	(1.581)	(1.455)

Nota: Las secciones del tramo inferior al km 95,74. de St-A1 no están incluidas porque no hay datos.

(3) Ancho crítico ($W_c < 80$ m.)

El ancho del río en la cota crítica del lecho del río (2 m. por debajo del nivel del agua calculado), fue examinadas en las secciones incorporadas en el modelo de flujo de canal del río Apure. Las secciones críticas con un ancho de canal menor de 80m. están mostradas abajo para los respectivos meses de navegación o condiciones de flujo.

Meses de navegación (mes)	No. de secciones críticas			
	St-A1 (Sec.) (%)	St-A2 (Sec.) (%)	St-A3 (Sec.) (%)	St-A4 (Sec.) (%)
12	6 (55)	0 (0)	9 (56)	12 (71)
11	4 (36)	0 (0)	9 (56)	9 (53)
10	1 (9)	0 (0)	7 (44)	5 (29)
9	1 (9)	0 (0)	4 (25)	2 (12)
8	0 (0)	0 (0)	1 (6)	0 (0)
7	0 (0)	0 (0)	1 (6)	0 (0)
6	0 (0)	0 (0)	1 (6)	0 (0)
Total	(11)	(3)	(16)	(17)

(4) Radios de curvatura críticos ($R_c < 560$ m.)

Radio	No. de curvaturas críticas			
	St-A1 (km/sect)	St-A2 (km/sect)	St-A3 (km/sect)	St-A4 (km/sect)
$R_c < 560$ m. (sec.)	12 (14)	0 (-)	16 (16)	12 (18)
$R_c < 320$ m. (sec.)	6	0	5	5
Longitud del cauce (km.)	167,3	24,9	250,0	221,2

(5) Resumen

- 1) El resultado de la evaluación está mostrado esquemáticamente en la Fig. 5.4.1.
- 2) La falta de profundidad del agua es el principal problema del río Apure. Para un período de navegación de más de nueve (9) meses, el ancho del cauce se vuelve crítico también.
- 3) Juzgando la profundidad crítica del agua, los meses navegables del río Apure fueron evaluados de la siguiente manera, suponiendo que las secciones críticas existentes menores del 1%, son navegables con mejoramientos mínimos:

Tramo	:	St-A1	St-A2	St-A3	St-A4
Meses navegables	:	8	6	6	4

5.4.3 Evaluación del Río Portuguesa

(1) Cálculo del flujo del cauce

Existen treintainueve (39) estaciones a lo largo de todo el tramo de 249 km. aproximadamente desde la boca del río hasta el puerto El Baúl. Todas estas secciones fueron estudiadas desde la superficie del agua y no están relacionadas con los datos M.S.L.

El modelo de flujo de cauce fue construido utilizando secciones del mismo, asumiendo la inclinación de la superficie del agua y la rugosidad del canal; y las secciones críticas fueron estudiadas en estos punto de forma básicamente similar las del río Apuré.

(2) Profundidad crítica ($D_c < 1.70$ m.)

La elevación crítica del lecho del río fue fijada en 1,7 m. por debajo del nivel del agua calculado. Las secciones críticas para la profundidad del canal fueron estimadas por medio del modelo de flujo en el cauce. Los resultados están resumidos a continuación.

Meses de navegación (mes)	No. de secciones críticas	
	St-P1 (Sec.) (%)	St-P2 (Sec.) (%)
12	3 (10)	0 (0)
11	1 (3)	0 (0)
10	1 (3)	0 (0)
9	1 (3)	0 (0)
8	0 (0)	0 (0)
Total	(31)	(8)

(3) Ancho crítico ($W_c < 30$ m.)

Se estudió el ancho del cauce a 1,7 m. por debajo de la superficie del agua. El número de secciones críticas en que el ancho del cauce es menor de 30 m. están mostradas a continuación para los meses respectivos de navegación.

Meses de navegación (mes)	No. de secciones críticas	
	St-A1 (Sec.) (%)	St-A2 (Sec.) (%)
12	15 (48)	8 (100)
11	9 (29)	8 (100)
10	7 (23)	5 (63)
9	3 (10)	3 (38)
8	0 (0)	1 (13)
Total	(31)	(8)

(4) Radios de curvatura crítica ($R_c < 240$ m.)

Radio	No. de curvaturas críticas	
	St-P1 (km/sect)	St-P2 (km/sect)
$R_c < 240$ m. (sec.)	27 (8)	5 (7)
$R_c < 150$ m. (sec.)	5	2
Longitud del cauce (km.)	214,8	33,7

(5) Resumen

- 1) El resultado de la evaluación está mostrado en la Fig. 5.4.2.
- 2) La estrechez del cauce y el radio de curvatura son los problemas principales de río Portuguesa.
- 3) Las secciones críticas del cauce aumentan abruptamente para la navegación más prolongada que nueve (9) meses. La situación es más grave en el Tramo P2 (aguas arriba desde la confluencia del río Cojedes).
- 4) Juzgando el ancho crítico del cauce, los meses navegables del río Portuguesa actual, son ocho (8) para St-P1 y St-P2, asumiendo que las secciones críticas existentes son menos del 1% o que solo una sección para cálculo es navegable con pequeñas mejoras.

5.5 Medidas de Estabilización del Cauce para la Navegación

5.5.1 Principios de Estabilización del Cauce

Para mejorar la capacidad de navegación del cauce, se consideraron dos medidas principalmente, (1) mejoramiento del flujo para aumentar la descarga del canal y (2) mejoramiento del canal para que ofrezca una sección suficiente.

Los diversos esquemas para mejoramiento del flujo y del canal fueron considerados y esquemáticamente mostrados en la Fig. 5.5.1. En el análisis de las Medidas se hizo esfuerzo para incorporar ideas y esquemas estudiados por PROA y otras dependencias relacionadas con MARNR.

(1) Mejoramiento del caudal

Existen varias represas en la parte superior de los ríos Apure y Portuguesa. El agua que sale del embalse para la generación de energía hidroeléctrica puede contribuir a aumentar el caudal del canal en la estación seca.

El espacio del embalse que no está efectivamente utilizado en este momento, podría también ser utilizado para aumentar el caudal del canal. Sin embargo, esta medida puede no ser económicamente viable y servirá solamente si el agua liberada es utilizada para propósitos múltiples.

Para utilizar efectivamente el agua del río para la navegación, puede ser efectiva la construcción de un canal de derivación, dirigiendo el agua hacia la parte superior de las secciones críticas. Podría ser más efectivo si el agua desfogada desde la represa es combinado con el esquema de canal de derivación.

(2) Mejoramiento del cauce

Es posible pensar en varias medidas para el mejoramiento del cauce:

- 1) Tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal: cerrando o controlando la desviación de la descarga de la ramificación, el caudal en el canal principal puede ser aumentado y estabilizado.
- 2) Normalización por alineación: Para lograr una navegación sin impedimentos en el río, las curvas críticas podrían ser normalizadas por medio de obras de realineación o canales de cierre.

- 3) **Mejoramiento de la sección del cauce:** En los tramos donde la profundidad del canal y/o el ancho son críticos, son necesarias obras para mejoramiento del canal para suministrar una sección suficiente para la navegación.

(3) Instalaciones y obras

La estabilización del cauce para la navegación fluvial puede incluir los siguientes tipos de obras:

- 1) **Mejoramiento del flujo**
 - a) Represas: Uso del agua desfogada desde las plantas hidroeléctricas
 - b) Canales de derivación
- 2) **Tratamiento de ramificaciones**
 - a) Diques sumergidos
 - b) Diques de cierre
- 3) **Normalización de la alineación**
 - a) Obras para realinear las curvas cerradas
 - b) Cortes de meandro
- 4) **Mejoramiento de la sección del cauce**
 - a) Tratamiento de islas
 - b) Dragado del cauce
 - c) Obras para regulación de ríos
 - d) Obras temporales de canalización
- 5) **Protección de las márgenes**

Esta sección presenta los principios para el plan y el diseño de las obras arriba mencionadas. Las fuerzas naturales para cambiar el curso del río y para reformar la sección del canal son enormes comparadas con las obras a ser implementadas, y el presupuesto disponible para las obras es limitado. Es esencial planificar y diseñar las obras de tal manera que armonicen tanto como sea posible con el comportamiento natural del río.

Para armonizarlas con el comportamiento natural del río, se pueden estudiar e investigar primero las características y comportamiento del río, y las funciones de las instalaciones deben ser examinadas por medio de pruebas en el modelo hidráulico y de prototipo en el campo.

Los principios e ideas preliminares para el diseño de instalaciones están presentadas en las subsecciones siguientes. Las instalaciones y obras presentadas aquí no son definitivas. Estas deben ser mejoradas y desarrolladas basándose en estudios más detallados, investigación, pruebas en el modelo hidráulico y experiencia a través de obras en el campo.

Los detalles de los principios de diseño de estas instalaciones están presentados en el Informe de Apoyo: Parte E.

5.5.2 Mejoramiento del Flujo

(1) Esquemas componentes para el mejoramiento del flujo

Represas

No se consideraron nuevas represas para la navegación ya que no vale la pena, pero las construídas o propuestas para otros propósitos fueron estudiadas para la navegación utilizando el agua liberada de las mismas.

Las represas para el estudio de mejoramiento fueron seleccionadas entre las represas construídas o en construcción, considerando el estado de la construcción, el tamaño y la ubicación de las mismas de la siguiente manera:

- 1) Represas para el proyecto Uribante-Caparo (represas Uribante-Caparo):
 - a) Represa La Honda: existente
 - b) Represa Borde Seco: en construcción
 - c) Represa La Vueltona: en construcción

- 2) Represas para el proyecto Guanare-Masparro (represas Guanare-Masparro):
 - a) Represa Boconó: existente
 - b) Represa Masparro: La represa existe pero la planta hidroeléctrica no ha sido construída todavía.

- 3) Represas del río Cojedes (represas del Cojedes):
 - a) Represa Las Majaguas: existente
 - b) Represa Las Palmas: en construcción

Canales de derivación

Después de revisar las ideas y esquemas preparados por PROA, se escogieron para el estudio los siguientes tres (3) canales de derivación:

- 1) Canal de derivación Caparo-Uribante Viejo: Para conducir el agua del río Caparo hacia el Apure en un punto justo corriente abajo del puerto Santos Luzardo a través del río Uribante Viejo.
- 2) Canal de derivación Boconó-Masparro: Para conducir el agua del río Boconó hacia el Apure, aguas arriba del Puerto de Nutrias (Bruzual) a través del río Masparro.
- 3) Canal de derivación Cojedes-El Frasco: Para conducir el agua del río Cojedes hacia el río Portuguesa aguas arriba del puerto El Baúl.

Se puede pensar también en un esquema de canal entre cuencas, para tomar agua del Arauca y conducirla al Apure cerca de Guasualito. Sin embargo este esquema no fue considerado ya que el río Arauca es un río internacional y la construcción del canal entre cuencas puede ser demasiado prolongada y difícil para llevar a cabo dentro de la programación.

Esquemas componentes

Para el mejoramiento del flujo, se consideraron para estudios más detallados los siguientes esquemas componentes en combinación con represas y canales de derivación:

- 1) Esquema de mejoramiento del flujo del Apure superior: Es un esquema consistente de las represas de Uribante-Caparo y un canal de derivación Caparo-Uribante Viejo.
- 2) Esquema de mejoramiento del flujo del Apure medio: Es un esquema consistente de la represas Guanare-Masparro y un canal de derivación Boconó-Masparro.
- 3) Esquema de mejoramiento del flujo del Portuguesa superior: Es un esquema consistente de las represas de Cojedes y un canal de derivación Cojedes-El Frasco.

Para los respectivos esquemas de mejoramiento del flujo, se consideraron dos etapas, la inicial y la final, dependiendo de la etapa de desarrollo de generación de energía y proyectos relacionados. Las dimensiones principales de las represas para las etapas respectivas de construcción están mostradas en la Tabla 5.5.1. Los mapas para localización general de los canales de derivación para el estudio, están mostrados en las Figs. de 5.5.2 a 5.5.4.

(2) Evaluación de los efectos

Se calcularon los efectos hidráulicos para las respectivas medidas de mejoramiento de flujo, que están mostrados en la Fig. 5.5.5 como ejemplos para 7 y 12 meses de navegación.

Las secciones críticas de la profundidad del canal fueron examinadas por medio de cálculos de flujo en diferentes condiciones de flujo. Los resultados están mostrados en la Fig. 5.5.6. En la figura, las secciones críticas fueron expresadas por medio de longitud del cauce crítico asumiendo que una sección crítica es equivalente a 150 m. de la longitud del cauce crítico.

(3) Esquema para mejoramiento del flujo del Apure superior

El esquema para mejoramiento del flujo del Apure superior depende principalmente del agua liberada de la planta hidroeléctrica San Agatón, de los embalses de las plantas hidroeléctricas La Honda y La Vueltoza, del represamiento de Borde Seco/La Vueltoza, y del canal de derivación Caparo-Uribante Viejo. Se consideró el efecto de la planta hidroeléctrica existente San Agatón como incorporado en los registros de flujo de acuerdo a la duración del flujo promedio.

Tomando como ejemplo 7 meses de navegación, el esquema contribuye a reducir la longitud crítica en 41,2% en total en la etapa inicial y en 26,7% en la etapa final.

El resultado es más efectivo en el tramo entre la confluencia del río Suripá y en la confluencia del río Uribante Viejo. Este tramo incluye uno de los más críticos para la navegación. Este esquema contribuirá al mejoramiento de la navegación de uno a dos meses para los tramos superiores a la confluencia del río Suripá, mientras que en los tramos aguas abajo contribuirá por un mes o menos.

Es posible también esperar efectos similares en las condiciones de la etapa final.

(4) Esquema para mejoramiento del flujo del Apure medio

El esquema para mejoramiento del flujo del Apure medio depende principalmente del agua liberada de la planta hidroeléctrica Peña Larga del embalse Boconó-Tucupido y del de la planta hidroeléctrica Masparro. El efecto de la estación Peña Larga fue considerado como incorporado en los registros de flujo.

Los efectos de este esquema no son notables, reduciendo la longitud del cauce crítico en 13% en total por ejemplo para 7 meses de navegación en la etapa inicial. Los

efectos pueden ser muy pequeños para la etapa final, reduciendo la longitud crítica en un 1,5% solamente. Esto es debido al aumento del agua para irrigación a ser tomada del agua liberada por la estación generadora. Esta situación indica que los efectos de las instalaciones para el mejoramiento del flujo, tal como el canal de derivación Boconó-Masparro, no serían esperados para el mejoramiento futuro del flujo.

