



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA**

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

LABORATORIO DE ENSAYOS HIDRÁULICOS

ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE LAS OBRAS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL Y DE NAVEGACIÓN DEL CANAL DEL DIQUE

Excluser de Sedimentos: Predimensionamiento de Obras

Informe CM - CD - 10

Bogotá D.C., Enero de 2007

EQUIPO DE TRABAJO

Profesores Universidad Nacional

Carlos Eduardo Cubillos P.	Director
Silverio Farías Mendoza	Coordinador del proyecto
Leonel Vega	Estudio y modelación Ambiental
Jaime Iván Ordóñez	Modelación Física, hidráulica y sedimentológica
Gabriel Pinilla	Limnología
Luís Alejandro Camacho	Modelación Matemática y de Calidad de Agua
Erasmus Rodríguez	Modelación Hidrológica
Guillermo Ángel	Geotecnia
Manuel Moreno	Geología y Geomorfología
César Rodríguez	Hidrogeología
Rafael O. Ortiz Mosquera	Comité asesor del convenio
Francisco Gutiérrez	Comité asesor del convenio

Asesores Externos

Antonio Franco Espinel	Especialista en Estructuras
Claudia Mayorga	Estudios Económicos
Raquel Duque	Asesor de Calidad

Personal LEH

José Urián	Ingeniero de Proyecto
Andrés Vargas	Ingeniero de Proyecto
Enif Medina	Ingeniera de Proyecto
Diana Cortés	Ingeniera de Proyecto
Lizeth Granados	Ingeniera de Proyecto
Juliana Duarte Coy	Bióloga Auxiliar
Mily Rocío González Aldana	Ingeniera de Sistemas
Alejandro Logueira	Ingeniero Auxiliar
Gabriela Forero	Ingeniera Auxiliar
Andrés Zuluaga	Ingeniero Auxiliar
Juliana Tacha	Ingeniera Auxiliar
Angélica Rodríguez	Ingeniera Auxiliar
Claudia Amaya	Ingeniera Auxiliar
Henry Rodríguez	Administrador
Lucas Bernal Peñuela	Inspector de Exploración de suelos
Leonor Martínez R.	Dibujante
Ma. De los Ángeles Rivera P.	Secretaria
Yajaira Ortiz	Auxiliar Administrativo

LISTA DE INFORMES

CM - CD - 1: Informe Principal

CM - CD - 2: Estudio de sedimentos en el Canal del Dique y su efecto en la Bahía de Cartagena

CM - CD - 3: Modelación física del Río Magdalena en la bifurcación del Canal de Dique

CM - CD - 4: Aspectos climáticos e hidrológicos de la ecorregión del Canal del Dique

CM - CD - 5: Recopilación y síntesis de la información geológica y geomorfológica de la ecorregión del Canal de Dique

CM - CD - 6: Estado limnológico de la ecorregión del Canal de Dique

CM - CD - 7: Modelación Matemática, Hidráulica y de Calidad del Agua del Canal del Dique

CM - CD - 8: Evaluación ambiental de la ecorregión del Canal del Dique

CM - CD - 9: Evaluación de la Hidrogeología del bajo Canal del Dique

CM - CD - 10: Excluser de Sedimentos: Predimensionamiento de Obras

CM - CD - 11: Exploración Geofísica del sector de Calamar

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE ANEXOS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
1. CONSIDERACIONES BÁSICAS	8
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS Y DE LAS ESTRUCTURAS	9
2.1. TRAMO 1- MURO EXCLUSOR FRONTAL – 450 M.	10
2.2. TRAMO 2 – MURO EXCLUSOR DIRECCIONAL – 600 M.	10
2.3. TRAMO 3 – ESTRUCTURA DE TRANSICIÓN – 150 M.	12
3. CONCLUSIONES GENERALES	14
4. METODOLOGÍA PARA LOS DISEÑOS DE INGENIERÍA BÁSICA	16
4.1. ACTIVIDADES	16
4.1.1. Recopilación de la información requerida para la ejecución de los diseños.	16
4.1.2. Desarrollo de los Diseños de Ingeniería Básica	16
4.1.3. Presupuesto de Obra	17
4.1.4. Programación de Obra	17

