

INFORME DE APOYO PARA EL CAPÍTULO 6

INFORME DE APOYO PARA EL CAPÍTULO 6.

PLAN MAESTRO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CANAL

CONTENIDO

	<u>Página</u>
6.3 MEJORAMIENTO DEL CANAL -----	6 - 1
1. Simulación Unidimensional -----	6 - 1
1.1 Objetivos -----	6 - 1
1.2 Metodología para el Análisis -----	6 - 1
1.3 Calibración del Modelo -----	6 - 4
1.4 Simulación para el mejoramiento del Río -----	6 - 5
6.4 MEJORAMIENTO DEL DRAGADO -----	6 - 31
6.5 PROGRAMA DE IMPLEMENTACION Y ESTIMACION DE COSTOS---	6 - 36
6.6 ESTUDIO INSTITUCIONAL Y ORGANIZACIONAL	
6.6.1 Objetivo del Estudio-----	6 - 40
6.6.2 Marco Legal e Institucional de la Navegación del Río Orinoco -----	6 - 40
6.6.3 Requerimientos para la Implantación del Plan Maestro-----	6 - 75
6.6.4 Lineamientos de la Reforma del Estado Venezolano-----	6 - 79
6.6.5 Experiencias en Diferentes Sectores en el ámbito de Servicios Públicos y Sistemas de Navegación Similares, como referencia para la Formulación de las Propuestas del Plan Maestro-----	6 - 87
6.6.6 Bases para la Formulación de la Re estructuración del Servicio de Navegación en el Eje, con vistas a la Implantación del Plan Maestro-----	6 - 96
6.6.7 Información acerca de la Navegación en el Río Orinoco -----	6 - 102
ANEXO I	
1. LINEAMIENTOS DE LA REFORMA DEL ESTADO VENEZOLANO -----	6 -105
ANEXO II	
1. DECRETO LEY: PROMOCION DE LA INVERSION PRIVADA BAJO EL REGIMEN DE CONCESIONES-----	6 - 113
6.7 ESTUDIO AMBIENTAL -----	6 - 118

6.8 EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA ----- 6 - 123

Lista de Figuras

Fig. 6-3-1	Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	6 - 11
Fig. 6-3-2	Ubicación de las Estaciones Hidrológicas.....	6 - 12
Fig. 6-3-3	Ramales Analizados para el Modelo del Delta del Orinoco.....	6 - 13
Fig. 6-3-4	Red de Canales para el Modelo del Delta del Orinoco.....	6 - 14
Fig. 6-3-5	Calibración de Aspereza por medio del Cálculo del Nivel del Agua No - Uniforme	6 - 15
Fig. 6-3-6	Curva de Relación Modificada entre nivel de Agua y Descarga.....	6 - 16
Fig. 6-3-7	Comparación del Nivel de Agua Calculado y Observado	6 - 17
Fig. 6-3-8	Comparación de la Descarga Calculada y Observada	6 - 19
Fig. 6-3-9	Relación de la Fórmula de Engelund - Hansen y otras Fórmulas	6 - 21
Fig. 6-3-10	Perfil Longitudinal de la Elevación del Lecho en Caño Río Grande	6 - 22
Fig. 6-3-11	Variación de la Elevación del Lecho por Simulación Anual.....	6 - 23
Fig. 6-3-12	Serie de Tiempo en Elevaciones de Lecho Simuladas en el Caño Río Grande	6 - 24
Fig. 6-3-13	Cambio en la Elevación del Lecho y Distribución de Descarga Con la ALT. A1	6 - 25
Fig. 6-3-14	Cambio en la Elevación del Lecho y Distribución de Descarga Con la ALT. B1	6 - 26
Fig. 6-3-15	Cambio en la Elevación del Lecho y Distribución de Descarga Con la ALT. B2	6 - 27
Fig. 6-3-16	Cambio en la Elevación del Lecho y Distribución de Descarga Con la ALT. B3	6 - 28
Fig. 6-3-17	Cambio en la Elevación del Lecho y Distribución de Descarga Con la ALT. G1	6 - 29
Fig. 6-3-18	Distribución de la Descarga por el Bloqueo del Espigón (ALT. B2)....	6 - 30
Fig. 6-4-1	Objetivos Mensuales del Canal del Río 1998.....	6 - 31
Fig. 6-4-2	Profundidad del Objetivo Mensual del Canal vs. Profundidad Autorizada	6 - 32