Sin embargo el canal de derivación Boconó-Masparro construido para otros propósitos tal como irrigación, para el uso efectivo del embalse Boconó-Tucupido, puede contribuir al mejoramiento del flujo en la etapa inicial.

(5) Esquema de mejoramiento del flujo del Portuguesa superior

El cauce del Portuguesa tiene capacidad para ser navegable durante casi ocho (8) meses. Si se intenta aumentar el período de navegación por más de nueve (9) meses, el río es crítico en todo el tramo desde el punto de vista del ancho y del radio de curvatura. La situación es más problemática en el río Portuguesa superior durante unos 34 km. de longitud, desde la confluencia del río Cojedes hasta el puerto El Baúl.

Para mejorar la capacidad de navegación del río Portuguesa se pueden considerar individualmente o en combinación las siguientes medidas:

- 1) Dique derecho del río Portuguesa superior para evitar el derramamiento de agua hacia el río Igües.
- 2) Canal de derivación Cojedes-El Frasco para conducir el agua del Cojedes hacia el Portuguesa, aguas arriba del puerto El Baúl, para aumentar la descarga de flujo bajo.
- 3) Mejoramiento del canal

El esquema de dique derecho y del canal de derivación son para mejoramiento del caudal y el esquema de mejoramiento del canal será adoptado complementariamente.

Dique derecho del río Portuguesa superior

El río Portuguesa superior está repleto de sedimentos aguas arriba de la confluencia con el río Acarigua (canal piloto). Debido a la sedimentación del canal, la corriente del río Portuguesa superior se derrama y es drenada hacia el río Igües. El flujo en el puerto El Baúl ubicado aguas abajo, está decreciendo.

La obras para mejoramiento del canal del río Acarigua, incluyendo al río Portuguesa

entarquinado, están siendo estudiadas y diseñadas por PROA. El dique derecho del río Portuguesa superior, evitará que el agua del mismo se derrame y funcionará para mantener el correcto flujo de agua y sedimentos.

Canal de derivación Cojedes-El Frasco

El canal de derivación Cojedes-El Frasco apunta a dirigir parte de las aguas del río Cojedes hacia el río Portuguesa principal aguas arriba del puerto El Baúl. El canal de drenaje existente L-5 (longitudinal 5) en el área del proyecto sur Turén III, podría ser utilizado como canal de derivación. Será necesario entonces construir una estructura de control hidráulico a la cabeza del canal de corte y una conexión con el río Portuguesa en la porción inferior del canal de derivación.

De acuerdo con el estudio preliminar de la represa Las Majaguas (existente) y de la de Las Palmas (en construcción), estas represas no influyen mucho sobre el mejoramiento del flujo para navegación del río Portuguesa.

PROA está estudiando un canal de derivación Cojedes-El Frasco.

5.5.3 Tratamiento de Bifurcaciones

(1) Enfoque del tratamiento de bifurcaciones

Existen dos (2) sitios con grandes difluencias que retornan al cauce principal a lo largo del río Apure aguas abajo y aguas arriba de San Fernando:

- 1) Sitio Chirel/Apurito: El sitio está ubicado aguas abajo de San Fernando y se extiende 90 km. aproximadamente desde San Fernando hacia La Maciera.
- 2) Sitio Bravo/Garzas: El sitio está ubicado aguas arriba de San Fernando, extendiéndose por 90 km. aproximadamente desde el pueblo Apurito hacia la confluencia del río Guanaparo.

El caudal del cauce principal del río Apure puede ser estabilizado y aumentado cerrando estas ramificaciones o regulando la descarga de la desviación hacia las mismas. Para cerrar o regular las ramificaciones con retorno al cauce principal, es posible pensar en obras tales como en diques de cierre o sumergidos.

La influencia del tratamiento de las ramificaciones con retorno al cauce principal se extenderá por más de cien kilómetros a lo largo del río y los impactos sociales y sobre el medio ambiente natural pueden ser extensos. Las ramificaciones existentes se han

formado por los efectos integrados de los movimientos del agua y de los sedimentos durante Muchos años. Por lo tanto el tratamiento de las ramificaciones debe ser planificado basándose en investigación y estudios detallados.

Para planificar las obras en las ramificaciones con retorno al cauce principal el mecanismo de flujo de agua y sedimentos debe ser entendido a través de una investigación hidráulica y geomorfológica. De lo contrario las obras propuestas pueden perder su función en un corto período o pueden causar inestabilidad de los canales del río.

En el lugar donde hay una ramificación con retorno al cauce principal, los canales del río son relativamente estables, ya que la energía del flujo del río está dividida entre varios canales. Cuando la corriente del río se junta al río Apure principal, la conducta del canal del río puede ser activada.

(2) Evaluación de los efectos

Tratamiento del sitio Chirel

De acuerdo con los estudios preliminares, los siguientes principios fueron la base para el estudio del sitio Chirel:

- 1) El río Chirel será parcialmente cerrado por medio de un dique sumergido, si la descarga de la desviación hacia el río Chirel aumenta.
- 2) El río Bosquerones será dejado tal cual está, ya que el canal parece estable.
- 3) El río Apurito superior, será dejado tal cual está porque se ha cerrado naturalmente.

Los efectos del cierre parcial del río Chirel fueron evaluados y están mostrados en las Figs. 5.5.7 y 5.5.8.

En vista de lo anterior, los efectos del mejoramiento de la corriente del dique sumergido del Chirel son mínimos. Sin embargo, se comenta que la descarga del Apure principal está decreciendo debido al aumento de la descarga de desviación hacia el río Chirel. Si esto es correcto, el dique sumergido del Chirel puede actuar como obra consolidatoria para estabilizar la desviación del flujo. La situación actual de la desviación de la descarga y sus cambios históricos tienen que ser confirmados.

Tratamiento del sitio Bravo/Garzas

De acuerdo con los estudios preliminares, los siguientes principios fueron utilizados para el estudio del sitio Bravo/Garzas:

- 1) El río Bravo será parcialmente cerrado por medio de un dique sumergido.
- 2) Los ríos Cañafistolito y Rompida serán completamente cerrados por medio de diques de cierre.
- 3) Los ríos Yeguas y el Garzas superior serán dejados tal cual están, ya que están naturalmente cerrados durante la estación seca.
- 4) El río Apure Viejo será dejado tal cual está, ya que ha sido cerrado por el dique derecho.

El efecto del cierre parcial del río Bravo fue estudiado y los resultados están mostrados en las Figs. 5.5.9 y 5.5.10.

En vista de lo anterior, es factible esperar efectos de mejoramiento del flujo del dique sumergido del Bravo. Sin embargo es necesario efectuar estudios e investigación detallados antes de tomar una decisión definitiva.

(3) Obras de diques sumergidos

Los diques sumergidos apuntan a la estabilización y regulación de la corriente derivada dentro de las ramificaciones principales durante los períodos de flujo bajo. El dique debe ser diseñado para que cumpla con las siguientes condiciones, y para mantener las funciones existentes de la ramificación con retorno al cauce principal:

- 1) El dique sumergido no debe afectar en mucho las condiciones de flujo de las inundaciones en el canal principal y en la ramificación con retorno al cauce principal, para que no cause cambios radicales del canal del río ni en las condiciones ambientales relacionadas.
- 2) El dique sumergido debe ser tipo esclusa fija que no necesite ningún tipo de operación artificial.
- 3) El dique sumergido debe permitir el pasaje de botes rurales entre el canal principal y la ramificación con retorno al cauce principal tanto como sea posible durante el período de flujo bajo.

Las obras del dique sumergido deben consistir en una esclusa tipo fija que permita una ruta de navegación conjuntamente con las obras de consolidación del lecho del río y obras de revestimiento.

(4) Obras para el dique de cierre

El dique de cierre apunta a cerrar completamente las ramificaciones menores con retorno al cauce principal durante todo el año. El dique de cierre consiste básicamente en un terraplén de tierra con obras para protección del mismo.

5.5.4 Normalización de la Alineación del Cauce

Las siguientes obras están planeadas en las secciones críticas para normalizar la alineación, para enderezar las curvas cerradas y/o para acortar la ruta de navegación en los tramos con meandros.

- 1) Obras de realineación
- 2) Obras para canal de corte

(1) Obras para realineación

Las obras de realineación apuntan a reducir la curvatura de las curvas cerradas del cauce para obtener buenas condiciones para la navegación.

Las obras de realineación fueron planeadas en las curvas cerradas del cauce principal de navegación. Para la selección de los sitios para obras de realineación, se aplicaron los siguientes criterios:

- 1) Las curvas cuyo radio de curvatura (R_c) es menor que cuatro (4) veces la longitud del barco (L_s), serán sujetas a obras. Aplicando esto en los ríos Apure y Portuguesa, los sitios con curvas cerradas que necesitan obras de realineación fueron seleccionados:

$R_c < 560$ m.; para el río Apure

$R_c < 240$ m.; para el río Portuguesa

- 2) Para implementación inmediata como mejora urgente:

$R_c < 320$ m.; para el río Apure

$R_c < 150$ m.; para el río Portuguesa

Las obras de realineación generalmente incluyen dragado y excavación para agrandar la curvatura del canal y estacadas para guiar la corriente del río hacia el nuevo canal.

(2) Obras para canales de corte

Las obras para canales de corte apuntan a la construcción de un nuevo canal para acortar la ruta de navegación y evitar obras de mejoramiento de canal necesarias debido a la curvatura, profundidad y ancho críticos. Algunos de los canales de corte apuntan a normalizar la alineación del cauce.

Las obras para canales de corte generalmente incluyen dragado y excavación del nuevo canal, con diques de cierre para el canal a ser abandonado y terraplenes de tierra a lo largo del nuevo canal. Las obras de estacada y de revestimiento son también necesarias para guiar la corriente del río hacia el nuevo canal de forma libre y segura.

5.5.5 Mejoramiento de la Sección del Cauce

Las siguientes obras han sido planeadas en las secciones críticas para la asegurar la profundidad y el ancho requeridos para la navegación fluvial:

- 1) Obras para tratamiento de islas
- 2) Obras de dragado de cauce
- 3) Obras para regulación del río
- 4) Obras para el mejoramiento temporal del cauce

(1) Obras para tratamiento de islas

Las obras para el tratamiento de islas fueron planeadas en la sección crítica del cauce donde el cauce del río está dividido por islas permanentes.

Las obras para el tratamiento de islas apuntan al aumento y mantención de la profundidad media del cauce para la navegación, cerrando el cauce detrás de la isla por medio de un dique de cierre o pilotes.

Las obras para el tratamiento de islas incluyen la construcción de diques de cierre para los canales relativamente pequeños ubicados detrás de la isla e hincado de pilotes para los canales más grandes. Las obras de estacada son también necesarias para guiar la corriente del río hacia el canal principal.

(2) Dragado del cauce

Las obras de dragado del canal apuntan a asegurar la sección del canal requerida para la navegación por medio de medidas mecánicas. El efecto de las obras es seguro, pero algunas veces puede ser necesario el repetido mantenimiento del dragado después de cada estación de inundación. Las obras de dragado del canal están planeadas en los siguientes sitios críticos:

- 1) Canal de navegación importante que requiere mejoras urgentes
- 2) Los sitios donde no se pueden aplicar otras medidas de mejoramiento debido a razones geológicas, técnicas y sociales
- 3) Sitios locales donde es necesario el trabajo de mantenimiento del dragado

Las obras de dragado del canal incluyen el dragado en si y obras para depósito de residuos de dragado. Las obras de estacadas pueden ser también necesarias para guiar la corriente hacia el canal dragado.

(3) Obras para regularización del río

Las obras para regularización del río fueron planeadas en las secciones críticas del canal donde el río está sembrado de bancos de arena.

Las obras para regularización del río apuntan a regularizar y estabilizar el cauce del río, incrementar y mantener la profundidad del canal para navegación guiando la corriente de agua y estrechando el canal inferior de agua por medio de una serie de estacadas. Para la implementación y monitoreo del efecto es necesario adoptar un sistema por etapas, y tomará cierto tiempo ver los resultados finales.

Las series de estacadas deben ser consideradas para la regularización de los ríos Apure y Portuguesa. Para desarrollar medidas efectivas de regularización para los ríos Apure y Portuguesa, puede ser necesario utilizar ensayo y error acumulando experiencia por medio de prototipos y pruebas de laboratorio.

(4) Obras de canalización temporal

Las obras de canalización temporales apuntan a mejorar las secciones críticas esporádicas y locales como medidas de solución. Las obras pueden ser necesarias en forma recurrente al principio de cada estación seca. Para el canal con menos navegación de transporte, las obras temporales de canalización pueden jugar un papel más importante que las obras permanentes debido a razones económicas.

Diversas medidas han sido propuestas para las obras de canalización temporal. Las obras principales de canalización temporal son las siguientes:

- 1) Bandalls
- 2) Paneles flotantes (paneles superficiales)
- 3) Paneles de fondo

Los efectos de estas obras no son siempre definidos. Para desarrollar medidas efectivas aplicables a los ríos Apure y Portuguesa, es necesario utilizar ensayo y error en el laboratorio y pruebas de prototipos.

5.5.6 Protección de las Márgenes

Debido al movimiento lateral de los cauces de los ríos y a la fuerza erosiva, pueblos y caseríos, tierras de cultivo, vías públicas, puentes y otras instalaciones en el río tales como diques y estacadas sufren daños.

Al planificar las medidas para proteger las márgenes del río contra la erosión debida a la corriente, las contramedidas deben ser discutidas siguiendo las siguientes directrices fundamentales, y la medida apropiada debe ser seleccionada considerando su viabilidad técnica y económica:

- 1) Obras de revestimiento: Para proteger directamente la pendiente de la margen contra la erosión de la corriente, cubriendo el talud.
- 2) Estacadas: Para guiar la corriente principal del río, protegiendo las márgenes del mismo contra erosión por medio de una serie de estacadas.
- 3) Obras para realinear el cauce del río: Para realinear el cauce del río y proteger la margen, en la sección siguiente se han presentado obras para mejorar la alineación del canal existente o canales de corte.
- 4) Traslado de instalaciones: Para trasladar instalaciones tales como vías y edificaciones en sitios que presentan erosión.

En esta sección, se discuten los principios de diseño para obras de revestimiento y estacadas. Se espera que estas obras estabilicen el cauce de los ríos evitando el movimiento lateral del cauce del mismo. Además de lo de anterior, se presentarán aquí obras para construir hileras de álabes para controlar el movimiento lateral de sedimentos.