LISTA DE ANEXOS

ANEXO: CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1: Corte transversal muro exclusor direccional.....	11
Figura 2-2: Obra de exclusión. Localización general.....	13
Figura 2-3: Obra de exclusión. Estructuras.....	13
Figura 2-4: Estructuras. Sección Transversal.....	13
Figura 2-5: Estructuras. Planta y cortes tramo 1.....	13
Figura 2-6: Estructuras. Sección Transversal tramo 2.....	13
Figura 2-7: Estructura de transición – Tramo 3.....	13
Figura 3-1: Protección de orilla derecha. Enrocado.....	15

INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Convenio Interadministrativo 1-0037/05, celebrado entre la Universidad Nacional de Colombia y Cormagdalena, se está ejecutando un estudio, a nivel de prefactibilidad, que busca definir cual es la mejor opción técnica, ambiental, de navegación y económica para lograr la Restauración de los Ecosistemas Degradados del Canal del Dique.

Para el efecto se han evaluado las siguientes alternativas:

- Alternativa 0: Condición actual
- Alternativa 2: Condición actual Mejorada
- Alternativa 3: Condición actual mejorada + Excluser en Calamar
- Alternativa 4: Control caudal y sedimentos mediante compuerta y esclusa en Calamar

El presente informe contiene las características y el dimensionamiento de las obras de exclusión de sedimentos propuestas en la alternativa 3, indicada anteriormente.

1. CONSIDERACIONES BÁSICAS

A continuación se indican algunos criterios relacionados con las diferentes alternativas evaluadas durante el presente estudio.

La alternativa “Condición actual Mejorada” no requiere obras civiles diferentes a dragados y mejoramientos. En general, son movimientos de tierra.

La alternativa “Control caudal y sedimentos mediante compuerta y esclusa en Calamar”, fue analizada por la Compañía Nacional del Ródano (CNR) y presentó a Cormagdalena una propuesta conceptual, técnica y económica. Por lo tanto en este informe no se presentan análisis sobre la misma, ya que se desconocen los dimensionamientos, las características y los procesos constructivos de las obras.

La alternativa “Condición actual mejorada + Excluser en Calamar” será analizada en los siguientes numerales, en los cuales se presentan las características y el dimensionamiento de las obras de exclusión propuestas por la Universidad Nacional.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS Y DE LAS ESTRUCTURAS

El objeto de la Obra de Exclusión es controlar la entrada de sedimentos al Canal del Dique, con el fin de lograr una reducción importante del aporte de sedimentos provenientes del río Magdalena en la Ecorregión del Canal del Dique y en la Bahía de Cartagena.

Después de varios meses de investigación por medio de modelación física, matemática y ambiental, efectuada por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, LEH-UN, se ha determinado una obra denominada “exclusor de sedimentos”, a construir en río Magdalena, frente a la entrada del Canal del Dique. Esta obra tiene como característica la no modificación de las condiciones naturales del sistema actual. La localización de la obra se muestra en el Figura 2-2.

La obra consiste en un dique de 1200 m. de longitud, véase Figura 2-3 y está compuesta de tres tramos así:

1. Muro exclusor frontal
2. Muro exclusor direccional.
3. Estructura de transición.

Las estructuras proyectadas tendrán como carga principal la derivada de la acción de la corriente de agua, ya que su función principal es controlar el caudal a la entrada del Canal del Dique, mediante el direccionamiento del flujo normal del agua del río Magdalena. Por ello serán estructuras que se deben construir sumergidas, con la ayuda de dragas, palas y bongos y deben garantizar su propia estabilidad, dado las características de su forma y la magnitud de su propio peso.

La cimentación y la misma estructura del muro debe asegurar un óptimo comportamiento ante la acción de infiltraciones y líneas de flujo. Los bolsacretos ayudarán a generar la barrera impermeable, en el tramo # 1; los pilotes mejorarán en forma importante las condiciones de estabilidad. Muy seguramente se llenarán de concreto.