Lista de Tablas

Tabla 6.3.1	Datos Meteorológicos en el Estado Delta Amacuro.....	6 - 1
Tabla 6.3.2	Datos de la Descarga Mensual del Río Orinoco y Río Caroní	6 - 2
Tabla 6.3.3	Descarga Mensual del Río Morichal Largo y Río Tigre	6 - 3

Tabla 6.3.4	Ramales Analizados para la Calibración Hidrodinámica 1994-1999....	6 - 4
Tabla 6.3.5	Condiciones de los Límites en el Modelo del Delta del Orinoco	6 - 5
Tabla 6.4.1	Resumen de Volúmenes	6 - 33
Tabla 6.4.2	Borrador de la Declaración Piloto	6 - 34
Tabla 6.4.3	Profundidad del Día.....	6 - 35
Tabla 6.5.1	Salarios Laborales por Clasificación	6 - 36
Tabla 6.5.2	Precio Unitario de Materiales.....	6 - 37
Tabla 6.5.3	Costos Portuarios para Gabarras y Buques de Acarreo	6 - 38
Tabla 6.6.1	Modelos Administrativos para Servicios Públicos.....	6 - 99
Tabla 6.7.1	Leyes Ambientales de Venezuela.....	6 - 118
Tabla 6.7.2	Especies en Peligro en Venezuela	6 - 119
Tabla 6.7.3	Población en el Estado Delta Amacuro	6 - 121
Tabla 6.7.4	Estado Actual en Salud Pública en Delta Amacuro	6 - 122
Tabla 6.8.1	Evaluación Económica para el Caso A-0	6 - 123
Tabla 6.8.2	Evaluación Económica para el Caso A-1	6 - 124
Tabla 6.8.3	Evaluación Económica para el Caso B-0	6 - 125
Tabla 6.8.4	Evaluación Económica para el Caso B-1	6 - 126
Tabla 6.8.5	Evaluación Económica para el Caso B-2	6 - 127
Tabla 6.8.6	Evaluación Económica para el Caso B-3	6 - 128
Tabla 6.8.7	Evaluación Económica para el Caso B-4	6 - 129
Tabla 6.8.8	Evaluación Económica para el Caso G-0	6 - 130
Tabla 6.8.9	Evaluación Económica para el Caso G-1	6 - 131
Tabla 6.8.10	Evaluación Económica para el Caso G-2	6 - 132

6.3 MEJORAMIENTO DEL CANAL

Informe de Apoyo para el Capítulo 6.3

1 Simulación Unidimensional

1.1 Objetivos

La simulación hidráulica unidimensional se llevó a cabo con el objetivo de presentar en forma concisa un panorama actual de las características del sistema fluvial en el Delta del Orinoco, tratando de identificar los problemas relacionados con el desarrollo y el manejo del sistema de navegación en el Delta. También tiene la intención de servir como una manera de presentar la evaluación de los efectos hidráulicos de los diferentes tipos de alternativas para el mejoramiento del canal.

1.2 Metodología para el Análisis

(1) Software para MIKE11

El software utilizado es el denominado Sistema MIKE11, el cual fue desarrollado por el Instituto Hidráulico Danés, en Dinamarca. MIKE11 es un paquete de software, de ingeniería profesional para la simulación de flujos, calidad de agua y transporte del sedimento en estuarios, ríos, sistemas de riego, canales y otros cuerpos de agua. Es una herramienta para modelos unidimensionales dinámicos, usuario-amigable para el diseño detallado, manejo y funcionamiento de sistemas de canales y ríos simples y complejos. Debido a su excepcional flexibilidad y velocidad, MIKE11 proporciona un ambiente completo y eficaz de diseño, tanto para ingenieros, para el manejo de recursos hídricos, calidad de agua y aplicaciones en planificación.

MIKE11 incluye módulos básicos para la Escorrentía de Precipitación, Hidrodinámica (módulo HD), Advección-Dispersión y Sedimentos Cohesivos, Calidad de Agua y Transporte de Sedimentos No-Cohesivo (módulo ST).

En este estudio se utilizó el módulo hidrodinámico y el módulo de transporte de sedimento no-cohesivo para llevar a cabo la simulación hidrodinámica y morfológica.

(2) Ecuaciones

El módulo hidrodinámico MIKE11 resuelve verticalmente las ecuaciones integradas de conservación de continuidad y momentum (ecuaciones Saint Venant).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

Q = discharge, m^3/s , A = flow area, m^2 , q = lateral inflow, m^2/s , h = stage above datum, m

C = Chezy resistance coefficient, $m^{1/2}/s$, R = resistance radius, m

α = momentum distribution coefficient

La solución de las ecuaciones de continuidad y momentum se basan en un esquema implícito de diferencia finita.

(3) Transporte de Sedimento y Simulación Morfológica

El módulo de transporte del sedimento no-cohesivo puede efectuarse en dos modos: el explícito y el morfológico. En el **modo explícito**, el resultado se obtiene del módulo hidrodinámico en términos de descarga y niveles de agua en tiempo y espacio. No hay ninguna retroalimentación o reacción de los cálculos de transporte de sedimento al módulo HD. En el **modo morfológico**, el transporte de sedimento se calcula en tándem con el módulo HD. La retroalimentación entre el cálculo del transporte de sedimento y el HD se logra a través de la solución de la ecuación de continuidad de sedimento y a través de la actualización de la resistencia del lecho y el transporte del sedimento siguiente. Para este modelo se requiere considerablemente más tiempo de cómputo que para el modelo explícito, pero es más representativo de los procesos aluviales dinámicos.

El módulo de transporte de sedimento no-cohesivo está equipado con cuatro modelos diferentes para el cálculo de la tasa de transporte del sedimento. En este estudio, el modelo Engelund Hansen se ha adoptado para el cálculo total del material de lecho. La fórmula Engelund Hansen es la siguiente:

$$\theta = \frac{\tau/\rho}{(s-1)gd} = \frac{u_*^2}{(s-1)gd}, \frac{q_t}{u_*d} = 0.05 \left(\frac{u}{u_*} \right)^2 \theta^2$$

Esta fórmula también fue recomendada por investigadores de USGS para el cálculo total del material del lecho en el Río Orinoco.

La Fig. 6-3-9 muestra la comparación de la fórmula Engelund Hansen con otras fórmulas. La fórmula Engelund Hansen es la que se muestra en la figura con líneas negras y gruesas, dependiendo del valor de la proporción de velocidad del corte transversal y la velocidad de corte. Puesto que la proporción es alrededor de 10 durante la estación lluviosa en el tramo superior del Caño Río Grande, se confirma que esta fórmula es aplicable comparándose con otras fórmulas generales.

(4) Línea de caños

El sistema fluvial del Delta del Orinoco consiste en ramales principales, una red de canales densos y planicies inundables (Fig. 6-3-3). Enfrentando la complejidad del problema y la falta de los datos necesarios, el presente estudio numérico se enfoca en los ramales principales, llamados Caño Río Grande, Caño Macareo y Caño Manamo, desde las proximidades del Delta hasta el mar. El esquema del sistema fluvial simulado se muestra en la Fig. 6-3-4. Como se puede observar, pequeños ramales alrededor de las islas en medio del canal se modelaron como canales individuales para simular la distribución de la descarga entre ellos.

La Tabla 6.3.2 es un listado de los ramales modelados. Debe notarse que en este modelo unidimensional el cadeneo (chainage) de un ramal se define como una distancia acumulativa desde el borde aguas arriba del ramal.

Para los datos de la sección transversal de los Caños Manamo y Macareo, se utilizó el estudio batimétrico de 1998. Para el Caño Río Grande, el mapa la navegación publicado en 1995 por INC (escala 1:20,000) fue digitalizado para obtener la sección transversal en intervalos de un (1) km. Para los otros distributarios y ramales, el ancho de los cauces se obtuvo de la Imagen Radarsat tomada en 1998 durante este estudio y las profundidades correspondientes se estimaron de la relación general entre el ancho del cauce y la profundidad en el Delta del Orinoco.

(5) Estableciendo un modelo para la estructura de control

Estructuras hidráulicas como los vertederos de cresta ancha o las compuertas pueden ser modeladas en una red de canales como límites interiores. Se modelaron la Compuerta del Manamo y las estructuras para el control de la descarga de las secciones Guarguapo-Barrancas-Ya Ya.

1.3 Calibración del Modelo

(1) Condiciones del Límite

En todas las unidades de los modelos se requieren condiciones para el límite exterior, es decir, el final aguas arriba y aguas abajo de los ramales modelados que no se encuentren conectados.

La Tabla 6.3.3 introduce todos los tipos de condiciones de límite en este modelo. Para la simulación morfológica, las condiciones del límite de la tasa del transporte de sedimento y cambio en la elevación del lecho se agregaron al arreglo hidrodinámico.

Como límite aguas abajo del Caño Río Grande y Caño Macareo, se utilizó la marea proyectada por INC. Como límite aguas abajo del ramal Manamo, se utilizaron las mediciones del nivel de agua realizadas durante diciembre 1998 - marzo 1999 en Pedernales para cubrir el período de simulación completo desde enero 1994 hasta marzo 1999.

La Compuerta del Manamo se modeló a 14.955 km del Caño Manamo como un límite interior. El nivel de agua aguas arriba y la relación de la descarga se tomaron en cuenta basándose en la información proporcionada por CVG.

(2) Calibración del Flujo

El modelo hidrodinámico se calibró para 1994-1999 en varias estaciones, ajustando el valor de aspereza de Manning (Fig.6-3-5). El nivel de agua modificado y la curva de relación de descarga (Fig.6-3-6) se dieron como una condición de límite aguas arriba, y para los límites aguas abajo en las desembocaduras del río se usaron niveles de marea observadas/proyectadas.

La Fig.6-3-7 muestra la comparación entre el nivel del agua computado y observado en varias estaciones. Los niveles de agua observados son de INC. La Fig.6-3-8 muestra la comparación entre la descarga computada y medida en algunas secciones transversales. Las mediciones de descarga son de las campañas de mediciones de descarga de INC-MARN. El nivel de agua y descarga a lo largo del Caño Río Grande se reprodujeron bien en el modelo.

(3) Calibración del Transporte de Sedimento

Usando el modelo hidrodinámico calibrado para el Río Orinoco, la serie de tiempo para 1994-1999 de la tasa de transporte de sedimento en la sección extrema aguas arriba fue computada para usar la fórmula Engelund Hansen en el modo explícito. El transporte del sedimento anual promediado fue 15,000,000 m³, el cual coincide con la cantidad de transporte de sedimento anual registrada por USGS de 34 - 54 millones de toneladas por año.

(4) Calibración del Cambio en el Nivel del Lecho

La calibración del cambio en el nivel del lecho para el modelo fue un trabajo bastante difícil y un desafío para este estudio. Como frecuentemente se hace en los experimentos de lechos físicos movibles, al principio, la red del canal se preparó compuesta de ramales cuyos anchos de canal son los existentes y la elevación del lecho es de NMM-10 m en lugar de dar las variaciones actuales de elevación del lecho.

La Fig.6-3-10 muestra el perfil longitudinal de la elevación del lecho en el Caño Río Grande después de 51 años, iniciando desde la condición inicial antes descrita. Durante esta simulación en el modo morfológico, se obtuvieron en este modelo la descarga normal anual, nivel de agua y tasas de transporte de sedimento anuales. La variación longitudinal de la elevación del lecho se reproduce bien, de acuerdo a esta figura. Este resultado significa que los cortes transversales de las elevaciones del lecho están estrechamente reguladas por el ancho del cauce aunque el Delta del Orinoco tenga una configuración de canales tan complicada.

1.4 Simulaciones del Plan para el Mejoramiento del Río

Como se explicó en el Capítulo 6.3 del informe principal, las estructuras de cierre se concibieron para las tres (3) secciones de dragado; sección de Aramaya, Guarguapo-Barrancas-Ya Ya y la sección de Sacupana-Guasina.

Una estructura de cierre se modeló en un ramal como un vertedero con cresta ancha que no permite el sobreflujo en ningún momento.

Para cada alternativa, la simulación morfológica se ejecutó durante 50 años que inicia en una condición de lecho plano.

El efecto hidráulico para cada alternativa se definió como el cambio de elevación en el lecho después de 50 años, con y sin la estructura. Las Figs. 6-3-13 y 6-3-17 muestran los perfiles longitudinales de la elevación del lecho y la distribución de la descarga.

Puesto que este modelo hidráulico es unidimensional, la elevación del lecho computada es únicamente el corte transversal de la elevación del lecho. Para la evaluación del área más profunda en las secciones transversales, se tomaron en cuenta tanto la relación entre lo más profundo como la profundidad del corte transversal.

1.5 Nivel de Agua y Descarga Simulados en el Caño Manamo

(1) Antecedentes

En esta sección se presentan los resultados de la simulación hidráulica unidimensional para el Caño Manamo, el cual es parte del Delta de Orinoco. Como se describió en las secciones anteriores, la simulación se llevó a cabo para el período de enero del 1994 - marzo de 1999. Usando el modelo calibrado, el caso sin la Compuerta Manamo fue simulado para estimar las condiciones hidráulicas alrededor del Caño Manamo antes del cierre. Asimismo, el impacto de la Compuerta Manamo en el control de crecidas se discute brevemente.

(2) Modelo del Caño Manamo

El Caño Manamo es un ramal que se separa del punto 19.4 km del Caño Macareo como se muestra en la Fig.6-3-4. La longitud del cauce principal modelado es 203 km. También se modelaron los principales ramales como Caño Manamito y los ramales cerca de la desembocadura del río como diversos ramales.

(3) Nivel de Agua y Descarga Simulados

La Fig. 6-3-18 muestra los perfiles longitudinales del nivel de agua simulado a lo largo del cauce principal del Caño Manamo para los casos con y sin la compuerta. Las Figs. 6-3-19 y 6-3-20 muestran el nivel de agua mensual y las variaciones de la descarga en las 3 secciones representativas del Caño Manamo, respectivamente. La sección a 37.36 km está dentro del alcance de la marea, la sección a 162.3 km se localiza cerca de la ciudad Tucupita y la sección a 191.0 km se localiza aguas arriba de la Compuerta Manamo. Estas figuras representan los perfiles del nivel de agua máximo, mínimo y medio en el transcurso del año con valores mensuales para las tres estaciones.

(4) Impacto de la Compuerta Manamo

Se ha notado que en el caso con la compuerta (condición existente), la fluctuación significativa de la marea puede verse hasta la compuerta a 189 km aguas arriba de la desembocadura del río, tanto en estación lluviosa como en estación seca debido al perfil plano del lecho del canal y la reducida descarga controlada durante el año. En el caso sin la compuerta, las condiciones hidráulicas aguas abajo de la compuerta en época de estiaje son similares a la condición existente, mientras que en la estación lluviosa la gradiente del nivel del agua se forma longitudinalmente por lo que el nivel de las crecidas cerca de la compuerta supuestamente es aproximadamente 4 metros más que la condición actual durante la estación lluviosa. La ciudad de Tucupita se localiza a 162 km del Caño Manamo y la reducción del nivel de las crecidas con la compuerta fue de aproximadamente 2 m, contribuyendo así al control de inundaciones alrededor de la ciudad.