(1) Obras de revestimiento

Las obras de revestimiento apuntan a la protección directa del talud de la margen contra la erosión. Las obras de revestimiento están planeadas para las márgenes del río erosionadas debido al ataque de la corriente de agua y de las mismas en los lugares donde hay estructuras tales como esclusas y compuertas.

Las obras de revestimiento consisten generalmente en la protección del talud, cimentación y obras para protección de bases.

Obras para protección del talud

Las obras para protección del talud son la parte principal de las obras de revestimiento, para evitar que el talud de la margen sea erosionado por la corriente de agua y que sea dañado por materiales flotantes tales como troncos. Existen varios tipos de obras de protección de taludes como se indica a continuación:

- 1) Bloques de piedra y concreto (tipo seco y húmedo): Para taludes pronunciados en ríos de tamaño medio y pequeño.
- 2) Pavimentación con bloques de piedra y de concreto (tipo seco y húmedo)
- 3) Pavimentación con bloques de concreto
- 4) Pavimentación con bloques de concreto interconectados: Generalmente para obras temporales
- 5) Pavimento de gabiones: Generalmente para obras temporarias

Los tipos de protección de taludes deben ser seleccionados de acuerdo con el tamaño del río, las condiciones del canal, la inclinación del talud de las márgenes, los tipos de suelo, etc.

Obras de cimentación

Las obras de cimentación son la base para soportar y estabilizar las obras de protección del talud. El tipo de obra de cimentación es seleccionado de acuerdo con el tipo de suelo de apoyo, las condiciones de trabajo y las del río.

Si el suelo base es firme y estable, los cimientos pueden ser colocados directamente sobre el lecho del río. Si el suelo base es blando, es necesario plantar pilotes o tablestacas.

Obras de protección de la base

Las obras de protección de la base deben ser realizadas en las obras de revestimiento contra la erosión que pueda ocurrir al pie del revestimiento ocasionada por el ataque directo de la corriente y otras causas.

Las obras de protección de la base apuntan a estabilizar las obras de cimentación y concordar con las obras de protección de taludes reduciendo la velocidad de la corriente y evitando la erosión en la base del revestimiento. Las fallas de las obras de revestimiento ocurren frecuentemente debido a fallas de la cimentación. El papel que juegan las obras de protección de la base es muy importante.

Las obras de protección de bases deben resistir la fuerza de tracción de la corriente, ser durables y deben ajustarse a las fluctuaciones del lecho del río. Por lo tanto las obras de protección de bases deben ofrecer la flexibilidad, resistencia y peso apropiados.

Abajo se muestran las obras típicas de protección de bases. Las obras deben ser seleccionadas de acuerdo con las características y condiciones del río:

- 1) Adoquinado
- 2) Rejilla de madera
- 3) Canastas de piedra
- 4) Bloques de concreto
- 5) Bloques de concreto deformado
- 6) Estacadas

(2) Obras de espigones

Las obras de espigones son planeadas para la protección de márgenes y la regularización de ríos. Los espigones para cauces de pendiente suave como el río Apure son discutidos a continuación.

Las obras de espigone funcionan principalmente como:

- 1) Para reducir la velocidad del flujo cerca de las margenes, aumentando la fricción contra el flujo.
- 2) Para cambiar la dirección del flujo y proteger el lado del epigon que forma la estela.

El tipo de espigón debe ser seleccionado dependiendo del propósito y considerando del alineamiento y la sección transversal del cauce del río, caudal, nivel de agua, materiales del lecho, fluctuaciones del lecho, etc.

Los espigones son clasificados en los tipos permeables e impermeables, y desbordados y no desbordados. El efecto de espigones impermeables y no desbordados es grande, pero la fuerza del flujo que actúa sobre los espigones también es grande. La fuerza del flujo puede causar más grandes erosiones y dañar la estructura de espigones.

En ríos de pendiente suave, el tipo de espigones permeables tales como pilas de espigones y tipo impermeable bajos son comúnmente adoptados.

(3) Obras de Hileras de Alabes

Las obras de hileras de álabes procuran mejorar derredores localizados en las curvas con meandros y desviar la línea de máxima pendiente hacia el centro del río, manteniéndola a cierta distancia desde los bordes.

Las obras de hileras de álabes entran en la misma categoría que los paneles de fondo los cuales han sido puesto en práctica desde finales del siglo XIX. En la década de 1980s Odgaard y colaboradores realizaron estudios basados en la teoría de flujo secundario en secciones con meandros y usaron el término "Hileras".

Recientemente Fukuoka y colaboradores propusieron el método de diseño de obra de hileras de álabes basados en experimentos de laboratorio y modelos implementados en algunos ríos de Japón. El método podría ser aplicable para curvas con meandros deo río Apure, a pesar de que las obras implementadas en el campo son aún limitadas.

Las obras de hileras de álabes consiste en la instalación de hileras álabes en el lecho del río. Los álabes están compuestos por pilotes cilíndricos y álabes trapezoidales.

La altura del álbes debe ser de $1/4$ a $1/3$ de la profundidad promedio del cauce, y la profundidad que el álabes debe penetrar dentro en la tierra debe ser determinada sobre la base a la posibilidad de erosión a su alrededor y a su estabilidad en condiciones normales y crecidas de cauda.

Las hileras de álabes deben ser colocadas guardando una distancia equivalente a $1/5$ o $1/4$ ancho desde los bordes exteriores del río.

5.6 Formulación del Plan para Estabilización del Cauce

5.6.1 Principios

Basándonos en las discusiones efectuadas en la subsección siguiente, resultaron los siguientes principios para la formulación del plan para estabilización del canal:

- 1) **Mejoramiento del flujo del Apure superior:** Se debe implementar el canal de desvío Caparo-Uribante Viejo. Las obras relacionadas con represas no están incluídas ya que no se propusieron nuevas represas, y que el agua liberada será utilizada para la generación de energía eléctrica.
- 2) **Mejoramiento del flujo del Apure medio:** El esquema de canal de derivación Guanare-Masparro ha sido descartado, ya que sus efectos hidráulicos son pequeños en la etapa inicial y sobretodo que se reducirán aún más en el futuro debido al aumento de la demanda de agua para irrigación.
- 3) **Mejoramiento del flujo del Portuguesa superior:** Es necesario implementar el dique de la margen derecha del río Portuguesa superior dentro del alcance del plan para control de inundaciones. El canal de derivación Cojedes-El Frasco no será considerado en el estudio actual, pero puede ser incorporado en el futuro para mejorar la capacidad de navegación en el plan maestro después de examinar su viabilidad económica. Por lo tanto, las obras de mejoramiento del canal serán las medidas principales en el futuro inmediato para el mejoramiento del río Portuguesa.
- 4) **Es necesario implementar el tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal en los sitios Chirel, Bravo y Garzas,** lo cual será efectivo para la estabilización de la bifurcación, mientras que el tratamiento del sitio Bravo/Garzas, será también efectivo para el mejoramiento del flujo del río Apure principal. Sin embargo, estas medidas necesitan de estudios más detallados y de investigación de canales, instalaciones y medio ambiente.
- 5) **Normalización de la alineación del canal:** La realineación y cortes de meandros serán las medidas principales para las secciones con radios críticos de curvatura en los tramos con meandros pronunciados.
- 6) **Mejoramiento de la sección del cauce:** El tratamiento de islas y el dragado del canal serán las medidas principales. Las otras obras de mejoramiento para la

sección del cauce tales como regulación del cauce y obras provisionales serán adoptadas gradualmente dependiendo del progreso de medidas para desarrollo acumulando tecnología y experiencia a través de las pruebas de modelos hidráulicos en el laboratorio y de prototipos en el río Apure.

5.6.2 Obras del Proyecto

Se consideraron tres (3) etapas para los planes de estabilización de cauce, estas son: plan a corto, medio y largo plazo.

El plan a corto plazo apunta a la realización del siguiente objetivo físico:

- 1) Río Apure: Para obtener ocho (8) meses de navegación desde la boca del río hasta el puerto San Fernando (St-A1), y siete (7) meses de navegación desde el puerto San Fernando al puerto Santos Luzardo (St-A2, A3 y A4).
- 2) Río Portuguesa: Para obtener ocho (8) meses de navegación desde el puerto San Fernando al puerto El Baúl (St-A2, P1 y P2).

El plan a corto plazo incluye las siguientes obras:

- 1) Obras para canales de derivación: Canal de derivación Caparo-Uribante Viejo con liberación de agua de la planta hidroeléctrica La Vultosa en la etapa de desarrollo inicial.
- 2) Tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal: Sitios Chirel, Bravo/Garzas
- 3) Obras para normalización de alineación: Para curvas críticas con $R_c < 320$ m. para el río Apure y con $R_c < 150$ m. para el río Portuguesa
- 4) Obras para mejoramiento de la sección del cauce: Para obtener ocho (8) meses de navegación para St-A1, A2, P1 y P2, y 7 meses de navegación para St-A3 y A4.

El plan a mediano plazo apunta a la realización de los siguientes objetivos físicos:

- 1) Río Apure: Obtener nueve (9) meses de navegación desde la boca del río hasta el puerto San Fernando (St-A1), y ocho (8) meses de navegación desde el puerto San Fernando al puerto Santos Luzardo (St-A2, A3 y A4).

- 2) Río Portuguesa: Obtener nueve (9) meses de navegación desde el puerto San Fernando hasta el puerto El Baúl (St-A2, P1 y P2).

El plan a mediano plazo incluye las siguientes obras:

- 1) Mejoramiento del flujo por medio del canal de derivación Caparo-Uribante Viejo con liberación de agua en la planta hidroeléctrica La Vueltoza en la etapa final de desarrollo.
- 2) Obras para normalización de la alineación: Para curvas críticas con $Rc < 560$ m. para el río Apure y con $Rc < 240$ m. para el río Portuguesa.
- 3) Obras para mejoramiento de la sección del cauce: Para obtener nueve (9) meses de navegación para St-A1, A2, P1 y P2, y 8 meses de navegación para St-A3 y A4.

El objetivo físico del plan a largo plazo debe ser discutido en línea con el plan maestro de navegación a ser preparado. Las obras del canal para realizar el objetivo físico del plan a largo plazo, serán principalmente las obras para mejoramiento de la sección del canal.

Los objetivos físicos mencionados de los planes serán puestos en consideración en relación a los meses navegables existentes y al límite de las obras para mejoramiento del canal en la etapa actual. El límite de las obras para mejoramiento del canal fueron asumidas como el 10% de la longitud total del canal y son tomadas como el objetivo físico del plan a mediano plazo. El objetivo físico del plan a corto plazo fue establecido entre ellos como obras intermedias.

Las secciones críticas y las contramedidas de los planes propuestos respectivos están resumidas abajo en la Fig. 5.6.1 para el río Apure, y en la Fig. 5.6.2 para el río Portuguesa.

5.6.3 Estimación de Costos

El costo del proyecto fue estimado al nivel de precios de febrero de 1993. El monto del costo del proyecto fue expresado en US\$ utilizando la tasa de cambio de febrero de 1993, como sigue:

US\$1 = Bs 82 = ¥119,72; B\$ 1 = ¥1,46

El costo del proyecto estimado para los planes a corto y mediano plazo está mostrado abajo resumidamente. El detalle del informe de costos figura en el Informe de Apoyo (Soporte G)

Obra	Plan de Corto plazo (US\$1.000)	Plan de Mediano Plazo (US\$1.000)	PCP+PMP (US\$1.000)
1) Costo de construcción	40.013	55.576	95.589
a) Obras preparatorias	3.637	5.053	8.690
b) Canal de derivación	3.020	0	3.020
c) Tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal	1.029	0	1.029
d) Normalización de la alineación	20.941	27.813	48.754
e) Mejoramiento de la sección del canal	10.326	21.239	31.565
f) Obras misceláneas	1.060	1.471	2.531
2) Adquisición de tierras	5	2	7
3) Costo de administración	2.001	2.780	4.781
4) Costo de los servicios de ingeniería	6.803	9.448	16.251
5) Contingencias físicas	4.883	6.781	11.664
6) Total	53.705	74.587	128.293

5.6.4 Consideraciones Económicas

La navegación fluvial presenta ventajas por su bajo costo y por la capacidad de transporte de cargas voluminosas. El beneficio de la navegación fluvial será estimado fundamentalmente con base en la reducción del costo de transporte en comparación con el del transporte por tierra, para un período de navegación ampliado por las obras de estabilización del canal.

El efecto del plan de estabilización del canal deberá ser evaluado de acuerdo con el plan maestro de navegación, ya que el plan para estabilización del canal será una parte del plan maestro.

En esta sección se hicieron algunas consideraciones económicas preliminares sobre la estabilización del canal, basadas en los datos de carga y costos de transporte

preparados provisionalmente por PROA. La discusión detallada del aspecto económico será presentada en el Informe de Apoyo: Parte H.

De acuerdo con la evaluación preliminar, la viabilidad económica de los planes a corto y mediano plazo es la siguiente:

Plan	IRR (%)	B/C	B-C (US\$)
Plan a corto plazo	17,7	1,72	38.677
PCP+PMP	13,7	1,46	46.666

Observación: B/C y B-C fueron estimados con una tasa de descuento de 8% al año.

5.6.5 Consideraciones Ambientales

El área de estudio para el plan de estabilización del canal abarca el tramo del río Apure principal que va desde la confluencia del río Orinoco hasta el puerto Santos Luzardo, y en el río Portuguesa desde la confluencia con el río Apure hasta el puerto El Baúl.

La estabilización del canal para la navegación será obtenida por medio del mejoramiento del canal y del flujo. El mejoramiento del canal incluye obras tales como el tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal, normalización de la alineación, mejoramiento de la sección del canal y protección de márgenes.

Los siguientes cambios en el río y en las áreas circundantes producirán los siguientes cambios generales desde la implementación de las obras de estabilización del canal.

Cambios en el flujo del río debido al canal de derivación y a las obras para tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal:

- 1) Debido al dique de cierre el flujo del canal abandonado cesará.
- 2) La corriente se reducirá en el tramo aguas abajo del canal de derivación y aguas abajo de la ramificación con retorno al cauce con dique sumergido.
- 3) El caudal aumentará en el río Apure principal, aguas abajo de la confluencia con el canal de derivación y en la bifurcación de la ramificación con retorno al cauce principal.

Cambios en las márgenes del río debidos a las obras de mejoramiento y protección de márgenes

- 4) Las márgenes del río durante la estación seca pueden trasladarse hacia el centro del río debido a la sedimentación en las estacadas.
- 5) Las márgenes del río serán cubiertas por obras para protección de los taludes.

Cambios en el lecho del río y condición de las márgenes creados por el dragado del cauce y disposición de materiales de dragado:

- 6) El lecho del río bajará y será revuelto por el dragado.
- 7) Las tierras más bajas en las márgenes del río serán llenadas con los materiales resultantes del dragado.

Entre los cambios de arriba ocasionados por las obras de estabilización del canal los puntos 1), 2) y 7) son los más importantes. Los otros puntos tendrán menos impacto sobre el medio ambiente ya que las obras son de pequeña escala y temporales.

En relación a los puntos 1), 2) y 7), es necesario efectuar estudios detallados e investigación en la etapa de diseño sobre los siguientes aspectos pero sin limitarse a los mismos:

- 1) Uso del agua existente
- 2) Condiciones ecológicas existentes
- 3) Identificación de los elementos a ser conservados

Si es necesario, habrá que revisar el plan y el diseño basándose en el estudio y en la investigación, para conservar y/o compensar los derechos de los residentes y del sistema ecológico.

VI. ESTUDIO DEL PLAN DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES

6.1 Generalidades

De acuerdo con el alcance de la obra estipulada en el convenio entre JICA y MARNR, el área actual a ser sujeta al estudio de mitigación de inundaciones es de 22.200 km², estando limitada al sur por el río Apure, y al norte por el río Portuguesa, al este y al norte por el río Masparro como se muestra en la Fig. 6.1.1.

El estudio apunta a la formulación de un plan de mitigación de inundaciones para mitigar los daños producidos por las mismas en el área de estudio y para facilitar la utilización de la tierra.

El área de estudio es amplia y en la actualidad está mayormente en condiciones naturales, de tal manera que transcurrirá un largo período hasta que las obras para control de inundaciones en el área lleguen a un nivel satisfactorio. Debido al duradero control de inundaciones, las condiciones sociales, económicas y ambientales cambiarán, pero es difícil preverlas. Especialmente, los cambios en el aspecto ambiental deben ser cuidadosamente considerados. Un cambio drástico de las condiciones hidráulicas del área resultante de la implementación de las obras para control de inundaciones, producirá un fuerte impacto en el medio ambiente del área.

Por lo tanto, el presente estudio no intenta proponer un plan a gran escala para el control de inundaciones que podría producir un fuerte impacto en el medio ambiente del área. El plan de control de inundaciones a ser propuesto en el estudio actual, será un plan como primer paso hacia obras a largo plazo para control de inundaciones en el área aunadas al desarrollo del área.

Los detalles del estudio de mitigación de inundaciones están en el Informe de Apoyo: Parte F.

6.2 Condiciones Actuales del Area de Estudio

6.2.1 Características Hidráulicas

Las características hidráulicas del área de estudio tales como la dinámica del drenaje, el proceso evolutivo de la inundación, etc., han sido estudiadas varias veces por el MARNR, aunque estos estudios fueron realizados a nivel de distrito, no a nivel de río. Entre los estudios el que trata sobre el exceso de agua en los llanos occidentales, suministra datos precisos para el estudio actual de control de inundaciones.

De acuerdo con los informes de estudio publicados hasta el momento, las características hidráulicas del área de estudio quedan perfiladas por medio de los siguientes datos:

- 1) Área usualmente inundada
- 2) Comportamiento del agua superficial
- 3) Características de flujo de los ríos en y alrededor del área de estudio
- 4) Posibilidad de solución de los problemas de drenaje
- 5) Capacidades actuales de descarga de los ríos, en y alrededor del área de estudio.

El área que se inunda habitualmente está mostrada en la Fig. 6.2.1, y está clasificada en tres categorías dependiendo de la causa. El área total inundada es de 11.200 km², lo que corresponde al 53% del área de estudio. La inundación causada por el desborde de los ríos está distribuida a lo largo de los ríos Portuguesa, Guanare y Apure, que son los ríos principales del área de estudio.

La Fig. 6.2.2 muestra las direcciones de flujo del agua superficial en el área de estudio. Estas están divididas básicamente en tres grupos que son de noroeste a sureste, de oeste a este y de noroeste a suroeste, por dirección. Los puntos de desborde principales observados en los tramos del río entre Guanarito y Arismendi en el río Guanare, y corta distancia aguas abajo de Bruzual en el río Apure.

La Fig. 6.2.3 muestra las características de flujo de los ríos en las cuencas del Portuguesa y del Guanare, incluyendo al área de estudio. Ambos ríos son influenciados hidrológicamente por el escurrimiento de las áreas montañosas aguas arriba hasta sus partes medias. Por otro lado, los tramos aguas abajo están hidráulicamente influenciados por la confluencia de tributarios.

La Fig. 6.2.4 muestra la clasificación de las posibilidades para la solución de los problemas de drenaje en el área de estudio. Las posibilidades están clasificadas en tres categorías, posible, poco posible, casi imposible. Las áreas con poca o sin posibilidad ocupan la mitad del área de estudio. Las áreas con posibilidad están distribuidas en las cuencas superiores y medias y parte en el área de la margen izquierda del río Apure, mientras que en las cuencas inferiores casi no hay posibilidad de solución de los problemas de drenaje.

La Fig. 6.2.5 muestra las capacidades actuales de descarga de los ríos en el área de estudio y en las cuencas adyacentes. Estas fueron estimadas basándose en los datos de las mediciones de las descargas observadas. La capacidad de descarga del río Guanare que fluye en el centro del área de estudio, es pequeña, de aproximadamente 200 m³/seg. y la

del río Portuguesa es pequeña también en comparación con su gran cuenca. La capacidad del río Apure es mucho mayor que la de otros ríos, pero es pequeña aun para el área de su cuenca.

6.2.2 Planes e Instalaciones Existentes para Mitigación de Inundaciones

No se ha preparado aún un plan general para mitigación de inundaciones en el área de estudio. Las instalaciones para control de inundaciones existentes y propuestas son las siguientes.

(1) Diques en el río

1) Diques existentes

En el momento actual se han construído siete (7) diques paralelos a los cauces de los ríos como se muestra en la Fig. 6.2.6.

2) Dique propuesto

Se ha planeado un proyecto de vía férrea para que pase sobre la margen derecha del río Portuguesa como se muestra en la Fig. 6.2.6. Para proteger la vía férrea contra el desborde del río Portuguesa, se ha planeado un dique a la orilla del río a lo largo de la vía férrea.

(2) Represas

1) Represas existentes

Aguas arriba del área de estudio se han construído hasta el momento siete (7) represas. Su ubicación y características principales están mostradas en la Fig. 6.2.7 y en la Tabla 6.2.1, respectivamente.

2) Represas propuestas

Además de las represas existentes arriba mencionadas, se están estudiando varios proyectos para represas en la cuenca del río Portuguesa. Entre ellas se ha propuesto la implementación de dos (2) represas mostradas en la Fig. 6.2.7 y en la Tabla 6.2.1.

(3) Ruta de desagüe de la inundación y canal de derivación

1) Ruta existente para desagüe de la inundación

Existe una ruta de desagüe (Alivio) desde el río Portuguesa al Apurito en Hato Gorrín, 6 km. al norte de San Fernando como se muestra en la Fig. 6.2.8, cruzando el dique- carretera de Camaguán-San Fernando. Esta ruta de desagüe del desborde tiene un ancho de 400 m. pero se estrecha debido a un puente de 120 m. de longitud y no posee canal para aguas bajas. La longitud es de 10 km. y la descarga de diseño es $190\text{m}^3/\text{seg.}$ para una inundación probable de 50 años.

2) Canal de derivación propuesto

Se ha propuesto un canal de derivación en Sombrerito aproximadamente 3 km. al norte del canal de alivio existente, como se muestra en la Fig. 6.2.8. El ancho de este canal es de 400 m. con un canal para aguas bajas de 60 m. de ancho, pero se estrecha debido a un puente de 85 m. de longitud.

6.2.3 Proyectos Existentes y Propuestos

(1) Proyecto existente

La utilización de la tierra en el área de estudio está limitada en este momento debido a problemas de inundación y drenaje. Solamente está en marcha en el área el proyecto de desarrollo agrícola Guanare-Masparro. El sitio del proyecto está situado en una parte más alta del área como se muestra en la Fig. 6.2.9.

(2) Proyecto propuesto

Existen dos proyectos propuestos. Uno es la extensión del proyecto Guanare-Masparro que está siendo considerado y el otro es el proyecto de vía férrea anteriormente mencionado, que está programado para ser implementado en el futuro próximo. Estos están mostrados en las Figs. 6.2.9 y 6.2.6 respectivamente.

6.2.4 Plan Existente para Utilización de la Tierra

El plan existente para utilización de la tierra, y los planes para el ordenamiento de los estados de Barinas, Portuguesa y Cojedes preparados por MARNR, están mostrados en la Fig. 6.2.9, apuntando a la creación de un futuro desarrollo de los respectivos estados hasta el año 2010. La utilización propuesta de la tierra en el área de estudio es mayormente

para agricultura (cría de ganado). Las áreas a ser preservadas para el uso agrícola están clasificadas en tres categorías, con prioridad alta, media y baja.

Por otro lado, la planicie inundada ocupa 27% del área de estudio (5.700 km² aproximadamente), y las áreas sin uso asignado de la tierra abarcan 29% del área de estudio (6.000 km² aproximadamente).

6.3 Concepto Básico para la Planificación de Mitigación de Inundaciones

6.3.1 Consideraciones Básicas

La inundación en el área de estudio se caracteriza por su extensión y larga duración. El mitigar los efectos de la inundación y aumentar las capacidades de descarga de los ríos dentro del área tiene prioridad. Sin embargo, habrá una concentración de flujo de inundación en el embudo de San Fernando como única salida, colocando a esta ciudad que es la más importante de la región, en una situación peligrosa ya que es difícil aumentar la capacidad de descarga del río Apure en San Fernando en las circunstancias actuales.

Por ello, el método de mejoramiento que produzca la concentración de la inundación en San Fernando, tal como el confinamiento total de las aguas de la inundación con diques o ampliando los cauces actuales del río, no será apropiado para el presente estudio.

Por otro lado, la inundación contribuye a la vida de los habitantes del área como fuente de agua, aunque cause daños. Por esta razón, el drenaje adecuado de la inundación aguas abajo o hacia fuera del área de estudio no es siempre apropiado. También es importante considerar el aspecto ambiental ya que el área de estudio está en su mayoría en condiciones naturales.

Por ello, el plan de control de inundaciones a ser propuesto en este estudio deberá cambiar las condiciones de la inundación y regular el desborde por medio del retardo.

6.3.2 Procedimiento para la Planificación

El plan propuesto para mitigación de inundaciones será formulado mediante los siguientes procedimientos:

- 1) Selección del área de protección
- 2) Selección del diseño a escala del plan
- 3) Selección de las medidas posibles

- 4) Formulación de planes alternativos
- 5) Estudio de los planes alternativos
- 6) Consideraciones ambientales
- 7) Determinación del plan propuesto para control de inundaciones

6.3.3 Area de Protección

El presente estudio para mitigación de inundaciones no designa ningún sitio o área para su protección especial. El área de protección por el plan propuesto para mitigación de inundaciones debe ser seleccionado tomando en consideración las condiciones actuales del área de estudio explicadas en la sección anterior.

En el estudio, la selección fue hecha aplicando el criterio que en el área de protección debe haber posibilidades para la solución de los problemas de drenaje y para la asignación de la utilización de la tierra en el futuro.

Consecuentemente, se seleccionaron como áreas de protección las siguientes cuatro (4) áreas mostradas en la Fig. 6.3.1.

- 1) Area "A": Area que se extiende a lo largo de la margen derecha de Caño Igues
- 2) Area "B": Area que se extiende a lo largo de la margen derecha del río Guanare
- 3) Area "C": Area que se extiende a lo largo de la margen izquierda del río Apure
- 4) Area "D": Ciudad de San Fernando y área circundante

El área "D" fue seleccionada ya que las obras para mitigación de inundaciones para las áreas "A", "B" y "C" aguas arriba, pueden influenciar el área y también aumentar el grado de seguridad contra las inundaciones, siendo necesario proteger contra las mismas a la ciudad de San Fernando.

Estas áreas de protección son el objetivo de la planificación para mitigación de inundaciones y por lo tanto sus límites son aproximados y sujetos a cambios dependiendo del lugar y de los efectos de los planes.

6.3.4 Escala de Diseño del Plan

Como se mencionó anteriormente, la mayoría del área de estudio está sujeta a inundaciones y a problemas de drenaje. De acuerdo con el plan de ordenamiento a nivel de estado preparado por el MARNR para el año 2010, casi la mitad del área de estudio permanecerá sin ser utilizada y una parte de la misma está designada como llanura para retardo de la inundación.

Para tal área, un diseño de inundación de gran escala puede no ser apropiado para la planificación ya que requiere instalaciones de gran tamaño para mitigación de inundaciones y el proyecto propuesto sería costoso.

Por lo tanto se empleó un período de retorno de 10 años como escala de diseño del plan, lo cual es comunmente aplicado en el área rural de Venezuela. Las precipitaciones de diseño con un período de retorno de 10 años corresponden al 96% de las precipitaciones de 1981 que son las mayores registradas en el área de estudio.

6.3.5 Medidas Posibles

Las medidas posibles para la planificación actual de mitigación de inundaciones serán las siguientes:

- 1) Diques
- 2) Canal de derivación
- 3) Embalse moderador (natural y artificial)
- 4) Represas
- 5) Ensanchamiento y profundización del canal actual del río

La aplicabilidad de las medidas de arriba será estudiada en forma preliminar en la sección siguiente.

6.4 Formulación del Plan para Control de Inundaciones

6.4.1 Estudio Preliminar para la Planificación

(1) Distribución de gastos probables

Las distribuciones de los gastos pico probables de los ríos ubicados en la cuenca del río Portuguesa con un período de retorno de 10 años, excluyendo el área sujeta a los cálculos de inundación, están mostrados en las Figs. 6.4.1 a 6.4.3 para las siguientes tres condiciones.

- 1) Sin represas
- 2) Con las represas existentes (condición actual)
- 3) Con las represas existentes y las propuestas

(2) Balance hídrico en la cuenca del río Apure

El balance hídrico en la cuenca del río Apure está estimado aproximadamente como lo muestra la Fig. 6.4.4 referido a los escurrimientos en 1976 y 1981.

La afluencia hacia el área de estudio desde la cuenca del río Portuguesa superior es de aproximadamente $20 \times 10^9 \text{ m}^3$ y el volumen de lluvia en el área de embalse es de $51 \times 10^9 \text{ m}^3$ en 1981. En el área modelo de embalse, el 70% de la afluencia y de las precipitaciones son descargadas por el río Apure a través del embudo de San Fernando y el 30% restante se pierde por evapotranspiración, etc. en el área.

(3) Posibilidad de diques en ambas márgenes del río

Es una práctica común el confinar la corriente de desborde del canal del río por medio de la construcción de diques en ambas márgenes del mismo. Sin embargo, en el caso del área de estudio el método puede ser inadecuado debido a la gran inundación fuera del canal del río.

Para conocer la influencia del confinamiento del agua de desborde del canal del río, se efectuó el cálculo del escurrimiento de la inundación bajo las siguientes condiciones.

- Sin inundación
- Sin mejoramiento del canal actual del río
- Con una profundidad de agua del nivel de aguas altas de 2 m. aproximadamente

El resultado del cálculo para la inundación de 1981 está mostrado en la Fig. 6.4.5. El caudal pico en Camaguán en el río Portuguesa es de $6.800 \text{ m}^3/\text{seg.}$ para un ancho de canal de 10 km. en el tramo aguas abajo.

La capacidad máxima actual de descarga del río Apure en San Fernando es $6.900 \text{ m}^3/\text{seg.}$ con el agua al tope de las márgenes y es difícil aumentar tal capacidad, por ello el plan de control de inundación que confina el agua de desborde del canal del río no es apropiado.

Por eso, puede ser mejor construir un dique en una sola margen para regular suavemente la corriente de la inundación. Afortunadamente, el área de estudio presenta una inclinación leve de norte a sur y también de oeste a este, siendo conveniente topográficamente construir un dique de un solo lado.

(4) Efecto de las represas

Como se muestra en las distribuciones de descargas pico probables mostradas en las Figs. 6.4.1 a 6.4.2, existen seis (6) represas exceptuando la de Boconó-Tucupido, y las dos (2) represas propuestas casi no producen ningún efecto en el área de estudio debido a su ubicación, como se muestra en la Fig. 6.2.2.

Este hecho es confirmado a través de los siguientes datos:

- | | | |
|--|---|--|
| 1) Area de captación del río Portuguesa | : | 54.400 km ² |
| 2) Embalse total de la represa | : | 10.960 km ² |
| 3) Escurrimiento total (período de retorno de 10 años) | : | 71 x 10 ⁶ m ³ |
| 4) Capacidad total de almacenamiento efectivo | : | 6.325 x 10 ⁶ m ³
(9% del escurrimiento total) |
| 5) Capacidad total de control de la inundación | : | 797 x 10 ⁶ m ³
(1% del escurrimiento total) |

Además de esto, el efecto de las dos (2) represas planeadas en los ríos Portuguesa y Guanare fueron evaluadas como ubicadas un poco aguas arriba de las áreas de protección "A" y "B" respectivamente.

- 1) Represa Vega Honda
 - Ubicada en el río Portuguesa, un poco aguas arriba del área de protección "A"
 - Area de captación 730 km²
 - Capacidad de control de inundación 165 x 10⁶ m³
 - Caudal de descarga pico de 300 m³/seg. a 90 m³/seg.
(período de retorno de 10 años)
- 2) Represa Mesa de Cavaca
 - Ubicada en el río Guanare, aguas arriba del área de protección "B"
 - Area de captación de 1.319 km²
 - Capacidad de control de inundación 279 x 10⁶ m³
 - Caudal de descarga pico de 1.500 m³/seg. a 250 m³/seg.
(período de retorno de 10 años)

Ambas represas son bastante efectivas para la reducción del pico de la inundación ya que están cerca del área de protección. Sin embargo la represa Vega Honda ha sido considerada como no viable en este momento y la represa de Mesa de Cavaca está siendo considerada pero no hay programación para su implementación.

(5) Aplicabilidad del módulo tipo Apure

Como se mencionó anteriormente, la conservación de los recursos hídricos en el área de estudio es otro aspecto importante así como lo es el control de las inundaciones. El módulo tipo Apure es una de las medidas posibles para el mencionado propósito.

De acuerdo con el estudio del MARNR, el tamaño usual del módulo Apure es el mostrado en la Fig. 6.4.6. La profundidad máxima del agua es de 1,4 m. El intervalo de los diques transversales es de 8 km., mientras que la inclinación del terreno ha sido calculada en 1/3.000 a 1/4.000.

La Tabla 6.4.1 muestra la relación entre la inclinación del terreno, la capacidad de almacenamiento y el costo. El costo unitario del módulo es naturalmente más barato para la inclinación más suave del terreno. La capacidad de almacenamiento es un poco reducida para almacenar el volumen de precipitaciones de diseño con un período de retorno de 10 años, aunque el módulo almacena casi el 90% de este período de retorno en el área encerrada por el módulo.

De acuerdo a un diagnóstico sobre el comportamiento los módulos existentes, se ha notado una serie de fallas en los aspectos de tipo constructivo y operativo, que son susceptibles de corrección.

El módulo tipo Apure posee la ventaja de almacenar agua para la estación seca y produce beneficios en la cría semi-intensiva de ganado, de tal manera que debe ser introducido para propósitos de desarrollo. El área adecuada para el módulo tipo Apure tiene una inclinación de terreno de 1/3.000 - 1/4.000 se muestra en la Fig. 6.4.7. Esta limitación de pendiente del terreno hace que los Modulo de Apure no sean aplicables en ciertas áreas.

(6) Posibilidad de ensanchamiento y profundización del cauce actual del río

Para reducir la inundación del área de estudio, se tomará básicamente en cuenta el aumento de las capacidades de descarga de los ríos dentro del área de estudio tales como el Portuguesa y el Guanare.

El ensanchamiento y profundización de los cauces actuales de los ríos son un método común para aumentar la capacidad del canal, pero no serán empleados en el estudio actual debido a las razones siguientes.

- La concentración de la inundación aguas abajo, se acumula en San Fernando, pero es difícil aumentar la capacidad del río Apure en San Fernando.
- El ensanchamiento romperá la estabilidad del canal resultando en la pérdida de los bosques a lo largo de las márgenes en algunos tramos. También, el ensanchamiento resultará en una reducción de la profundidad del agua en el río Portuguesa, lo cual influenciará enormemente la navegación en el mismo.
- La profundización por medio de la excavación del lecho o por el dragado, no es apropiada ya que el canal existente es estrecho y el ensanchamiento es inevitable. También, la inclinación del lecho del río es muy suave en los tramos corriente arriba, de tal manera que el efecto de la profundización puede ser pequeño.

6.4.2 Formulación de Planes Alternativos

Los planes alternativos para el control de las inundaciones son formulados en la forma mencionada a continuación, basándose en los resultados de los estudios preliminares. Primeramente, se formulan los planes alternativos para las áreas de protección respectivas y se integran los mejores planes respectivos para el plan de mitigación de inundaciones propuesto.

(1) Area de protección "A"

La consideración básica es hecha como sigue:

- 1) Las medidas posibles para proteger el área "A" (ver Fig. 6.3.1) son:
 - a) Dique contra el desborde y
 - b) Represa para corte del pico de la inundación

Sin embargo, no existen represas propuestas o viables efectivas para la protección del área "A". Por ello se descarta la represa.

- 2) El área de protección y el área adyacente entre el río Portuguesa y Caño Igües fueron aproximadamente divididas en dos partes de acuerdo con la inclinación del terreno. La inundación de larga duración ocurre en el área aguas abajo de Nueva Florida, debido a la pendiente muy suave de 1/10.000 aproximadamente (a lo largo del lecho del río).

- 3) El Caño Igües es un río con cuenca interna y el volumen de escurrimiento es mucho menor que el del río Portuguesa. Por lo tanto, una gran parte del agua de la inundación proviene del río Portuguesa.
- 4) La primera idea para la mitigación de inundaciones es un dique en la margen alta del río Portuguesa para evitar directamente el desborde del río Portuguesa, aunque el desborde de la margen izquierda aumentará debido a la reducción del área de inundación.
- 5) La vía férrea propuesta está planificada para pasar en la margen derecha del río Portuguesa y se construirá un dique para proteger la vía férrea del desborde del río Portuguesa. Este plan compite parcialmente con el plan de construcción de diques arriba mencionado.

Basándose en las consideraciones básicas se formularon los siguientes tres (3) planes alternativos mostrados en la Fig. 6.4.9.

- 1) Plan A1: Dique en la margen derecha del río Portuguesa (187 km. de longitud)
- 2) Plan A2: Dique en la margen derecha de Caño Igües (190 km. de longitud)
- 3) Plan A3: Dique en la margen derecha del río Portuguesa y en la margen izquierda de Caño Igües (185 km. de longitud)

(1) Area de protección "B"

Las consideraciones básicas fueron efectuadas de la siguiente manera:

- 1) Las medidas posibles para proteger el área "B" (ver Fig. 6.3.1) son:
 - a) Dique contra el desborde
 - b) Represa para corte del pico de la inundación y
 - c) Mejoramiento de los cauces actuales de los ríos

No hay represas propuestas o viables efectivas para la protección del área "B" más que la represa Boconó-Tucupido. Por ello se descarta el plan de represas.

- 2) El área presenta una inclinación del terreno de 1/1.000 a 1/2.000 y el límite norte de la misma es el río Guanare. El desborde del río Guanare ocurre en los tramos aguas abajo de la confluencia del río Boconó y el agua desbordada penetra fácilmente en el área.
- 3) Se está considerando un dique en la margen derecha de los ríos Boconó y Guanare para evitar el desborde de éste último. El dique se extiende desde Veguitas al sureste de La Hoyada. En la sección aguas abajo, el dique se desvía del cauce del río para minimizar el efecto sobre el refugio de flora y fauna Chirguare ubicado justo aguas abajo.
- 4) En esta área, la inundación producida por las lluvias locales es grave. Se está considerando el mejoramiento de los canales principales de los ríos existentes para reducir la mencionada inundación. Los ríos principales en el área son el Guanare Viejo, Caño Chorroco y Caño La Aguada.
- 5) El río Guanare Viejo fluye a través de la porción este del área y el Caño La Aguada parcialmente en la parte oeste. Por otro lado, gran parte del área a lo largo de Caño Chorroco está excluida del área para utilización de la tierra debido a la dificultad de drenaje.
- 6) El área a lo largo de Caño Chorroco está funcionando actualmente como embalse moderador para el escurrimiento del área "B", y no se le ha asignado utilización de la tierra, de tal manera que debe permanecer tal cual está. Mientras que Caño La Aguada abarca la mitad inferior oeste del área y es por ello el efecto del mejoramiento será pequeño.

Basándose en las consideraciones básicas, se formularon los siguientes tres (3) planes alternativos mostrados en la Fig. 6.4.10.

- 1) Plan B1: Dique en la margen derecha del río Guanare (145 km. de longitud)
- 2) Plan B2: Dique en la margen derecha del río Guanare (145 km. de longitud), y mejoramiento del río Guanare Viejo (95 km. de longitud)

De acuerdo con la capacidad del río Guanare Viejo, este plan está dividido en los dos casos siguientes:

Plan B2A: El ancho y la profundidad propuestos para el río Guanare Viejo es de 25 m. y 3m. respectivamente (con capacidad para 200 m³/seg. aprox.)

Plan B2B: El ancho y la profundidad propuestos para el río Guanare Viejo es de 50 m. y 3 m. respectivamente (con capacidad para 100 m³/seg. aprox.)

(3) Area de protección "C"

Las consideraciones básicas fueron efectuadas de la siguiente manera:

- 1) Las medidas posibles para proteger el área "C" (ver Fig. 6.3.1) son:
 - a) Dique contra el desborde
 - b) Módulos tipo Apure para proteger algunas áreas específicas
- 2) El área está en su mayor parte localizada en el mini-aliviadero de la depresión del Apure y posee una inclinación muy suave de 1/4.000 a 1/10.000. La capacidad de descarga del río Apure se reduce en los tramos cercanos a El Chinal y el desborde ocurre allí. El tramo aguas arriba del área es influenciado por el desborde del agua.
- 3) El area está menos afectada por la intervención humana que las areas "A" y "B" y por eso las consideraciones ecologicas, tales como conservación de areas inundadas, etc. es tambien importante.
- 4) Se ha propuesto el dique sobre la margen izquierda del río Apure para evitar el desborde del mismo. El dique se extiende desde Puerto de Nutrias hasta el extremo corriente abajo del área (Samanal).
- 5) Como plan alternativo, se considera la limitación del dique dentro de la sección de desborde desde Puerto de Nutrias hasta Apurito para reducir el costo aunque la influencia del dique pueda limitarse a la porción aguas abajo del área.
- 6) Esos planes alternativos deben ser evaluados después de completar estudios más detallados en los aspectos hidraulicos, geomorfologicos y ambientales necesarios para confirmar la factibilidad de el dique en la margen izquierda del rio Apure. Si el dique resultare ser no factible, entonces se aplicara los

Modulos de Apure.

Basándose en las consideraciones básicas, se formularon los siguientes tres (3) planes alternativos mostrados en la Fig. 6.4.11.

- 1) Plan C1: Dique en la margen izquierda del río Apure, desde Puerto de Nutrias hasta Samanal (155 km. de longitud)
- 2) Plan C2: Dique en la margen izquierda del río Apure desde Puerto de Nutrias hasta Apurito (105 km. de longitud)
- 3) Plan C3: Módulos tipo Apure en sectores distintos a los áreas humedales objeto de protección ambiental.

(4) Area de protección "D"

Las consideraciones básicas fueron efectuadas de la siguiente manera:

- 1) El propósito del control de inundación para el área "D" (ver Fig. 6.3.1) es aumentar el grado de seguridad contra la inundación para realizar el control de inundaciones en las áreas "A", "B" y "C". Las medidas posibles son:
 - a) Ensanchamiento del canal actual del río Apure
 - b) Construcción de un canal de derivación para aliviar la carga del río Apure
 - c) Construcción de un embalse moderador para regular la concentración de la inundación en el embudo San Fernando
 - d) Aumentar la altura del dique existente que rodea San Fernando y
 - e) Reducción del nivel del agua en el tramo aguas abajo de San Fernando

El ensanchamiento del canal actual del río Apure es difícil en las condiciones actuales del sitio. El aumento de la altura del dique existente debe ser utilizado cuando no haya otras medidas efectivas ya que no produce un mejoramiento de las condiciones hidráulicas.

El reducir el nivel del agua del río Apure aguas abajo de San Fernando es difícil en la estación de las lluvias ya que la inundación ocurre allí en su totalidad. El corte del meandro es efectivo para reducir el nivel del agua, pero no es aplicable debido a que el tramo aguas abajo de San Fernando es casi recto con una longitud de 20 km. aproximadamente.

- 2) El plan de mitigación de inundaciones para las áreas "A" y "B" puede no afectar mucho el área "D" ya que existe una gran área natural de moderación entre las áreas "A", "B" y "D". Mientras que la construcción de un dique en la margen izquierda del río Apure para proteger el área "C" puede influenciar San Fernando ya que el nivel del agua del canal del río aumentará.
- 3) La construcción de un canal de derivación del Portuguesa hasta Apurito es adecuada para aumentar la capacidad de descarga del embudo San Fernando como lo planeó MARNR, considerando la dificultad para aumentar la capacidad de descarga.
- 4) Un embalse moderador es esencial para regular el escurrimiento necesario para evitar la concentración de inundación en el embudo San Fernando. Las llanuras de inundación en los planes de ordenamiento deben ser mantenidas como embalses moderadores naturales. Además de esto, el módulo tipo Apure puede contribuir a una moderación más efectiva que el embalse moderador artificial ya que almacena la mayor parte de las precipitaciones en el área de módulos.

Basándose en estas consideraciones se formularon los siguientes tres (3) planes alternativos mostrados en la Fig. 6.4.12.

1) Plan D1: Canal de derivación del Portuguesa al Apurito

Este plan está dividido en los siguientes dos (2) casos.

Plan D1A: Mejoramiento del aliviadero existente

- El vano del puente sea el mismo que el ancho del canal de 400 m.
- El canal para agua de estiaje tiene un ancho inferior de 60 m.

Plan D1B: Mejoramiento del aliviadero existente y canal de derivación propuesto

- Las mismas dimensiones que el Plan D1A.

- 2) Plan D2: Embalse moderador de tipo módulo Apure
- Embalse moderador artificial: Area adecuada para el módulo tipo Apure (ver Fig. 6.4.7)
 - Embalse moderador natural: Llanura de inundación actual restante

(5) Area total

El plan propuesto para mitigación de inundaciones está sujeto al estudio del área total e integrará los planes componentes propuestos para las áreas de protección respectivas como sigue:

Area "A": Plan A1

Area "B": Selección entre los planes B1, B2A y B2B

Area "C": Seleccionó entre los planes C1, C2 y C3

Area "D": Selección entre los planes D1A, D1B y D2 o una combinación de ellos.

6.4.3 Estudio Sobre Planes Alternativos

(1) Estudio hidráulico

Los efectos y las influencias de los planes alternativos respectivos están estudiados desde el punto de vista hidráulico por medio del modelo tipo estanque. Los planes alternativos a ser estudiados están listados en la Tabla 6.4.2.

La Tabla 6.4.3 muestra las profundidades máximas de la inundación por bloques y la diferencia con las condiciones actuales. Los cambios principales de las características de las inundaciones por plan están resumidos en la Tabla 6.4.4.

Los puntos a ser realizados para los planes respectivos son los siguientes:

El plan A1 eleva la profundidad de inundación en el área de la margen izquierda de 40 - 50 cm. aproximadamente.

Los planes B1, B2A y B2B ofrecen casi el mismo resultado. Los efectos del dique y el mejoramiento del canal existente son de 5 cm. y 2 - 5 cm. respectivamente.

Los planes C1 y C2 ofrecen casi los mismos resultados. Aumentan la profundidad de inundación en el área alrededor de la confluencia de Caño Guaritico de aproximadamente 60 cm.

Los planes D1A y D1B tienen un efecto mínimo de 10 - 20 cm. para reducir el nivel de las aguas del río Apure en San Fernando. El plan D2 reduce la profundidad de inundación el área de depresión del Apure en 10 cm. aproximadamente.

(2) Planes propuestos para las áreas de protección respectivas

Basándose en el estudio hidráulico, las consideraciones ambientales, el uso de la tierra, el aspecto socio-económico y en la evaluación económica preliminar, los planes propuestos para las áreas respectivas fueron seleccionados de la siguiente manera.

1) Area "A"

El plan A1 es en realidad el único candidato, pero se propone adoptarlo por las razones mencionadas abajo.

- La profundidad de la inundación de la margen izquierda del río Portuguesa aumenta de 40 - 50 cm. aproximadamente como máximo para las condiciones actuales. Sin embargo el área inundada no se extenderá debido a la topografía. También, no se prevé ningún impacto ambiental grave de acuerdo con la investigación preliminar.
- El terreno entre el río Portuguesa y Caño Igües se vuelve utilizable ya que disminuye la inundación.

Además de lo de anterior el plan A1 incluye los siguientes aspectos.

- El efecto económico es previsible por medio de la utilización del dique como ruta de conexión entre las rutas nacionales no. 5 y no. 8.
- Existe una carretera de 50 km. de longitud entre Villa Maceo - La Aduana - Nueva Florida como se mencionó anteriormente (ver Fig. 6.2.1). Esta puede ser utilizada como dique con algunas mejoras asumiendo una cota mayor que la elevación propuesta para el dique. También, existe una carretera privada de 18 km. de longitud conecta con la ruta nacional no. 8 en la ruta propuesta para el dique. (No existen datos disponibles sobre estas carreteras).

- Una parte de este dique ha sido incorporada en el proyecto de vía férrea antes mencionado, para proteger la misma contra el desborde del río Portuguesa. Esta será construída en un futuro cercano.

El perfil a lo largo del dique está mostrado en la Fig. 6.4.13.

2) Area "B"

Entre las alternativas se seleccionó el plan B1 debido a las razones siguientes:

- El efecto del mejoramiento del río Guanare Viejo es pequeño. El plan B2A reduce la profundidad de la inundación en el área sujeto en 2 cm. solamente en comparación con los planes B1 y B2B que producen 5 cm. Por otro lado, el costo de los planes B2A y B2B es de 2 a 3 veces mayor que el del plan B1.
- El plan B1 también no es muy efectivo para la reducción de la inundación. Esto se debe a la mayor inclinación del terreno. Sin embargo, es esencial evitar el desborde del río Guanare (aprox. 100 m³/seg. como máximo para un período de retorno de 10 años y aprox. 300 m³/seg. como máximo para un período de retorno de 50 años) en el plan actual para mitigación de inundaciones. También, el dique propuesto actuará como carretera de acceso a la parte central del área de estudio con un beneficio económico previsible.
- Es posible que sea necesaria la construcción de una red de drenaje más substancial para obtener un efecto satisfactorio, pero debe ser considerada como parte del proyecto de desarrollo ya que es costosa.

Además de lo de arriba, el plan B1 presenta los siguientes aspectos.

- Utilizando el dique como carretera, el primero funcionará como ruta de acceso hacia la parte central del área de estudio y el efecto económico es previsible.
- El área pertenece al proyecto Guanare Masparro y tiene un gran potencial para el desarrollo agrícola aunque éste no ha progresado todavía debido a la

falta de una red de carreteras y un sistema de drenaje. Considerando otro aspecto, el dique propuesto que funcionará como carretera que contribuirá al desarrollo del área.

- Como se puede apreciar en la Fig. 6.2.1 existen carreteras con una longitud aproximada de 120 km. en total, a lo largo de los ríos Boconó y Guanare sin interrupción. Asumiendo que estas carreteras puedan ser utilizables como dique con algún refuerzo, las obras provisionales para el control de inundaciones pueden ser completadas a un costo mucho menor ya que la longitud del nuevo dique se reduce de 145 km. a 25 km.

El perfil a lo largo del dique está mostrado en la Fig. 6.4.13.

3) Area "C"

Asumiendo que la opción de dique marginal en la margen izquierda del río Apure es viable, el plan C1 es mejor que el plan C2 por las razones mencionadas a continuación.

- Como se puede apreciar en la Fig. 6.4.19, la influencia en San Fernando del dique sobre la margen izquierda del río Apure es casi nula en ambos planes debido a la existencia de un área moderadora en la margen derecha del río Apure aguas arriba de El Samán, y también entre el extremo aguas abajo del dique San Fernando.
- Tanto el plan C1 como el C2 aumentan el nivel del agua del río Apure en 1m. aproximadamente en las condiciones actuales. En el caso del plan C2, esta influencia continúa en los tramos aguas abajo de Apurito, produciendo un desborde en el área (aprox. 300 m³/seg. como máximo para un período de retorno de 50 años).
- El plan C1 puede abarcar toda el área con un dique de 155 km. de longitud, pero el plan C2 abarca la mitad con 105 km. El plan C1 es más económico.

Además de lo anterior, el plan C1 presenta los siguientes aspectos.

- Utilizando el dique como carretera, el primero funcionará como ruta de acceso hacia el área de la margen izquierda del río Apure con un beneficio

económico previsible.

- La viabilidad económica producida por la reducción de la inundación puede no ser muy alta debido a que el uso propuesto para la tierra en el área de protección es la cría de ganado en forma extensiva.
- Los diques existentes están ubicados en Puerto de Nutrias (20 km. de longitud), y en Apurito (10 km. de longitud). Estos pueden ser utilizados como parte del dique propuesto asumiendo que sus cotas son mayores que las del dique propuesto.

El perfil a lo largo del dique está mostrado en la Fig. 6.4.14.

Sin embargo, si como resultado de estudios más detallados se concluyera que los planes C1 y C2 no son factibles, el plan C3 debería ser adoptado para proteger algunas partes específicas del área "C" por medio de Módulos tipo Apure para algunas áreas específicas.

4) Area "D"

De acuerdo con los resultados del análisis hidráulico, ninguno de los planes ofrece un efecto significativo para el aumento de la seguridad contra inundación y no se prevé ninguna influencia perniciosa del plan de control de inundaciones en el área aguas arriba, como se menciona a continuación. Por lo tanto no se propone ningún plan para el área "D".

- La reducción del nivel pico del agua del río Apure en San Fernando por medio de la construcción de un canal de derivación es de 10 - 20 cm. solamente. Esto se debe a la inclinación demasiado suave del terreno de 1/15.000 aproximadamente (ver Fig. 6.4.20). Si el río Portuguesa es utilizado para la navegación a través de San Fernando, este plan no es efectivo. Si toda el agua del río Portuguesa puede ser desviada hacia el río Apurito, el canal de desvío puede ser efectivo.
- Considerando el efecto del canal de desvío, la elevación de los diques existentes que rodean el área será mejor y más económica.
- También, el efecto del embalse moderador por medio del módulo tipo Apure no es efectivo para reducir el nivel pico del agua en San Fernando. Sin

embargo, el embalse moderador será indispensable aún en el futuro considerando las circunstancias actuales en el punto San Fernando. Por otro lado, el embalse moderador natural es menos productivo que otras áreas. Es necesario considerar el uso positivo del embalse moderador. El módulo tipo Apure cumple con el propósito como embalse moderador artificial. Este debe ser introducido desde el punto de vista del desarrollo ya que tiene un efecto positivo al almacenar las precipitaciones.

6.4.4 Consideraciones Ambientales

El plan para cada área de protección propuesto en la sección anterior 6.4.3, se basa en el estudio hidráulico. Sin embargo, el aspecto ambiental es también importante ya que el área de estudio está en su mayoría en condiciones naturales actualmente.

En el presente estudio se efectuó un estudio y una investigación ambiental preliminar y los resultados están descritos en el Informe de Apoyo: Parte I. De acuerdo con los resultados del estudio, no se prevé ningún impacto ambiental significativo pero es necesario efectuar un análisis detallado del impacto ambiental mencionado en el Reporte de Apoyo: Parte-I para llegar a conclusiones definitivas.

Entre las áreas protegidas por los diques respectivos, se observó la siguiente diferencia en las condiciones ambientales generales.

En el área protegida por el dique sobre la margen derecha de los ríos Portuguesa y Guanare (áreas "A" y "B", respectivamente), la intervención humana ha causado un impacto físico en la naturaleza y por ello los diques propuestos no causarán un impacto ecológico importante, sino que promoverán la consolidación del desarrollo agropecuario existente protegiendo el área contra el desborde de los ríos.

Por otro lado, el área de protección "C" protegida por el dique sobre la margen izquierda del río Apure presenta una intervención humana menor que las áreas "A" y "B". Por eso, el impacto ambiental del dique debe ser analizado antes de su construcción.

Si la construcción del dique no es autorizada por razones ambientales, el plan para proteger áreas específicas por módulos tipo Apure, debe ser considerado como alternativo del dique continuo a lo largo del río.

En relación a la influencia en áreas específicas debido a la construcción del dique, se hicieron las siguientes consideraciones.

(1) Dique para el río Portuguesa

El área de inundación en la margen izquierda del río entre Nueva Florida y la ruta nacional 8 aumentará debido a este dique.

Este cambio probablemente causará un cambio local en la distribución espacial de la capa de vegetación y también en la proporción del espacio ocupado por la vegetación. Sin embargo, como las inundaciones son un fenómeno bastante común en el área, su efecto no será grave para las plantas y animales del área. La mayoría de ellos cambiará el patrón de distribución local para adecuarse a los cambios.

En relación al cocodrilo del Orinoco que habita en esta zona, no se espera ninguna influencia ya que el plan de mitigación de inundaciones es efectivo sólo para la estación lluviosa.

(2) Dique para el río Guanare

La preocupación más importante es la influencia sobre el refugio de fauna Chirigüare. De acuerdo con el estudio hidráulico, este dique no causa casi ningún cambio en la inundación, por ello no se prevé ninguna influencia.

(3) Dique para el río Apure

Proximidad del refugio de fauna Caño Guaritico que es un área de reproducción para el cocodrilo del Orinoco. La playas arenosas debe ser garantizada durante la estación seca. Como el plan para mitigación de inundaciones es efectivo durante la estación de las lluvias, no se prevé ningún efecto negativo por el aumento del nivel del agua causado por este dique.

6.4.5 Plan Propuesto para Mitigación de Inundaciones

Como se mencionó anteriormente, el plan propuesto para mitigación de inundaciones es una integración de los siguientes planes componentes propuestos para las áreas de protección respectivas como se muestra en la Fig. 6.4.21.

Plan A1 para el área "A" (dique del río Portuguesa)

Plan B1 para el área "B" (dique del río Guanare)

Plan C1 o C3 para el área "C" (dique del río Apure o módulos tipo Apure)

En relación al área "C", si el plan del dique no es autorizado debido a razones ambientales, el plan C3 puede ser considerado en estudios siguientes, como se mencionó

anteriormente.

Para conocer la interferencia mutua por la integración de los tres planes componentes, se efectuó la simulación de inundación por el método de modelo tipo estanque para el plan de mitigación de inundación propuesto. El resultado de la simulación está presentado en la Tabla 6.4.3 y en la Fig. 6.4.22 y 6.4.23.

Como se puede apreciar en los resultados, no existen ningún cambio significativo de la inundación al integrar los planes componentes respectivos comparando el resultado con los estudios hidráulicos de cada plan.

6.4.6 Diseño Preliminar de Instalaciones

(1) Sección transversal del dique

La sección transversal típica del dique del río está mostrada en la Fig. 6.4.24, y fue tomada del diseño de MARNR aplicado en el dique San Vicente-Palmarito. El dique está diseñado como dique carretera y por ello el ancho de la parte superior es de 10 m., estando pavimentada con asfalto. Tiene más de 2 m. de altura. La sección transversal típica del dique para la vía férrea está mostrado en la misma figura. El ancho de la parte superior de 4 m., pero en el estudio se emplearon 10 m. para utilizar el dique como carretera.

(2) Aliviadero

Para asegurar el curso de agua existente para suministro de agua y drenaje, los aliviaderos serán ubicados en los puntos donde las corrientes existentes se cruzan con el dique, como lo muestra la Fig. 6.4.25.

(3) Alineación del dique

El dique será construido a una distancia suficiente de la margen del río como para evitar daños a éste por cambios en el curso del río y también tomando en consideración mejoramientos futuros.

De acuerdo con el estudio preliminar para la estabilización del canal, el río Apure es estable en los tramos del dique y las márgenes del mismo se han movido solo 200 m. durante casi 20 años. Por otro lado, el aumento del nivel del agua causado por la construcción del dique en la margen izquierda se calcula en 1 m., un canal de aguas crecidas más ancho no es siempre efectivo. Por lo tanto, el dique para el río Apure será construido a más de 500 m. de distancia desde la margen del río, permitiendo cierta flexibilidad.

Los diques para los ríos Portuguesa y Guanare son de tipo unilateral ya que ambos ríos presentan muchos meandros cuyo ancho es de 1 a 2 km. Por consiguiente, el dique será ubicado considerando las futuras mejoras. De acuerdo con el resultado de los cálculos hidrológicos arriba mencionados, los gastos picos de los ríos Portuguesa y Guanare son de 2.000 - 4.000 m³/seg. y de 2.000 - 3.000 m³/seg. respectivamente en condiciones de flujo suave confinado por los diques. Asumiendo que el 30% del gasto pico será soportado por el canal de estiaje y el resto por el canal de aguas crecidas en el futuro, los diques serán construídos a más de 1 km. de distancia de la zona de meandros, como lo muestra la Fig. 6.4.25.

(4) Excavación para extracción de material para terraplenes

El material del dique será extraído en las adyacencias del dique propuesto. La excavación para extracción del material será utilizada como canal de drenaje después de la excavación. Además de esto, y desde el punto de vista ambiental, la excavación redondeada mostrada en la Fig. 6.4.25, será efectuada adyacente al río y servirá para peces y animales, así como también para préstamo, como se menciona arriba.

6.4.7 Estimación de Costos

El costo del proyecto para el plan de mitigación de inundaciones propuesto es estimado utilizando la tasa de cambio de moneda extranjera de febrero de 1993, como sigue:

$$\text{U\$1} = \text{Bs } 82 = \text{¥119,72}; \text{ B\$ } 1 = \text{¥1,46}$$

Componentes de Obras	Plan A1 (US\$1000)	Plan B1 (US\$1000)	Plan C1 (US\$1000)	Total (US\$1000)
1) Costo de Construcción	25.312	18.916	25.284	69.512
a) Obras preparatorias	2.240	1.674	2.238	6.152
b) Fundación excavación	960	740	790	2.490
c) Dique	19.400	14.500	19.925	53.825
d) Capa vegetal	1.240	900	1.060	3.200
e) Aliviaderos	800	600	600	2.000
f) Obras misceláneas	672	502	671	1.845
2) Adquisición de tierras	187	145	155	487
3) Costo de administración	1.275	953	1.272	3.500
4) Costo de los servicios de ingeniería	4.303	3.216	4.298	11.817
5) Contingencias físicas	3.108	2.323	3.101	8.532
6) Total	34.185	25.553	34.110	93.848

También, el costo del proyecto de otros planes alternativos fue aproximadamente estimado como lo muestra la Tabla 6.4.5.

6.4.8 Consideraciones Económicas

La evaluación preliminar económica para el plan de control de inundaciones propuesto fue realizada como se describe en el Informe de Apoyo: Parte H.

Los costos estimados en la sección previa están convertidos en costos económicos para la evaluación. Los beneficios contabilizados en la evaluación son el beneficio por reducción de la inundación y el beneficio por mejoramiento de la tierra. El porcentaje de descuento es de 8% y la vida del proyecto de 50 años.

De acuerdo con el resultado de la evaluación, la tasa interna económica de retorno (EIRR) y la proporción beneficio-costos (B/C), están calculadas de la siguiente manera:

Plan	Beneficio anual		B/C	B-C
	(US\$1.000)	EIRR (%)		(US\$1.000)
A1	4.482	11,0	1,39	9.124
B1	3.473	11,0	1,45	7.295
C1	4.042	6,6	0,82	-5.212
Conjunto	11.286	9,2	1,15	7.614

Entre los planes componentes, el plan A1 presenta la mayor viabilidad económica, mientras que el plan C1 la menor, del cual B/C es un poco menor que 1. El plan B1 tiene casi la misma viabilidad económica que el plan A1.

El B/C general del plan es superior a 1, de tal manera que el plan para control de inundaciones es económicamente viable.

VII. FORMULACION DEL PLAN MAESTRO

7.1 Organización de los Planes

El estudio para el mejoramiento integral de la cuenca del río Apure incluye dos planes componentes que son; el plan para estabilización del canal y el de mitigación de inundaciones. Estos dos planes componentes serán tratados independientemente debido a las siguientes razones:

- 1) **Objetivos diferentes:** El plan de estabilización del cauce apunta al mejoramiento de la navegación fluvial en el canal del río, y el plan para mitigación de inundaciones apunta al control de las aguas de desborde en alguna parte de la cuenca. El área del proyecto y el tipo de obras son también diferentes.
- 2) **Problemas diferentes:** El problema de la estabilización del canal para la navegación es principalmente el acortamiento del período de navegación por la estación seca, mientras que el problema de mitigación de inundaciones es principalmente el agua de desborde en la estación de las lluvias. Los problemas ocurren en estaciones diferentes.
- 3) **Bases de planificación diferentes:** El plan para estabilización del cauce fue discutido sin plan maestro de navegación, lo cual dificultó el estudio del tamaño apropiado del proyecto, la programación de implementación y la evaluación del mismo. Mientras que, el plan de mitigación de inundaciones fue discutido sobre la base de un plan de ordenamiento territorial donde se identificaron las áreas a ser protegidas contra la inundación, y las áreas a ser preservadas. Debido a la diferencia de bases y circunstancias, el contenido de estos dos planes no siempre están al mismo nivel.

Aunque el plan para estabilización del canal y el plan para mitigación de inundaciones están tratados independientemente, se deben efectuar ajustes, en caso necesario, entre los dos.

La influencia de la estabilización del cauce en el plan de mitigación de inundaciones no es substancial. Las obras del canal de derivación y de tratamiento de difluencias con retorno al cauce principal fueron básicamente diseñadas de tal manera que no causen cambios radicales en el flujo de las inundaciones.

La influencia de la mitigación de inundaciones en el plan de estabilización del canal no es substancial. La mitigación de las inundaciones no pretende drenar la cuenca, sino controlar las aguas desbordadas en la estación de las lluvias sobre un área determinada de la planicie inundable. Por lo tanto las obras no afectarán el escurrimiento en la estación seca.

7.2 Plan para la Estabilización del Cauce

7.2.1 Generalidades

El programa para implementación del plan para estabilización del cauce fue discutido aquí. Sin embargo, como el plan maestro de navegación no ha sido preparado aún, las discusiones sobre el tamaño apropiado del proyecto, la programación de la implementación y la evaluación del proyecto son difíciles de efectuar. Por ello, los programas aquí discutidos están a nivel preliminar y deben ser revisados para que cumplan con el plan maestro de navegación después de su preparación.

El plan para estabilización del canal está compuesto de tres (3) planes, planes a corto, mediano y largo plazo.

Los planes propuestos concuerdan con los principios y políticas del Ministerio, ya que los esquemas componentes del plan están basados fundamentalmente en ideas y esquemas preparados por PROA y otras autoridades relacionadas.

7.2.2 Plan a Corto Plazo

(1) Objetivo físico

El objetivo físico del plan a corto plazo es lograr la implementación inmediata de lo siguiente:

- 1) Río Apure: Lograr ocho (8) meses navegables desde la boca del río hasta el puerto San Fernando (St-A1), y siete (7) meses navegables desde el puerto San Fernando hasta el puerto Santos Luzardo (St-A2, A3 y A4).
- 2) Río Portuguesa: Lograr ocho (8) meses navegables desde San Fernando hasta el puerto El Baúl (St-A2, P1 y P2).

(2) Obras para mejoramiento

- 1) Obras para el canal de derivación: Canal de derivación CaparoUribante Viejo con liberación de agua en la planta hidroeléctrica La Vueltosa en la etapa inicial de desarrollo.
- 2) Obras para tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal:
 - a) Sitio Chirel: Dique sumergido a través del río Chirel
 - b) Sitio Bravo/Garzas: Dique sumergido a través del río Bravo y diques de cierre a través de los ríos Rompida y Cafistolito.
- 3) Obras para normalización de la alineación:
 - a) Río Apure: Para las curvas críticas con radios de curvatura de $(R_c) < 320$ m.
 - b) Río Portuguesa: Para curvas críticas con $R_c < 150$ m.
- 4) Obras para mejoramiento de la sección del canal:
 - a) St-A1: para ocho (8) meses navegables
 - b) St-A2: para ocho (8) meses navegables
 - c) St-A3: para siete (7) meses navegables
 - d) St-A4: para siete (7) meses navegables
 - e) St-P1: para ocho (8) meses navegables
 - f) St-P2: para ocho (8) meses navegables

7.2.3 Plan a Mediano Plazo

(1) Objetivo físico

El objetivo físico del plan a plazo mediano es lograr lo siguiente empleando todos los esquemas y medidas existentes:

- 1) Lograr nueve (9) meses navegables desde la boca del río hasta el puerto San Fernando (St-A1), y ocho (8) meses navegables en el río Apure desde el puerto San Fernando hasta el puerto Santos Luzardo (St-A2, A3 y A4).
- 2) Lograr nueve (9) meses navegables desde San Fernando hasta el puerto El Baúl (St-A2, P1 y P2).

(2) Obras para mejoramiento

- 1) **Obras del canal de derivación:** No se ha considerado ninguna obra, solo el canal de derivación Caparo-Uribante Viejo con liberación de agua en la planta hidroeléctrica La Vueltoza en la etapa final de desarrollo.
- 2) **Obras para normalización de la alineación:**
 - a) Río Apure: para las curvas críticas con un radio de curvatura de $(R_c) < 560$ m.
 - b) Río Portuguesa: para curvas críticas con $R_c < 240$ m.
- 3) **Obras para mejoramiento de la sección del cauce:**
 - a) St-A1: para 9 meses navegables
 - b) St-A2: para 9 meses navegables
 - c) St-A3: para 8 meses navegables
 - d) St-A4: para 8 meses navegables
 - e) St-P1: para 9 meses navegables
 - f) St-P2: para 9 meses navegables

7.2.4 Plan a Largo Plazo

El objetivo físico del plan a largo plazo será discutido conjuntamente con el plan maestro de navegación.

Las obras para mejoramiento del plan a largo plazo serán fundamentalmente las obras para mejoramiento de la sección del canal.

7.3 Plan para la Mitigación de Inundaciones

7.3.1 Generalidades

El plan propuesto para control de inundaciones requiere la construcción de diques de aproximadamente 400 km. de longitud total y el costo total de construcción fue estimado en US\$ 94 millones aproximadamente

Considerando la escala de las obras, se propone la implementación por etapas. Para ello, se introdujeron los planes a mediano y corto plazo. El plan a largo plazo apunta a la realización de la totalidad del plan propuesto para control de inundaciones, mientras

que el plan a corto plazo apunta a la implementación temprana de una parte del plan a largo plazo. Además, el orden de implementación de cada uno de los planes componentes fue determinado tomando en consideración los aspectos socio-económico, ambiental y de ingeniería.

7.3.2 Plan a Largo Plazo

El objetivo del plan a largo plazo es lograr la realización de todo el plan propuesto para el control de inundaciones. El plan a largo plazo consiste en su mayor parte de las siguientes obras:

- 1) Construcción del dique en la margen derecha del río Portuguesa (187 km.de longitud)
- 2) Construcción del dique en la margen derecha del río Guanare (145 km.de longitud)
- 3) Construcción del dique en la margen izquierda del río Apure (155 km.de longitud) ó desarrollo de módulos tipo Apure (en algunos áreas específicas)

De acuerdo con la información, el proyecto de vía férrea mencionado anteriormente, está programado para ser implementado en un futuro cercano. En relación a esto, la construcción del dique para el río Portuguesa tiene una alta prioridad.

Por otro lado, la construcción del dique para el río Apure tiene desde el punto de vista ambiental una prioridad baja, como se ha mencionado en la sección 4.4.

En la evaluación económica se le ha otorgado una alta prioridad al dique del río Portuguesa y una baja prioridad al dique del río Apure.

Basándose en lo anterior, el orden de implementación en el plan a largo plazo será el siguiente:

Orden de implementación	Obras
1ro	Construcción del dique del río Portuguesa
2do	Construcción del dique del río Guanare
3ro	Construcción del dique del río Apure ó de módulos tipo Apure

7.3.3 Plan a Corto Plazo

El plan a corto plazo apunta a la implementación de las obras prioritarias y efectivas en el plan a largo plazo. Las siguientes obras están sujetas al plan a corto plazo.

- Obras con efecto inmediato
- Obras con alta prioridad
- Obras de pequeña escala (en el período de retorno)

En el plan propuesto para control de inundaciones, se han incluido las siguientes dos obras en el plan a corto plazo:

1) Dique parcial para el río Portuguesa (103 km.de longitud)

Como se mencionó anteriormente, el proyecto de vía férrea está previsto para ser implementado en un futuro cercano, de tal manera que el dique para el río Portuguesa desde la ruta nacional No. 8 a Nueva Florida tiene alta prioridad.

2) Dique parcial para el río Guanare (25 km.de longitud)

A lo largo del río Guanare se extienden rutas desde Sabaneta a El Caldaro (80 km.aproximadamente), y desde Banco de Morrones a Sabanas Flor Amarilla (50 km.aproximadamente). Estas carreteras pueden ser utilizadas como dique si se las refuerza un poco, de tal manera que el nuevo dique sería construído para conectar estas carreteras de aquí en adelante. Esta idea reduce el costo y produce efectos inmediatos.

De los dos (2) diques de arriba, el dique del río Portuguesa fue escogido para ser implementado primero desde el punto de vista de su necesidad, aunque ello depende de la programación del proyecto de vía férrea.

7.4 Programa para la Implementación

El programa de implementación para el plan de estabilización del canal y del plan para control de inundaciones está mostrado en la Fig. 7.4.1. A continuación presentamos algunas descripciones para la implementación de los planes.

(1) Plan para estabilización del cauce

El plan a corto plazo debe ser implementado primero y luego el plan a plazo medio, dependiendo del aumento de la carga a ser transportada y de la viabilidad económica. El programa de implementación mostrado en la Fig. 7.4.1 fue propuesto tentativamente y debe ser revisado de acuerdo al plan maestro de navegación. La secuencia de las obras del proyecto sería la siguiente:

- 1) Preparación del proyecto: 1ro. a 5to año
 - a) Estudio del plan maestro de navegación
 - b) Estudio de factibilidad
 - c) Financiamiento

- 2) Plan a corto plazo:
 - a) Preparación: 1ro. a 2do. año
 - b) Diseño detallado: 1ro. a 2do. año
 - c) Obras de construcción: 3ro. a 7mo. año
 - Obras urgentes en el canal: St-A4 para 6 meses de navegación
 - Obras en el canal: St-A1
 - Obras en el canal: St-A2, P1 y P2
 - Obras para tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal: sitios Chirel y Bravo/ Garzas
 - Obras en el canal: St-A3
 - Obras en el canal: St-A4
 - Canal de derivación Caparo-Uribante Viejo

- 3) Plan a plazo medio:
 - a) Preparación: 6to. a 7mo. año
 - b) Diseño detallado: 6to. a 7mo. año
 - c) Obras de construcción: 8vo. a 17mo. año
 - Obras en en canal: St-A1
 - Obras en el canal: St-A2, P1 y P2
 - Obras en el canal: St-A3
 - Obras en el canal: St-A4

- 4) Plan a largo plazo: Sin programación (después del 18vo. año)

(2) Plan para mitigación de inundaciones

El plan a corto plazo debe ser implementado primero y luego el plan a largo plazo. El programa de implementación mostrado en el Fig. 7.4.1 fue propuesto tentativamente. La secuencia de las obras del proyecto sería la siguiente:

- 1) Período preparatorio: 1ro. a 5to. año
 - a) Estudio de factibilidad
 - b) Financiación

- 2) Plan a corto plazo: 2do. a 10mo. año
 - a) Preparación: 2do. a 3er. año
 - b) Diseño detallado: 4to. a 5to. año
 - c) Dique parcial para proyecto de vía férrea del río Portuguesa (103 km.de longitud): 6to. a 8vo. año
 - d) Dique parcial para el río Guanare (25 km.de longitud): 9no. a 10mo. año

- 3) Plan a largo plazo: 8vo. a 20mo. año
 - a) Preparación: 9no. a 10mo. año
 - b) Diseño detallado: 9no. a 10mo. año
 - c) Dique para el río Portuguesa (84 km.de restantes): 11ro. a 12do. año
 - d) Dique para el río Guanare (120 km.restantes): 13ro. a 16to. año
 - e) Dique para el río Apure (155 km.de longitud): o módulos tipo Apure 17mo. a 20mo. año

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Plan para Estabilización del Cauce

8.1.1 Conclusiones

- 1) Considerando la caudal de Carga Prevista, no sería Práctico desde el punto de vista económico el producir mejoramiento radical del cauce. El mejoramiento del cauce de los ríos Apure y Portuguesa con fines de navegación de ser planificado y diseñado considerando al máximo las características existentes de los ríos.
- 2) La insuficiente profundidad del agua es el problema principal para la navegación del río Apure. Los meses navegables del río Apure fueron evaluados en 8 para los tramos aguas abajo de San Fernando y 6 meses para los tramos aguas arriba. En referencia al río Portuguesa, la estrechez del cauce y la curvatura son los principales problemas. Los meses navegables del río Portuguesa en la actualidad fueron evaluados en ocho (8) para los tramos aguas abajo de la confluencia del río Cojedes y en siete (7) meses para los tramos aguas arriba.
- 3) Se consideró un plan en tres (3) etapas para la estabilización del cauce para la navegación fluvial, estas etapas son los planes a corto, mediano y largo plazo. Los objetivos físicos de los planes fueron establecidos de la siguiente manera:
 - a) Plan a corto plazo: Ocho (8) meses de navegación para los tramos desde el río desde el vía puerto de San Fernando upto al puerto El Baúl y siete (7) meses navegables para los tramos desde el puerto San Fernando, vía Puerto de Nutrias, upto puerto Santos Luzardo.
 - b) Plan a mediano plazo: Los meses navegables aumentarán en uno (1) a partir del plan a corto plazo. El plan requiere un mejoramiento del canal del 10% de su longitud total.
 - c) El plan a largo plazo no ha sido discutido en detalle.
- 4) El plan fue evaluado como económicamente viable de acuerdo con el estudio preliminar

8.1.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente para estudios más detallados del plan preparado para la estabilización del cauce:

- 1) Implementar tan pronto como sea posible el estudio del plan maestro de navegación. El plan maestro será la base de todas las actividades relacionadas con la navegación fluvial, incluyendo la estabilización del cauce. La revisión de la viabilidad económica y el programa de implementación deben ser incluidos en el estudio del plan maestro de navegación.
- 2) Efectuar estudios geomorfológicos e hidráulicos más detallados para las medidas de estabilización del cauce, especialmente para las obras del cauce de derivación y las de tratamiento de ramificaciones con retorno al cauce principal.
- 3) Desarrollo de medidas de mejoramiento de cauce aplicables a los ríos Apure y Portuguesa por medio de pruebas en modelos hidráulicos en el laboratorio y de pruebas de prototipo en el campo.

8.2 Plan de Mitigación de Inundaciones

8.2.1 Conclusiones

El plan Propuesto para mitigación de inundaciones consiste de dique en la margen derecha del río Portuguesa para el área "A" dique en la margen derecha del río Guanare para el área "B" y dique en la margen izquierda del río Apure o Módulos tipo Apure (para algunas área específicas) para el área "C".

De acuerdo con la evaluación económica, la viabilidad económica de los dos primeros planes mencionados es suficiente, pero la del tercero es baja en este momento, siendo necesario una investigación ambiental más detallada y un estudio sobre el impacto, antes de continuar con los estudios.

Por lo tanto, concluimos que las construcción es de los diques para los ríos Portuguesa y Guanare puede proceder a un estudio más detallado prestando suma atención al aspecto ambiental.

Sin embargo, como la mitigación y control de inundaciones están muy relacionados a la vida de las personas que viven en el área, la implementación de obras para mitigación y control de inundaciones no pueden ser decididas desde el punto de vista económico únicamente. La mitigación de inundaciones en el área "C" debe ser planificada sobre la base de investigación y estudio más detallados del impacto ambiental, así que la construcción de dique en la margen izquierda del río Apure debe ser evaluada desde el punto de vista ambiental antes de la construcción.

8.2.2 Recomendaciones

Para estudios más detallados del plan propuesto para mitigación de inundaciones, se recomienda lo siguiente:

- 1) Acumular datos e información básica sobre hidrología, hidráulica, topografía, geología, geomorfología, etc.
- 2) Establecer un plan de desarrollo más concreto del área sujeto tomando en consideración el aspecto ambiental.
- 3) Establecer un objetivo claro para la mitigación de inundaciones/plan de mitigación en relación al plan de desarrollo mencionado.

TABLAS

Tabla 1.4.1 LISTA DEL PERSONAL PARA EL ESTUDIO (1/3)

I. MIEMBROS DEL GRUPO DE ESTUDIO

1. Yoichi Takeuchi	Líder del Grupo
2. Noboru Jitushiro	Ingeniero Fluvial (estabilización de cauce)
3. Hirofumi Sadamura	Ingeniero Fluvial (control de inundaciones)
4. Yasuhiko Kato	Ingeniero Hidráulico
5. Kazumi Yonemori	Hidrólogo
6. Atsutoshi Sakata	Geomorfologista
7. Luis Rosado	Agrónomo/Especialista en utilización de la tierra
8. Carlos Rivero	Especialista en Medio Ambiente
9. Noritoshi Machara	Institución/Ecónomo Social
10. Eíchiro Seki	Planificador de Construcción /Estimativa de costos
11. Akira Nakanishi	Ingeniero Geodésico Jefe
12. Kenji Torimae	Ingeniero Geodésico más antiguo
13. Mítuo Saito	Ingeniero Geodésico
14. Masashi Suzuki	Ingeniero Geodésico
15. Yuki Yoshi Fujita	Ingeniero Geodésico
16. Muneaki Wakita	Ingeniero Civil

II. PERSONAL VENEZOLANO

A. Coordinación

1. Arq. Carmen M. Delgado Z.	Director General del Programa Orinoco-Apure (P.R.O.A.)
2. Ing. Juan J. García	Director del Laboratorio Nacional de Hidráulica (L.N.H)
3. Ing. Jesús Silva	P.R.O.A.
4. Ing. Oscar Mirabal	Coordinador Técnico, P.R.O.A.

B. Grupo de estudio de la estabilización del cauce del río

1. Ing. Jesús Silva	P.R.O.A.
2. Ing. Rafael Montilla	P.R.O.A.
3. Ing. Francisco Milazzo	L.N.H.
4. Ing. Luis García	P.R.O.A.
5. Ing. Roberto Pascal	D.E.P.

Tabla 1.4.1 LISTA DEL PERSONAL PARA EL ESTUDIO (2/3)

C. Grupo de estudio del control de inundaciones

- | | |
|--------------------------|----------|
| 1. Ing. Haydee Canas | P.O.A. |
| 2. Ing. Noel Javier | D.P.C. |
| 3. Ing. Esther Molina | P.O.A. |
| 4. Ing. Silvia Rojas | D.E.P. |
| 5. Ing. Edgardo Ruiz | P.R.O.A. |
| 6. Ing. Aurelio Trujillo | D.P.C. |
| 7. Lic. Marcos Campos | PRPFAUNA |

D. Grupo de estudio hidrológico

- | | |
|--------------------------------|----------|
| 1. Ing. Luis Velásquez | P.R.O.A. |
| 2. Ing. William Andrade | P.R.O.A. |
| 3. Ing. Carlos Corrales | L.N.H. |
| 4. Ing. Manuel Fuentes | L.N.H. |
| 5. Ing. Davida Pérez Hernandez | D.H.M. |

E. Grupo de estudio e investigación

- | | |
|-------------------------|----------|
| 1. Ing. William Andrade | P.R.O.A. |
| 2. Ing. Luis Velásquez | P.R.O.A. |
| 3. Ing. Manuel Fuentes | L.N.H. |
| 4. Ing. Carlos Corrales | L.N.H. |
| 5. Ing. Edgardo Rufz | P.R.O.A. |
| 6. Ing. Caoilda Ramírez | P.R.O.A. |

III. MIEMBROS DEL COMITE CONSEJERO DE J.I.C.A.

- | | |
|--------------------|------------|
| 1. Motoo FUJIYOSHI | Presidente |
|--------------------|------------|

Oficial más antiguo de Información
Integrada de Ríos, Agencia Fluvial,
Ministerio de la Construcción

Tabla 1.4.1 LISTA DEL PERSONAL PARA EL ESTUDIO (3/3)

- | | |
|---------------------|---|
| 2. Yoshikuni KAWASE | Planificación de Control de Inundaciones

Director Adjunto, División de Control de Inundaciones, Agencia Fluvial, Ministerio de la Construcción |
| 3. Koh-ichi FUJITA | Planificación de canales de ríos

Investigador más antiguo, División de Hidráulica de Ríos, Departamento fluvial, Instituto de Investigación para Obras Públicas, Ministerio de la Construcción |

Tabla 3.2.1 LISTA DE LOS SITIOS DE INVESTIGACION DE MATERIALES

Sitio	Materiales del lecho del río	Perforaciones	Pozo de sondeo
1) Río Apure :			
a) Puente Remolino (Sarare Río)	M-1	P-1	TP-1
b) Totumito	M-2	P-2	TP-2
c) Palmarito	M-3	P-3	TP-3
d) Suripá	M-4	P-4	TP-4
e) San Vicente	M-5	P-5	TP-5
f) Bruzual	M-6	P-6	TP-6
g) El Samán	M-7	P-7	TP-7
h) Apurito	M-8	P-8	TP-8
i) San Fernando	M-9	P-9	TP-9
j) Arichuna	M-10	P-10	TP-10
(Subtotal)	(10)	(10)	(10)
2) Río Portuguesa:			
a) Paso la Portuguesa	M-11	-	-
b) El Baúl (río Cojedes)	M-12	P-11	TP-11
c) Guadarrama	M-13	-	-
d) El Socorro	-	P-12	TP-12
e) La Unión	M-14	-	-
f) Camaguán	M-15	P-13	TP-13
g) Arismendi (río Guanare)	M-16	-	-
(Subtotal)	(6)	(3)	(3)
3) Tributarios en el cruce de la ruta principal no. 13 y la ruta no. 5:			
a) Río Verde	M-17	-	-
b) Río Pao	M-18	-	-
c) Río Tinaco	M-19	-	-
d) Río San Carlos	M-20	-	-
e) Río Cojedes	M-21	-	-
f) Río Acarigua	M-22	-	-
g) Río Portuguesa	M-23	-	-
h) Río Guanare	M-24	-	-
i) Río Tucupido	M-25	-	-
j) Río Boconó	M-26	-	-
k) Río Masparo	M-27	-	-
l) Río Santo Domingo	M-28	-	-
m) Río Santo Domingo (El Real)	M-28A	-	-
n) Río Santo Domingo (El Real)	M-28B	-	-
o) Río Pagüey	M-29	-	-
p) Río Canaguá	M-30	-	-
q) Río Acequia	M-31	-	-
r) Río Bumbum	M-32	-	-
s) Río Socopó	M-33	-	-
t) Río Caparo	M-34	-	-
u) Río Uribante (Chorrosquero)	M-35	-	-
(Subtotal)	(21)	(0)	(0)
4) Río Orinoco			
a) Puerto Ordaz (1)	M-36	-	-
b) Puerto Ordaz (2)	M-37	-	-
(Subtotal)	(2)	(0)	(0)
No. total de sitios	(39)	(13)	(13)