Unos metros aguas arriba de la boca del Canal del Dique, en dirección de la Isla la Loca se proyectó el primer tramo de la Obra de Exclusión, el cual corresponde al muro exclusor frontal, ubicado perpendicular a la corriente del río y con una longitud de 450 m.

El tramo # 2 y con una longitud de 600 m, se encuentra a continuación del tramo # 1, en dirección sesgada y en contra de la corriente del flujo.

A continuación del tramo # 2, se proyectó el tramo # 3, correspondiente a una estructura final de transición, cuya longitud es de 150 m.

De acuerdo con la evaluación geofísica ejecutada y los resultados de la tomografías, se ha concluido que bajo el nivel de tierras y a una profundidad entre 15 y 25 m. se encuentra un

material que indica ser roca blanda o similar, por lo que aparentemente no se presentará socavación más allá de estas profundidades.

El estudio geofísico también mostró clara homogeneidad en los resultados en un área mayor a la que serviría para implantar las obras de exclusión.

Estas dos características hacen que, desde el punto de vista geotécnico la obra sea viable, puesto que el problema de estabilidad se soluciona al haber encontrado un lecho rocoso a una profundidad razonable.

2.1. TRAMO 1- MURO EXCLUSOR FRONTAL – 450 M.

En la Figura 2-4 y en la Figura 2-5 se observan las principales características de esta obra.

Es una estructura tipo presa, con agua tanto aguas arriba como aguas abajo. Se compone de diferentes elementos, a saber :

1. Rocas
2. Ripio de cantera
3. Bolsacretos
4. Postes metálicos de diámetro 8" , petroleros

El dique tendrá forma piramidal, siendo la corona de 2.0 m. y los taludes inclinados de 13.0 m. de altura con pendiente 2:1 para un desarrollo total del talud de 26.0 m. y un ancho total del dique de 54.0 m.

La estabilidad del dique estará dado por el tipo de material colocado y su peso específico, la pendiente de los taludes y el hecho de que la estructura tiene agua, tanto aguas arriba como aguas abajo y por ello el gradiente hidráulico es mínimo.

2.2. TRAMO 2 – MURO EXCLUSOR DIRECCIONAL – 600 M.

En el corte transversal se muestra en la Figura 2-1 y en Figura 2-6 se observan las principales características de esta obra.

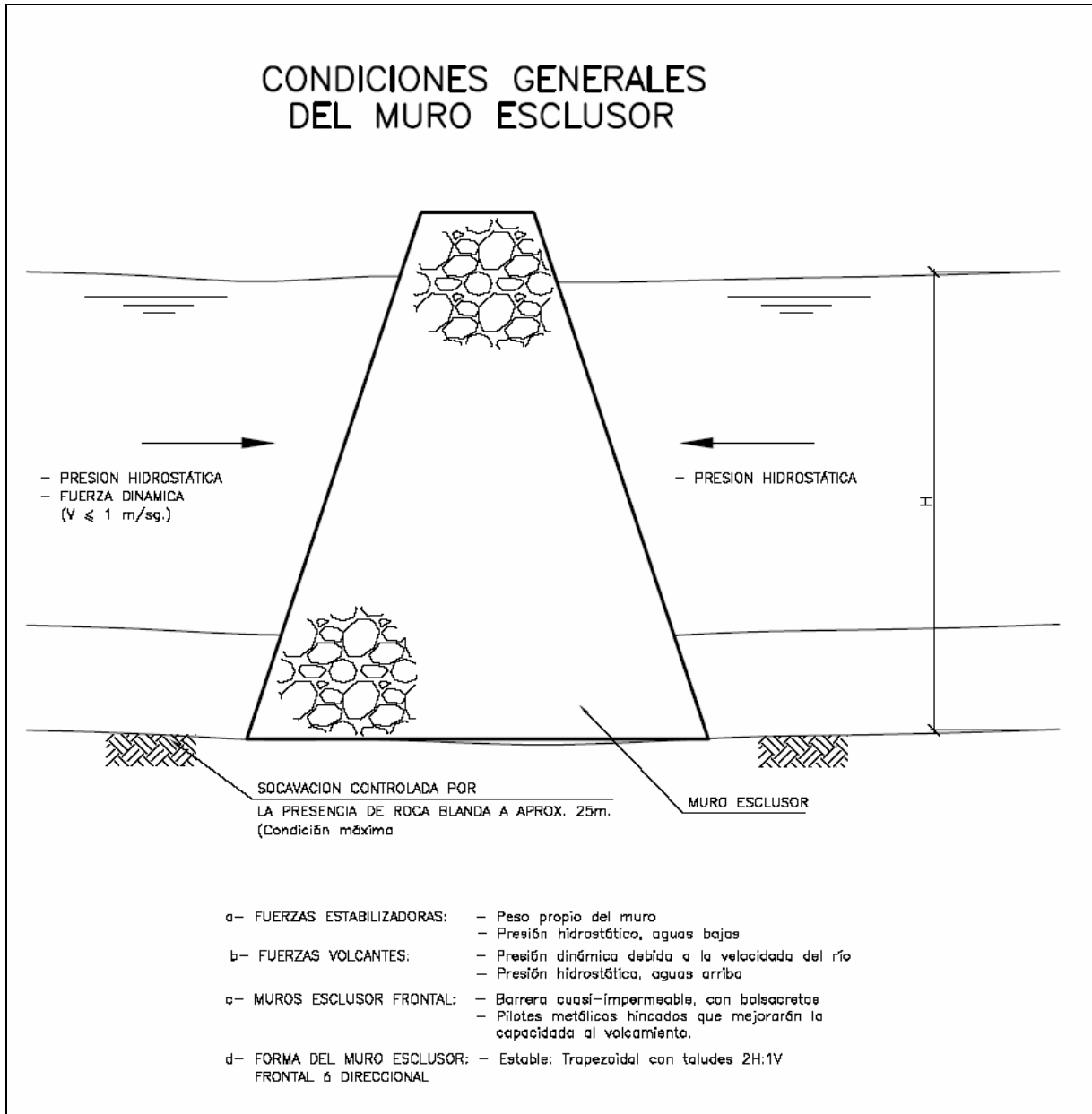
Es una estructura tipo presa, con agua tanto aguas arriba como aguas abajo. Se compone de diferentes elementos, a saber :

1. Rocas
2. Ripio de cantera

El muro tendrá forma piramidal, siendo la corona de 2.0 m. y los taludes inclinados de 20.0 m. de altura con pendiente 2:1 para un desarrollo total del talud principal (margen derecha) de 40 m. y un ancho total del dique mayor de 70.0 m.

El dique se caracteriza porque parte del mismo se construirá sobre la isla la Loca, razón por la cual, en sección transversal, tendrá dos conformaciones diferentes: La primera, del lado de la margen izquierda será de mayor altura, 20 m.; se excavará el material natural de la isla y se reemplazará por un núcleo de ripio de cantera y protección en enrocado que se extenderá dentro del lecho del brazo izquierdo del río en una longitud de 40 m. Del lado de la margen izquierda de la isla se conservará el material natural de la isla y complementará con unos dientes de ripio que servirán de transición entre éste y el enrocado de conformación y protección que se extenderá también sobre el lecho en una longitud de 25 m.

Figura 2-1: Corte transversal muro esclusor direccional



La estabilidad del muro estará dada por el tipo de material colocado y su peso específico, la pendiente de los taludes y el hecho de que la estructura tiene agua tanto aguas arriba como aguas abajo y por ello el gradiente hidráulico es mínimo.

2.3. TRAMO 3 – ESTRUCTURA DE TRANSICIÓN – 150 M.

Al final del tramo No. 2 se proyectó una estructura de remate de 150 m. de largo en pilotes de concreto reforzado , colocados en dos filas separadas entre ellas 5.00 m., cada una con 21 pilotes a 7.50 m. de distancia.

Los pilotes tendrían una longitud total de 50.0 m., de los cuales, cerca de 35.0 m. estarían dentro del terreno. En la corona de los pilotes (extremo superior) se proyectó un amarre en ambas direcciones con tubo metálico, para mejorar el trabajo en conjunto del sistema. Véase el Figura 2-7.

Figura 2-2: Obra de exclusión. Localización general

Figura 2-3: Obra de exclusión. Estructuras

Figura 2-4: Estructuras. Sección Transversal

Figura 2-5: Estructuras. Planta y cortes tramo 1

Figura 2-6: Estructuras. Sección Transversal tramo 2

Figura 2-7: Estructura de transición – Tramo 3

3. CONCLUSIONES GENERALES

El costo unitario del enrocado y del ripio, colocado, se definió en us\$ 62 / m³, considerando información que se obtuvo en Barranquilla. Sin embargo, se estima que este valor puede ser inferior al desarrollar un análisis detallado de fuentes de materiales y otros aspectos en la etapa de diseño básico de ingeniería.

El costo de los pilotes en concreto incluye un promedio de 12 m. pilote de camisa perdida. El diámetro propuesto de pilotes de 1.50 m. en concreto reforzado, es el máximo que se puede lograr a costos razonables. La calidad del concreto de los pilotes será $f'c = 28$ MPa y la calidad del acero de refuerzo será de $f_y = 420$ MPa.

El diámetro y peso medio del enrocado serán evaluados en la etapa de diseño básico de ingeniería.

Por las características del suelo, por la magnitud de las cargas sobre las estructuras y por la presencia de agua a lado y lado de la estructura, desde el punto de vista de las obras civiles, la solución se considera viable.

Por las características de los materiales que conformarán los muros y la estructura de la transición (material de cantera y rocas de la región y pilotes convencionales metálicos y de concreto principalmente), la estructura es de fácil ejecución y no requiere de componentes complejos.

Por último, desde el punto de vista del mantenimiento, la solución es factible ya que requerirá únicamente de la recuperación del nivel que por asentamientos puedan ocurrir durante los primeros años. Este proceso consistirá en la adición de rocas.

Es de resaltar que las obras de exclusión no requieren de operación manual ni mecánica. La estructura por sí misma, a través del control del caudal, disminuye los sedimentos.

Dado que la margen derecha del río Magdalena (Zona de Puerto Niño) está conformada por suelos blandos y que los muros del exclusor de sedimentos aumentarán en alguna proporción la velocidad del río que continúa el recorrido natural, se proyectaron para ésta margen algunas obras de protección, las cuales consisten en enrocados similares, pero de menores dimensiones a los que hoy se encuentran en construcción en Bocas de Ceniza en Barranquilla y en revestimientos convencionales de taludes y fondo, se estimaron en los costos finales presentados. Véase Figura 3-1.

Figura 3-1: Protección de orilla derecha. Enrocado

4. METODOLOGÍA PARA LOS DISEÑOS DE INGENIERÍA BÁSICA

4.1. ACTIVIDADES

Recopilación de la información requerida, para la ejecución de los diseños.

Prediseños

Desarrollo de los Diseños de Ingeniería Básica

Elaboración de planos de Ingeniería Básica

Cantidades de Obra

Presupuesto de Obra

Programación de Obra

Especificaciones Técnicas

Términos de referencia para la Licitación Pública Internacional (Incluye Diseño a nivel de Ingeniería de Detalle y ejecución de la obra)

4.1.1. Recopilación de la información requerida para la ejecución de los diseños.

- Geología
- Geotécnia
- Batimetría y Topografía
- Hidráulica
- Socavación
- Dimensionamiento Básico de la Obra
- Análisis de Canteras y Materiales básicos, con costos de transportes.

4.1.2. Desarrollo de los Diseños de Ingeniería Básica

- Descripción general
- Sistema Estructural
- Pesos y masas
- Fuerzas y empujes
- Factores de Seguridad
- Excentricidad

- Esfuerzos sobre Terreno
- Verificaciones de estabilidad
- Revisión de Resistencia
- Proceso Constructivo

4.1.3. Presupuesto de Obra

- Análisis de costos de materiales
- Análisis de transporte
- Evaluación de elementos electromecánicos
- Análisis de precios unitarios
- Presupuesto de Obra

4.1.4. Programación de Obra

- Análisis del proceso constructivo
- Rendimientos de Obra
- Programa de suministros
- Programación de Obra
- Evaluación de la Ruta Crítica
- Programación de la Ejecución de la Obra

ANEXO: CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO