utilizados para diseño; para este caso será entonces necesario establecer una franja de seguridad, sobre la cabecera del talud, de tal manera que los diques queden localizados a una distancia prudencial con respecto al borde superior de los taludes. Se recomienda entonces dejar una distancia mínima de 6.0 metros entre el eje central de los diques y el borde superior de los taludes.

4.3 ANALISIS HIDROLOGICOS

Para el efecto del diseño de las interconexiones entre el río Magdalena y el Complejo Lagunar los estudios hidrológicos se centraron en la caracterización del río Magdalena entre Calamar y Bocas de Ceniza.

Existen dos fuentes principales de información en el tramo de interés del río Magdalena: los datos registrados por el HIMAT en la estación de Calamar, los cuales se complementan con los registros de la estación INCORA kilómetro 7, esta última sobre el Canal del Dique, por un lado, y los trabajos de caracterización hidráulica que ha desarrollado en Laboratorios de Ensayos Hidráulicos de Las Flores, LEH-LF, del Ministerio de Obras Públicas y Transporte y operado por la Universidad del Norte.

Con esta información se determinó, para la entrada de cada uno de los caños de interés, los niveles, caudales y frecuencias de ocurrencia correspondientes.

4.3.1 Análisis de los Registros de la Estación de Calamar

Los registros de la estación limnimétrica de Calamar cubren el período comprendido entre 1969 y 1990, para un total de 22 años. Los aspectos diarios son procesados por el HIMAT siendo posible su análisis tanto a nivel diario, como mensual y anual.

En las Figuras Nos. 4.1 y No. 4.2 se presentan las Curvas de Duración de caudales y de niveles mientras que en la Figura No. 4.3, tomada del LEH-LF, se presenta la información procesada en las Curvas de Excedencia.

La Curva de Duración de caudales es una representación gráfica del porcentaje del tiempo que un caudal es igualado o excedido. Esta gráfica se considera una expresión resumida de la respuesta hidrológica de toda la cuenca y resulta por lo tanto de gran utilidad descriptiva.

Respecto a la Curva de Duración de Niveles resulta particularmente interesante anotar el gran rango de fluctuación que presenta, del orden de 8.50 m, entre los niveles máximos y los mínimos observados. Los extremos izquierdo superior y derecho inferior, resultan más inclinados que el resto de la curva, indicando la presencia esporádica de

caudales muy altos, y una baja capacidad de regulación de los caudales mínimos, con niveles mínimos del agua que periódicamente pueden resultar extremos.

la Curva de Excedencias de niveles se construyen tomando los registros de nivel pertenecientes a un mismo día del año, organizándolos de mayor a menor con el fin de obtener el número de días, y el porcentaje de tiempo, que un registro determinado es superado. Para ésto se utilizan los registros disponibles, sin importar si pertenecen o no a años de registro completo. En la Figura No. 4.3 se presenta la curva así estimada por el LEH-LF.

La curva de excedencias correspondiente al 50% se puede interpretar como el nivel promedio, esperado, en la estación de Calamar, para cada día del año. Los valores inferiores permiten una interpretación probabilística de la forma: Un nivel (o caudal) con excedencia del 90% se espera que sea superado el 90% de los años; consecuentemente se puede esperar un valor inferior tan solo el 10% de los años. De esta manera se define la confiabilidad de poder contar con un nivel, o un caudal, un determinado porcentaje de tiempo, y su distribución a lo largo del año.

Como se muestra en la Figura No. 4.3 los niveles del agua están asociados a los caudales que transporta el río Magdalena frente a la estación. De esta manera se cuenta con niveles, caudales y su correspondiente excedencia.

4.3.2 Análisis de Frecuencia

Con el fin de contar con estimativos de la frecuencia de ocurrencia de eventos (máximos) extremos, normalmente expresados por el período de tiempo esperado (en términos probabilísticos) entre la ocurrencia de eventos de igual o mayor magnitud, o período de retorno (en años), se adelantó un análisis de frecuencias sobre los caudales máximos anuales de la estación Calamar.

Los resultados obtenidos, de utilizar diferentes metodologías aplicadas a distintas distribuciones teóricas de probabilidad, se resumen en la Tabla No. 4.1, en la cual se presentan los caudales máximos esperados para períodos de retorno entre 5 años y 100 años.

El análisis de los resultados obtenidos en la Tabla No. 4.1 permite seleccionar los valores a utilizar en el diseño. Para la longitud de registro disponible, 22 años, se recomienda el empleo de la técnica de estimación de parámetros conocida como Momentos Ponderados por Probabilidad o del procedimiento de Máxima Verosimilitud. Paralelamente la distribución del Gumbel es la única que representa un proceso probabilístico de eventos extremos.

Se reitera que estos valores corresponden a caudales del río Magdalena frente a Calamar, y que difieren de los valores encontrados en los sitios de toma de los caños de derivación o hacia el Complejo Lagunar por la existencia del Canal del Dique.

4.3.3 Caudales y Niveles del Río Magdalena en el Trayecto de Interés

Para estimar los caudales en el trayecto del río Magdalena comprendido entre Calamar y Bocas de Cenizas se hace necesario estimar los caudales que se derivan por el Canal del Dique. Esta tarea resulta particularmente difícil debido al comportamiento dinámico del Canal del Dique, el cual cambia de curva de calibración dependiendo del nivel de colmatación (sedimentación) en el que se encuentre.

Se recurrió a las curvas de calibración suministradas por HIMAT tanto para la estación Calamar como para la estación INCORA kilómetro 7, situada 7 kilómetros aguas abajo de Calamar. De esta manera se pudo estimar una relación entre los caudales frente a la estación de Calamar, y los caudales del río Magdalena aguas abajo del Canal del Dique. Los valores encontrados se indican en la Tabla No. 4.2 los cuales se resumen en la siguiente expresión:

$$Qmag = 105 + 0.9105\ QCalamar \qquad (R^2 = 0.999)$$

donde:

Qmag — Es el caudal del río Magdalena aguas abajo del Canal del Dique, en el trayecto de interés.

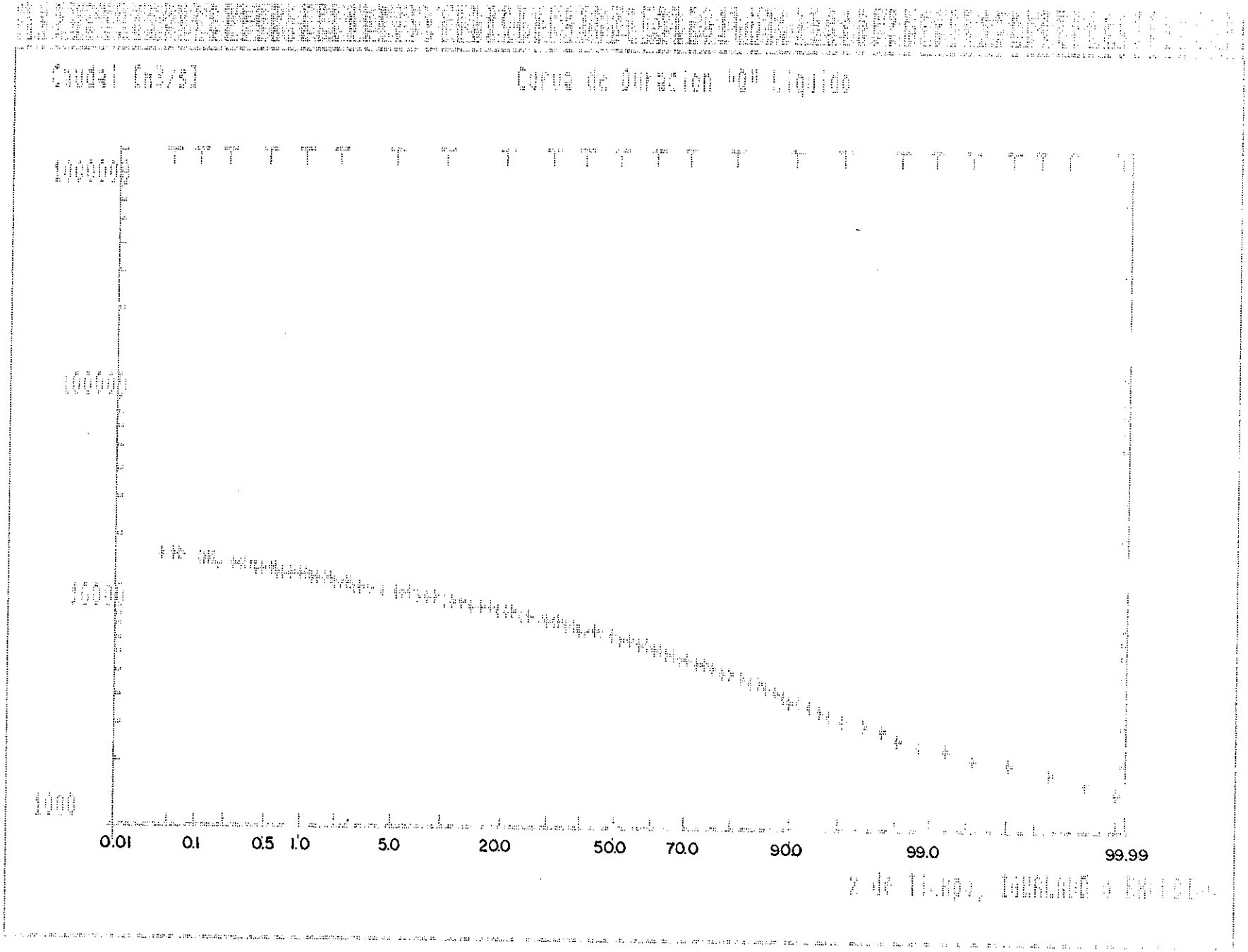
QCalamar — Es el caudal medido en la estación Calamar del HIMAT. Todas las unidades están en m^3/s.

Para conocer los niveles del río Magdalena, frente a los sitios de toma de los caños de derivación se utilizaron los resultados reportados por el LEH-LF con base en el modelo de simulación hidráulica WENDY, calibrado con base en más de 20 campañas de medición hidrosedimentológica.

Los resultados se resumen en la Figura No. 4.1 y en la Tabla No. 4.1.

4.3.4 Criterios de Diseño Hidrológico adoptados

Para efecto de diseño se diferenciaron las obras en dos grupos así: obras mayores, correspondientes a estructuras de control hidráulico y puentes a lo largo de la vía Salamina-Sitio Nuevo-Palermo, para los cuales se adoptó como criterio hidrológico de diseño el nivel máximo de las aguas del río Magdalena con período de retorno de 50


Caudal [m3/s]
Curva de Duracion "Q" Liquido
100000
10000
1000
0.01
0.1
0.5
1.0
5.0
20.0
50.0
70.0
90.0
99.0
99.99
% de Tiempo, DURACION

años, y un borde libre, no menor de 0.60 m; adicionalmente se corrobora que el nivel del agua con período de retorno de 100 años no desborda las estructuras.

Para los canales de flujo libre, ésto es, sin estructura de control, se diseñó para transportar sin limitación alguna los caudales esperados con período de retorno de 10 años, y un borde libre que garantiza que no se presentarán desbordamientos para el caudal de 50 años. Esto en consideración de la baja densidad de población, y del valor, igualmente bajo, de la infraestructura existente. Para los canales se consideró un borde libre de 0.40 m.

4.4 ESTUDIOS HIDRAULICOS

4.4.1 Generalidades

El área de estudio donde se ubica el Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Parque Natural Isla de Salamanca, constituye la zona deltaico-estuarina del Río Magdalena, con un sistema de drenaje que funciona muy severamente influenciado por las condiciones hidrológicas predominantes en las cuencas aferentes. La variabilidad relativa de los niveles en el Río Magdalena con respecto a los niveles del Mar y por tanto de las ciénagas, determina la magnitud de los caudales de agua dulce y salinos que ingresan al sistema y la forma en que la red de drenaje actual los recibe y distribuye.

Por esta razón los Consultores dieron gran énfasis en la caracterización adecuada del sistema, y en formular un conjunto de simplificación e hipótesis que permitieran fijar criterios y parámetros básicos para el diseño hidráulico de los caños.

Desde el punto de vista de la caracterización del sistema se dio particular énfasis a la descripción geométrica del mismo, a través de levantamientos topográficos semidetallados de los corredores naturales de los caños existentes, y a la definición de las condiciones de frontera. Esto es, los niveles esperados del agua en el río Magdalena frente a las derivaciones (nacimientos) de los caños, extremo occidente, y los niveles de las ciénagas receptoras. En el primer caso se acopiaron y desarrollaron los análisis hidrológicos necesarios, descritos en la sección 4.3.

La variación del nivel en las ciénagas es función básicamente de los caudales que ingresan a ellas a través del sistema de drenaje del área aferente, y de los niveles del Mar. Para efectos del análisis hidráulico del flujo en los caños, se ha considerado un nivel en las ciénagas constante en el tiempo e igual para todas ellas a -0,34 msnm, correspondiente al nivel medio del Mar, frente a la costa norte del país. Esta asumción implica por tanto la existencia de un control hidráulico al flujo, localizado en el extremo inferior de los caños, para cualquier condición de caudal en circulación por ellos.

Para corroborar esta hipótesis, se adelantaron análisis de sensibilidad en los perfiles hidráulicos en los caños, para caudales de diseño, asumiendo los niveles máximos de las ciénagas receptoras encontradas de acuerdo con el modelo CIENAGAS, empleado para simular el comportamiento hídrico y salino agregado del Complejo Lagunar.

Adicionalmente se utilizaron las siguientes hipótesis y/o simplificaciones:

a. Los niveles del Río Magdalena en el sector Isla de Salamanca para diferentes caudales, corresponden con los estimados por el LEH-LF con las curvas de remanso. No se consideró el efecto de las mareas.

b. Los caudales que ingresan a los caños, para efecto de los cálculos hidráulicos, no sufrirán variaciones en ruta por efluencias ni por afluencias y por consiguiente el caudal que se derive del Río Magdalena será el mismo que llega a la ciénaga con la cual se conectan. Excepción de esta consideración se hace para el Caño Clarín, para el cual se presentan derivaciones en cuatro puntos de su recorrido, en la localización y proporción que se indican más adelante. Una quinta derivación existente, la del Caño Bristol, no se consideró como tal, sino como una ciénaga más del Complejo, y así se esquematizó para efectos de simulación.

c. Salvo los caños Los Almendros, El Valle y El Torno que derivan hacia la Isla de Salamanca, y el Clarín que entrega en la Ciénaga Grande de Santa Marta, los cuales fluirán libremente, los demás caños en consideración tendrán estructuras de control ubicadas en sus sectores de cabecera. Para efectos de diseño estas estructuras limitarán el caudal máximo que pueda ingresar a los caños, de acuerdo con la directiva recibida de DNP, CORPAMAG y PRO-CIENAGA/GTZ.

d. Tanto para la condición actual de cada caño, como para la condición mejorada o propuesta, el alineamiento, la longitud y las singularidades que existen en el recorrido (curvas, cruces bajo vías, interconexiones con caños secundarios, restricciones, etc.) serán los mismos. Las pérdidas de carga tenidas en cuenta solo corresponden a la fricción en las paredes y fondo de la sección transversal, según los coeficientes de resistencia estimados para cada caso. No se han tenido en cuenta pérdidas de carga locales, excepto aquellas producidas en la propia derivación y en la estructura de control.

e. En todos los casos, para efectos de la distribución de velocidades, la sección transversal se esquematizó en forma tropezoidal simple o compuesta de acuerdo a los requerimientos propios del trayecto considerado.

f. Dada, en general la pequeña diferencia de niveles del terreno entre el inicio y final del trazado de los caños, la pendiente de la rasante de fondo es muy pequeña en todos los casos. No puede señalarse lo mismo para el gradiente hidráulico disponible, el cual será función de los niveles en el Río. Lo anterior, para un nivel constante en las ciénagas, lo cual conlleva gran variabilidad del gradiente hidráulico y consecuentemente el desarrollo de flujo permanente pero gradualmente variado.

g. Considerando para los caños secciones en tierra potencialmente erodables y deformables, las velocidades máximas permitidas deberán ser tales que el esfuerzo cortante ejercido por el agua resulte inferior al máximo esfuerzo de tracción que puede resistir el material de fondo.

4.4.2 Procedimiento de Cálculo - Perfiles Hidráulicos

De acuerdo con las consideraciones básicas anteriormente expuestas, el análisis del funcionamiento hidráulico de los caños en estudio, se centró sobre la determinación del perfil de la superficie libre del agua y las correspondientes variaciones, espacial, y temporal, de los parámetros hidráulicos a lo largo de sus cursos, para cada una de las diferentes alternativas planteadas.

En razón de las múltiples determinaciones que debieron realizarse para la simulación del sistema funcionando bajo diferentes condiciones de los caños, a fin de converger sobre la solución más adecuada, se utilizó el Programa Computarizado HEC-2 desarrollado por Bill S. Eichert (1976) en el Hydrologic Engineering Center que en Davis-California tiene el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.[1]

Este programa permite calcular perfiles de la superficie libre del agua para caudales transitando en condiciones de flujo permanente y gradualmente variado, en cauces naturales o artificiales de baja pendiente. No obstante que podría calcularse el efecto de obstrucciones al flujo, tales como puentes, transiciones, etc. ésto no se tuvo en cuenta al aplicarse el programa, por considerar de muy poca significancia las pérdidas de carga allí producidas.

El procedimiento de cálculo, conocido como "Standard Step Method", se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía total en cada sección transversal (Bernoulli), determinando las pérdidas por fricción con la ecuación de Manning.

---

[1] Ref. 1.

Las ecuaciones básicas a resolver por procesos iterativos para calcular la elevación de la superficie del agua en cualquier sección del caño, a partir de la elevación conocida en otra sección cualquiera del mismo caño, son las siguientes:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left\{ \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1 2}{2g} \right\}$$

donde:

WS_1, WS_2 = Elevaciones de la superficie del agua en los extremos del tramo o sector en consideración

V_1, V_2 = Velocidades medias en las secciones extremas

α_1, α_2 = Coeficientes de velocidad para el flujo en los extremos del tramo

g = Aceleración de la gravedad

h_e = Pérdida de cabeza de energía

L = Longitud del tramo considerado

$\bar{S}_f$ = Pendiente de fricción representativa para el tramo

C = Coeficiente de pérdida por expansión o contracción (no considerado en este análisis)

La aplicación de la ecuación de Manning para la velocidad del flujo:

$$Q = A.V. = A \times \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$K = A \times \frac{1}{n} R^{2/3} \text{ (Transporte o conveyance)}$$

permite la determinación de la pendiente de fricción promedia en el tramo

$$\bar{S}_f = \left[\frac{Q_1+Q_2}{K1+K2} \right]^2.$$

Las secciones transversales 1 y 2 en los extremos del sector considerado.

Los valores del coeficiente de velocidad se obtienen, para cada sector por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\alpha_i K_i^3/A_i^2)}{(\Sigma K_i)^3/(\Sigma A_i)^2}$$

donde:

i	Indice de los elementos de flujo en que se divide la sección transversal.
Ki	Conveyance para el elemento de flujo i
Ai	Area de flujo en el elemento i

Por tratarse de flujo subcrítico, el procedimiento de cálculo parte de la elevación conocida de la superficie del agua en la sección de control al extremo inferior del caño, a la entrada de la ciénaga y calcula sucesivamente los niveles del agua para las secciones de aguas arriba, cuya geometría y espaciamiento se tienen definidos.

El programa HEC-2 se corrió en microcomputador para las diferentes alternativas contempladas tal como se describe en los numerales siguientes.

4.4.3 Procedimiento de Análisis-Estabilidad Hidrodinámica de los Canales

Las obras que se van a adelantar pueden resultar deformadas en caso que la velocidad del agua pueda arrastrar las partículas que conforman los taludes y el fondo del canal.

Para tomar en cuenta este posible efecto se analizaron los diversos diseños, calculando en cada caso el esfuerzo cortante producido por el agua en movimiento y la resistencia de las partículas a oponerse a este movimiento, siguiendo los procedimientos

recomendados por el U.S. Bureau of Reclamation [1,2][2] y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles - Comité de Irrigación y Drenaje [3,4][3].

Con base en los resultados de las referencias anteriores se encuentra que el rango de esfuerzo cortante admisible para las arenas finas (D_{50} = 0.23 mm) que componen el lecho del canal está dado por:

U.S. Bureau of Reclamation	0.082 lb/ft² - 0.052 lb/ft²
ASCE - Fostier & Scobey	0.075 lb/ft² - 0.037 lb/ft²

donde los valores máximos de los rangos especificados se refieren a canales para aguas con alto contenido de sedimento fino. El otro extremo del rango se refiere a aguas con bajo contenido de sedimentos (U.S.B.R.) o aguas "claras" según el ASCE.

Para cada uno de los diseños se analizó la fuerza tractiva (esfuerzo de corte) ejercida por el agua, de tal manera que los valores se mantuvieran en el rango 0.060 lb/ft² - 0.45 lb/ft². Valores más altos pueden presentar problemas de erosión y deformación de los canales, que podrían llevar a la falla misma de las bancas. Valores inferiores, atractivos desde el punto de vista de estabilidad hidráulica solo se lograrían con velocidades muy bajas y canales muy amplios.

Para las condiciones propias de los canales aquí analizados las condiciones de estabilidad geomorfométrica de las secciones transversales se logra manteniendo las velocidades promedias en los canales iguales o inferiores a 0.80 m/s.

4.4.4 Parámetros Básicos

La determinación de las condiciones hidráulicas de diseño, perfiles de agua y características del flujo en los caños, partió de los siguientes parámetros:

---

[2] 1] U.S. Bureau of Reclamation "Design of Small Canal Structures", 1978.

2] U.S. Bureau of Reclamation. Laboratory Report No. Sp-34, 1952. "Sedimentation Studies in Open Channels: Boundary shear and velocity distribution by membrane analogy, analytical and finite difference methods". Olsen & Florey (Compiters).

[3] 3] Fortier & Scobey. "Permissible Canal Velocity". Transactions Amercian Society of Civil Engineers, Vol. 89, 1926.

4] V.T. Chow. "Opne Channel Hydraulics". McGraw Hill. Kogakusha Ltda. 1959.

El rango extremo de caudales analizados en cada caño, va de 0,5 a 120 m^3/seg, para los cuales, además de los perfiles de la superficie libre del agua, se establecieron para cada sección los parámetros hidráulicos más representativos del flujo, como son profundidad de la lámina, elevación de la superficie del agua, a velocidad media, esfuerzo cortante y los parámetros geométricos de la sección de flujo.

4.4.5 Planteamiento y Análisis de Alternativas

El procedimiento seguido para la selección final de la geometría de los canales fue diferente para los caños que alimentan el Complejo Lagunar de Pajaral y para las derivaciones hacia la Isla de Salamanca.

4.4.5.1 Interconexiones Río Magdalena - Complejo Lagunar de Pajaral

Siguiendo la directiva recibida de DNP, CORPAMAG y GTZ (Marzo 16/93) los caños Clarín Nuevo, Aguas Negras y Renegado se diseñaron de forma tal que se obtuvieran caudales de 20 m^3/s, 60 m^3/s y 60 m^3/s respectivamente, para niveles de agua en el río Magdalena correspondientes a un caudal de 9.300 m^3/s; para los caños Aguas Negras y Renegado el caudal de 60 m^3/s también resulta ser el máximo caudal esperado, bajo el supuesto que las compuertas se operarán manteniendo esta restricción.

Definidos los caudales de diseño los Consultores centraron su esfuerzo en identificar el dimensionamiento geométrico que, cumpliendo con todas las restricciones técnicas, representara el mínimo costo. La solución que se presenta en el capítulo 5 cumple con estos condicionantes.

4.4.5.2 Caños de Interconexión de la Isla de Salamanca

Siguiendo los estudios previos elaborados por DEEB SOSSA S. en C. en Octubre de 1992, los criterios de diseño para los caños que intercomunicarán el río Magdalena con las ciénagas de la Isla de Salamanca están relacionados con suministrar los volúmenes de agua que se requieren durante el período "crítico", definido por los meses de Enero a Abril, que coinciden con los niveles más bajos de las aguas del río Magdalena, ver Figura No. 4.2.

Se utilizaron los niveles de excedencia de 50% y 90%. En el primer caso se considera que para condiciones medias (promedias) el déficit mensual esperado no debe sobrepasar el 7% de los requerimientos (evapotranspiración potencial) en el área de influencia, ni se debe presentar déficit por períodos superiores a 60 días. Simultáneamente para el 90% del tiempo se debe garantizar que el período de déficit no sea superior a 100 días, y que el déficit, para el mes crítico, no sobrepase el 15%.

Adicionalmente a la determinación de la capacidad requerida en los caños para atender las necesidades de evapotranspiración del área de influencia de éstos, los caños se dimensionaron para transportar, sin desbordamientos, los máximos caudales esperados con período de retorno de 5 años. Esto es, la capacidad de diseño de estos caños se define como el caudal, con período de retorno de cinco años, que se derivaría del río Magdalena hacia las ciénagas de la Isla de Salamanca sin ocasionar desbordamientos. En estas condiciones el caudal en el río Magdalena se ha estimado en 12.670 m^3/s.

En el caso particular de estos caños se incorporaron los planteamientos generales del LEH-LF, resultado de los diseños elaborados por el proyecto de Adecuación del Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla, y que contempla un canal alimentador que repartiría sus caudales entre los caños El Torno, Los Almendros y Valle, con una serie de ajustes para conformarlos de acuerdo a los planteamientos de esta sección. Los diseños correspondientes se presentan en el capítulo 5, los cuales son el resultado de optimizar el dimensionamiento de los mismos buscando el mínimo costo.

4.4.6 Trampas de Sedimentos

4.4.6.1 Caracterización Sedimentológica del Río Magdalena

El LEH-LF ha venido trabajando en la parte baja del río Magdalena, con el propósito de ofrecerle al Ministerio de Obras Públicas y Transportes apoyo técnico en todos los aspectos relacionados con problemas fluviales y costeros en la región Atlántica. En cumplimiento de su misión el laboratorio ha adelantando una detallada caracterización del río Magdalena en el trayecto Calamar-Bocas de Ceniza, trabajo del cual se ha tomado toda la información requerida.

Desde el punto de vista de las obras que componen el Plan de Recuperación del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, el parámetro sedimentológico requerido es la concentración de partículas que se transportan en suspensión, y la composición granulométrica de la misma.

Como se puede observar en la Tabla No. 4.4 las concentraciones encontradas de sedimentos se han dividido en dos grupos. Concentración total de sedimentos que reporta el peso total de toda la materia sólida transportada en el agua, y la concentración media de la fracción de cuenca de los sedimentos en suspensión. Esta última concentración corresponde a la fracción de los sedimentos que pueden ser retenidos en los canales a consecuencia de la disminución en velocidad. En las tablas No. 4.5 a No. 4.8 (4 tablas 20 a 23 informe de la sexta campaña hidrosedimentológica - LEH-LF) se presenta la distribución granulométrica de la fracción de arenas encontradas en el río Magdalena.

En análisis de la información sedimentológica que se ha discutido permitió encontrar las siguientes consideraciones para diseño:

a. La concentración de la fracción de arenas en los sedimentos en suspensión presenta un valor promedio independiente del caudal del río. Esto es, no se presenta una mayor concentración durante los períodos de aguas altas respecto a los meses de aguas mínimas.

b. La concentración media de la fracción de arenas resulta de 0.083 kgr/m^3.

c. El diámetro mínimo representativo, D10, resulta en promedio igual a 0.073 mm, el cual presenta una velocidad de asentamiento, en aguas estancadas, de 0.153 m/s.

4.4.6.2 Consideraciones para el Diseño de Trampas de Sedimentos

Para el diseño de trampas de sedimentos hay que tomar en cuenta:

a. Que las partículas de sedimentos tengan una velocidad de asentamiento tal que efectivamente puedan descender hasta el fondo.

b. Que la velocidad en el canal no inicie el movimiento de partículas ya sedimentadas.

c. Que se cumplan las relaciones geométricas simples, que equivalen a asumir que se ha desarrollado un flujo uniforme en la sección.

d. Desde el punto de vista práctico las trampas de sedimentos deben tener capacidad suficiente para almacenar el volumen anual de los sedimentos que se espera capturar.

Tomando en cuenta las anteriores anotaciones se procedió a definir las características de las trampas de sedimentos, en donde prevalecieron como criterios dominantes del diseño, para este caso, el volumen anual de sedimentación esperada y las velocidades para evitar el transporte del sedimento.

En particular se estimaron las velocidades de asentamientos de las partículas siguiendo el procedimiento descrito en Maza Alvarez, 1987[4], de acuerdo con la metodología de

[4] MAZA ALVAREZ, Antonio. Introduction to River Ingenieering. Universita' Italiana per Stranieri. Perugia, Italia. 1987.

Rubey, corregida según los resultados de Levine. El procedimiento consiste en estimar la velocidad de asentamiento de las partículas en forma individual, para aguas estancadas, y hacer correcciones principalmente por concentración de sedimentos y por turbulencia de las aguas por movimiento de las mismas. La longitud de la trampa de sedimentos debe permitir que una partícula que entra en la superficie del agua se sedimente. Este requerimiento debe complementarse utilizando los resultados de Ordoñez[5], sobre la longitud mínima para el desarrollo del flujo uniforme que garantice la reducción efectiva de la velocidad del agua en la trampa.

Finalmente, seleccionadas las dimensiones de la trampa se comprueba si la velocidad resultante, después de la colmatación de sobreexcavación recomendada, puede poner en movimiento las partículas del fondo.

Como resultado de este procedimiento se diseñaron los sedimentadores y los resultados se indican en la Tabla No. 4.3.

4.5 OBRAS DE CONTROL HIDRAULICO

Se han considerado estructuras de control hidráulico, compuertas, en las entradas de los caños Renegado y Aguas Negras. El objetivo principal de estas estructuras, como lo indica su nombre, es darle a CORPAMAG la posibilidad de regular los caudales que ingresan al Complejo Lagunar, de acuerdo con las condiciones que allí se observen.

Con respecto a este punto es importante anotar que las compuertas dan una gran flexibilidad al manejo hídrico del complejo. Aunque el programa de manejo experimental no se ha definido, los diseños aquí descritos permiten la más amplia oportunidad para llevar aguas de baja salinidad al sistema lagunar en todo tiempo.

A continuación, y de manera muy breve, se describen los criterios y parámetros básicos utilizados para definir el dimensionamiento de las estructuras y de sus principales componentes.

4.5.1 Localización

Las estructuras reguladoras de caudal se han localizado en los siguientes puntos:

Caño Renegado	Abscisa K0+210
Caño Aguas Negras	Abscisa K +165

[5] ORDOÑEZ, J.I. y B. Franco. "Análisis de Flujo sobre una Trampa de Sedimentos". IV Seminario Nacional de Hidráulica, SCI, Medellín. 1980.

Esta localización obedece a dos criterios así:

a. Las estructuras se han localizado en un terreno estable que ofrezca garantía a CORPAMAG sobre la permanencia de las obras. En consecuencia se analizaron los planos geomorfológicos y la infraestructura vial existente. Se determinaron puntos aguas abajo del cruce de la carretera Remolino-Palermo dado que la vía se construyó por terreno estable (el río Magdalena puede reactivar su dinámica fluvial erosinando sus bancas; no obstante lo anterior los sitios seleccionados ofrecen un comportamiento geomorfológico estable de acuerdo al registro aerofotográfico existente). Esta localización da aún mayor seguridad dado el interés de las comunidades (municipios) vecinos por mantener y garantizar la operación de la vía.

b. Un segundo criterio utilizado se relaciona con las facilidades de acceso para los supervisores de CORPAMAG y para las personas encargadas del manejo de las compuertas. En consecuencia con lo anterior las estructuras se localizaron cerca de la carretera principal, a 60 metros hacia aguas abajo según lo indicado en el literal anterior.

c. La localización prevista ofrece también la oportunidad de darle mejor protección a la estructura contra posibles, pero muy eventuales, ataques por parte del río Magdalena. Esto es, la estructura se conectará a la vía por medio de un dique alto, carreteable que reforzará al terraplén de la vía, y que al mismo tiempo dará protección extra a la estructura de control al diseñarse los puentes correspondiente, y consecuentemente los acercamientos al cruce de los caños. Esta sobre elevación respecto al resto de la rasante de la vía obligaría a las aguas, en caso de desbordamiento, a alejarse de la obra reguladora, que durante estas condiciones críticas deberá mantenerse cerrada.

4.5.2 Niveles y caudales

Las fluctuaciones de nivel de las aguas del río Magdalena, en la entrada de los caños Renegado y Aguas negras, tienen rangos de 5.24 m y 4.30 m respectivamente, haciendo necesario controlar los caudales que se derivarían desde el río Magdalena. Para atender estas grandes fluctuaciones de nivel se mantuvieron los siguientes criterios específicos para el dimensionamiento de las estructuras.

a. El nivel máximo de las aguas considerado en el diseño corresponde a aquel que tiene una frecuencia de ocurrencia (valor esperado en términos probabilísticos) de una vez en cien años. Con estos niveles, y un borde libre en la estructura de 1.0 m, se garantiza que no habrá desbordamientos en el sitio de la estructura. Como se mencionó anteriormente el dique carreteable que comunica a la

estructura con la vía principal, Remolino-Palermo mantiene como mínimo este mismo nivel, alejando las aguas de las obras reguladoras en caso de desbordamiento.

b. El nivel mínimo de las aguas en el río Magdalena se ha tomado como el correspondiente a un caudal de 2.000 m^3/s en el trayecto Calamar-Bocas de Ceniza. Utilizando la información suministrada por el LEH-LF se determinó que los niveles mínimos correspondían a las cotas 0.15 msnm y 0.02 msnm, respecto al sistema de coordenadas empleado para el proyecto (ver Capítulo 3). Los niveles de solera (correspondiente a la placa de fondo de la estructura) se encuentran en la cota -1.00 msnm permitiéndose de esta manera captar agua durante cualquier período del año.

c. Aguas abajo de la estructura de las compuertas el régimen hidráulico depende del comportamiento del Complejo Lagunar, y del manejo mismo de las compuertas. En general es de esperar que las estructuras operen ahogadas con velocidades respectivamente bajas a excepción de los períodos de aguas altas.

El nivel máximo de las aguas, en el lado de aguas abajo de la estructura de control se determinó asumiendo un caudal de diseño de 60 m^3/s, el cual se garantiza para los caudales medios esperados en los meses de Noviembre y Diciembre. Estos niveles resultan considerablemente menores que los máximos esperados en el río Magdalena, y en consecuencia las compuertas actúan como mecanismos para disipar parcialmente la energía potencial de las aguas del río Magdalena.

La cota de solera de salida de las compuertas se encuentra a -1.20 msnm en ambos casos, con lo cual se puede mantener el canal siempre con agua (mejorando las condiciones de estabilidad geotécnica). La profundidad mínima en el canal, para las condiciones aquí descritas, siempre permitirían la libre movilización de agua en los caños durante todo el año.

4.5.3 Criterios básicos utilizados

El dimensionamiento de la estructura de control y de sus componentes obedece a ur criterio especifico de diseño, compuesto por las siguientes consideraciones:

a. Se debe permitir el paso del caudal de diseño, 60 m^3/s, para condiciones d niveles en el río Magdalena definidas por un caudal de 9.300 m^3/s.

b. Para las condiciones anteriores los canales mejorados soportarán las condicione de diseño; el máximo caudal para el cual se cumplen los criterios de borde libr

y velocidades bajas que no deformen la sección transversal del mismo. Por esta razón se recomienda particular cuidado con la operación de las compuertas, durante los períodos de aguas altas del río Magdalena, para no producir condiciones hidráulicas más severas que las aquí contempladas[6].

c. La estructura de control debe permitir la entrega de agua al canal de tal manera que no se produzca socavación local del lecho del canal, y que pueda afectar, deteriorar y aún destruir parcialmente la estructura. Por lo anterior se hace necesario contemplar un pozo de disipación de energía.

d. Todos los dimensionamientos cumplen con los requerimientos técnicos impuestos por las condiciones locales. Esto es, las obras se han diseñado considerando las características locales de topografía y suelos, y cumplen con todos los requerimientos de las normas de ingeniería: i.e., en los diseños estructurales, geotécnicos y mecánicos.

e. La estructura debe proveer resguardo a los mecanismos de control de las compuertas, y evitar el acceso de personal ajeno al manejo de las mismas.

f. Se deben incluir todos los componentes necesarios para el adecuado mantenimiento, operación y reparación de la estructura, particularmente de la compuerta y los servomecanismos para su operación.

4.5.4 Dimensionamiento General

Dado que los caudales de diseño de las dos estructuras de control hidráulico propuestas son iguales, 60 m^3/s, las estructuras resultaron de dimensiones muy similares como se puede observar en los planos detallados correspondientes. No obstante lo anterior, cada estructura fue diseñada para sus condiciones particulares, dando origen a tamaños diferentes para algunos componentes, especialmente las compuertas.

A continuación y de manera global se describen los principales componentes y dimensiones de las estructuras de regulación de flujo.

Las estructuras constan de los siguientes elementos:

---

[6] Aunque se contempla en los diseños que aquí se presentan, se pueden instalar sencillos sistemas sensores del nivel de las aguas en el canal que indiquen la necesidad de operar las compuertas. Tales sistemas pueden ser de muy diversos tipos (mecánicos, eléctricos, por telemetría, etc.) y se pueden considerar para ofrecer una mayor garantía de operación conforme con los límites del diseño aquí descrito.

- Zona de transición de entrada.
- Area de rejillas y tablones de entrada.
- Compuertas radiales, incluyendo los mecanismos para izamiento.
- Rápida y foso de disipación de energía.
- Zona de transición de salida.

4.5.4.1 Zonas de Transición

Las zonas de transición corresponden a obras diseñadas para reducir suavemente la sección hidráulica de los canales, de tal forma que se reduzca el área de flujo hasta las dimensiones de la zona de compuertas. Para evitar problemas hidráulicos las transiciones deben ser "suaves", manteniéndose varios criterios para la selección del máximo ángulo permitido. Según el U.S. Bureau of Reclamation el máximo ángulo de la transición debe ser menor o igual a:

$$\text{Tan } \alpha = \frac{1}{3\,F}$$

donde es el número de Froude, parámetro adimensional que permite definir el carácter (crítico, subcrítico o supercrítico) del flujo.

$$F = v/\sqrt{gd}$$

con

d	=	profundidad de la lámina de agua
v	=	velocidad media del agua
g	=	aceleración de la gravedad, 9.8 m/s²

Igualmente que las transiciones no deben tener ángulos mayores a 18.5°.

Tomando en cuenta lo anterior, el ángulo de apertura entre el obtenido utilizando la expresión que utiliza el número de Froude y 18.5°.

Las transiciones resultantes, tanto de entrada como de salida tienen una longitud de 35 metros.

4.5.4.2 Zona de rejillas y tablones

Terminada la transición las aguas se concentran en un canal rectangular, en concreto, donde las aguas tendrán velocidades relativamente altas. Para proteger las compuertas

y evitar la entrada de troncos, árboles y desperdicios mayores se ha contemplado la colocación de rejillas inclinadas.

Las rejillas se han diseñado de forma que se minimicen las pérdidas hidráulicas y al mismo tiempo protejan las compuertas de la entrada de materiales indeseables. Estas rejillas constan de barrotes de acero de ½" de espesor, 0.05 m de ancho y de longitud suficiente para elaborar módulos de fácil mantenimiento. La distancia entre los ejes de los barrotes es de 0.10 m.

Inmediatamente aguas abajo de la rejilla, la estructura de control lleva guías para la colocación de tablones, metálicos o de madera, preferiblemente de los primeros, con el fin de cerrar el flujo de agua cuando se requiera por necesidades de mantenimiento o emergencia. Estos tablones no garantizan la estanqueidad de la cortina, pero la experiencia indica que los caudales da agua que pasan pueden ser fácilmente manejados y no impiden las labores de mantenimiento y reparación.

De acuerdo a las recomendaciones de U.S. Bureau of Reclamation no se requiere de obras adicionales para control de emergencias que puedan ocurrir. No se consideró factible incluir otro tipo de obras en razón de la baja densidad de población aguas abajo de la estructura, y la reducida intensidad de uso del suelo.

Complementando estos tablones para evitar la entrada de agua desde aguas abajo se ha considerado necesario un segundo sitio para tablones, inmediatamente abajo de las compuertas, para controlar las aguas en el canal de salida.

4.5.4.3 Compuertas radiales

El sistema de control de flujo seleccionado es por medio de compuertas radiales de 4.0 m de radio y altura de apertura máxima de 3.0 m.

La selección del dimensionamiento de las compuertas se adelantó utilizando la metodología del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (Engineer Manual EM-1110-2-1602 - Hydraulic Design of Reservoir Outlet Structures), condicionada en permitir el paso del caudal de diseño, 60 m^3, para los niveles de agua definidos por un caudal de 9.300 m^3/s en el río Magdalena. Para estas condiciones las compuertas trabajan a presión. En las memorias de cálculo se presentan los diseños detallados que llevan a la determinación de un ancho de 2.25 m para el caño Renegado y de 3.0 m para la estructura del caño Aguas Negras.

La nervadura de las compuertas se estimaron de tal manera que todos los elementos metálicos mantengan un factor de seguridad de 5, según las prácticas de la AISC

(American Institute of Steel Construction). Los miembros principales de las compuertas quedan dimensionados así:

Nervadura compuerta	Perfil I W 4.13 (4"x4")
Lámina compuertas	Lámina ASTM A.36 de 5/16"
Vigas de soporte	Perfil I W 6 (6"x6")

El sistema de izamiento se ha dimensionado para su operación manual y eléctrica, prefiriéndose el segundo sistema para manejo normal y el sistema manual para períodos de emergencia. Cuidado especial se ha tenido para mantener velocidades muy bajas de operación, para evitar la creación de condiciones hidráulicas desfavorables en los canales, lo mismo que para garantizar que la compuerta se cierra, en todas las condiciones, por su propio peso.

4.5.4.4 Rápida y Foso de Disipación de Energía

La operación de las compuertas durante períodos de aguas altas en el río Magdalena genera condiciones de alta velocidad del agua que deben ser adecuadamente controladas. Para ello se ha diseñado una rápida que produzca condiciones de flujo crítico y un foso de disipación de energía, para localizar el resalto hidráulico ahogado que se forma. Los dimensionamientos hidráulicos correspondientes se adelantaron siguiendo procedimientos técnicos recomendados por la ASCE, de resultados empíricos en pruebas de laboratorio.

4.5.5 Consideraciones geotécnicas

Como se ha mencionado anteriormente los suelos predominantes en el área de interés resultan de muy baja capacidad portante, además de presentar dificultades al contacto con agua corriente. Para cimentación de la estructura se tuvieron en cuenta estas limitaciones, la posibilidad de fenómenos de tubificación de los suelos y la necesidad de garantizar un funcionamiento adecuado de la estructura aún en las condiciones más adversas.

Tomando en cuenta las observaciones anteriores la cimentación consta de una placa de concreto maciza o aligerada apoyada sobre pilotes de concreto de 6 y 8 m de longitud que disminuyen los posibles asentamientos y evitan eventuales daños por socavación.

4.5.6 Erosión a la salida de la estructura de control

Se han tomado todas las previsiones normales para esperar que los fenómenos de erosión local a la salida de la estructura de control sean mínimos y no afecten la estabilidad de la loza de la transición. No obstante lo anterior los procesos de erosión local no son predecibles aún, y el funcionamiento de los fosos de disipación requieren normalmente

de ensayos en laboratorios de hidráulica, en modelos reducidos, para garantizar las condiciones particulares deseables en cada caso.

Para eliminar la posibilidad de socavaciones que puedan llegar a poner en peligro la estabilidad de algún componente de la estructura, se recomienda utilizar los materiales provenientes de la demolición de estructuras cercanas (necesario en los caños con estructuras de control), seleccionadas de forma tal que se utilicen residuos con $\Phi \leq 0.05$ m, para hacer un relleno de protección de lecho, de 0.10 m de espesor, en un tramo no inferior a 10 m. Esta protección de fondo, además de aumentar la rugosidad en caso de velocidades con capacidad erosiva de los materiales normalmente transportados por el río Magdalena, reducirá los problemas socavación local.

DEEB SOSSA S en C

DNP - CORPAMAG
GTZ - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

TABLA 4.1

Caudal R.Magdalena B/quilla [m3/s]	NIVEL Caño Renegado [msnm]	Caño A.Negras [msnm]	Caño Clarin [msnm]	T [años]
2000	0.15	0.02	-0.15	
3600	0.85	0.55	0.06	
6000	2.10	1.57	0.47	
7000	2.70	2.05	0.75	
9300	3.58	2.82	1.12	
10000	3.85	3.05	1.23	
11000	4.39	3.55	1.57	
12000	4.55	3.66	1.70	
12670	4.63	3.72	1.76	5
13000	4.70	3.76	1.80	
13760	4.79	3.82	1.87	10
14000	4.86	3.87	1.90	
14760	4.98	3.98	1.98	20
15000	5.02	4.00	2.00	
16000	5.20	4.13	2,10	50
17150	5.39	4.32	2.23	100

Nota:

Tomado de "Estimación del volúmen promedio anual derivado del rio Magdalena al Complejo Lagunar de la Cienaga Grande de Santa Marta en condiciones naturales originales". Ing. Ricardo Çogollo Ponce, quien da como referencia a los resultados de la aplicación del modelo WENDY por parte del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores. 1993.

Qb=105 + 0.9105*Qc [m3/s] r2=0.9998
Qc=1.0983*Qb - 115.3213
Qb= Caudal Barranquilla :Qc=Caudal Calamar

DEEB SOSSA S en C

DNP - CORPAMAG
GTZ - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Qb=105 + 0.9105*Qc [m3/s] r2=0.9998
Qc=1.0983*Qb - 115.3213

TABLA 4.2

Caudal Calamar	Caudal B/quilla
2000	1926
3000	2836
4000	3747
5000	4657
6000	5568
7000	6478
8000	7389
9000	8300
10000	9210
12000	11031
14000	12852
16000	14673
17457	16000

T años	Qc m3/s	Qb m3/s
100	19760	18100
100	18750	17130
100	19700	18040

Qb= Caudal Barranquilla ;Qc=Cuadal Calamar

Tabla No. 4.3

DIMENSIONAMIENTO TRAMPA DE SEDIMENTOS

	Vol.Agua Transp. Mm^3/año	Vol.Sedim. (arena) m^3	Vol.Sedim. Capturados m^3	Sobre excav. m	Ancho m	Long. m	Abcisa	Transición α
Renegado	600	31.125	24.900	2,0	20,0	500	K0+210	18,5°
Aguas Negras	420	21.800	17.400	2,0	16,0	420	K0+836	18,5°
Clarín	460	23.540	18.830	2,0	12,0	600	K0+780	18,5°
Torno/Almendros/Valle	100	5.190	4.150	1,0	20,0	100	K0+100	18,5°

NOTA : Las trampas de sedimentos se han diseñado bajo el supuesto de mantenimiento anual. En el caso de los Caños torno, Almendros, Valle en la Isla de Salamanca, el diseño del LEH-LF contempla una longitud de 200 m. en tal caso es de esperar que el mantenimiento se requiera cada dos años.

DEEB BOOBA S en C

INF - CORPAMAG
STI - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

RESUMENES DE CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION
RIO MAGDALENA LHLF.

TABLA 4.4

CAMPAÑA	SECCION	CAUDAL m3/s	Ct Kg/m3	Cs Kg/m3	%L %
13	HC-1	2756	0.434	0.049	88.7
13	HC-20	2969	0.283	0.046	83.7
13	HC-13	3154	0.389	0.051	86.9
16	HC-1	3877	0.824	0.059	92.8
16	HC-20	4167	0.638	0.021	96.7
9	HC-1	5483	0.753	0.079	89.5
14	HC-13	6111	0.653	0.099	84.8
14	HC-1	6460	0.484	0.098	79.8
10	HC-1	6629	0.755	0.029	96.2
19	HC-1	6784	1.009	0.123	87.8
14	HC-20	6968	0.775	0.103	86.7
10	HC-13	7026	0.690	0.064	90.7
18	HC-18	7042	0.704	0.132	81.3
18	HC-13	7248	0.960	0.140	85.4
16	HC-20	7502	0.824	0.153	81.4
11	HC-1	8429	0.482	0.057	88.2
11	HC-13	8776	0.615	0.046	92.5
12	HC-1	10008	0.489	0.127	74.0
12	HC-13	10241	0.499	0.105	79.0
12	HC-20	10434	0.450	0.072	84.0
VALORES MEDIOS		6606.2	0.636	0.083	86.5

Regression Output:

Constant	0.033825
Std Err of Y Est	0.035893
R Squared	0.196937
No. of Observations	20
Degrees of Freedom	18
X Coefficient(s)	0.000007
Std Err of Coef.	0.000003

[illegible]

[illegible]

[illegible] DE [illegible] DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

[illegible]/ICDR*/2)./Velocidad sedencional en el canal
Corrección de Levine.(Maza Alvarez,1987, pg 2.11)

[illegible]

	7.11	7.21	7.31	7.41	7.51	8.11	8.21	8.31	8.41	8.51	9.11	9.21	9.31
0.010	0.022	0.022	0.021	0.021	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017
0.400	0.030	0.029	0.029	0.027	0.027	0.026	0.026	0.025	0.024	0.024	0.024	0.023	0.023
0.500	0.037	0.036	0.035	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028
0.600	0.045	0.043	0.042	0.041	0.040	0.039	0.038	0.037	0.036	0.036	0.035	0.034	0.034
0.700	0.052	0.051	0.049	0.048	0.047	0.046	0.044	0.043	0.043	0.042	0.041	0.040	0.040
0.800	0.060	0.058	0.056	0.055	0.053	0.052	0.051	0.050	0.049	0.048	0.047	0.046	0.045
0.900	0.067	0.065	0.063	0.062	0.060	0.059	0.057	0.056	0.055	0.054	0.053	0.052	0.051
1.000	0.067	0.065	0.063	0.062	0.060	0.059	0.057	0.056	0.055	0.054	0.053	0.052	0.051
1.100	0.075	0.072	0.070	0.068	0.067	0.065	0.064	0.062	0.061	0.060	0.059	0.057	0.056
1.200	0.082	0.080	0.077	0.075	0.073	0.072	0.070	0.068	0.067	0.065	0.064	0.063	0.062
1.300	0.090	0.087	0.084	0.082	0.080	0.078	0.076	0.075	0.073	0.071	0.070	0.068	0.067
0.436	0.097	0.094	0.091	0.089	0.087	0.085	0.083	0.081	0.079	0.077	0.076	0.074	0.073
	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

[illegible]elocidad de asentamiento de una particula natural
[illegible]Ve=F1*(gtdelta*D)^0.5 Rubey (Maza Alvarez,1987, pg 2.9)

D	
mm.	
0.050	0.073
0.055	0.080
0.060	0.105
0.065	0.122
0.070	0.141
0.000	[illegible]559
0.005	0.003
0.010	0.004
0.015	0.007
0.020	0.012
0.025	0.019
0.030	0.027
0.035	0.036
0.040	0.047
0.045	0.059
0.050	0.073
0.055	0.088
0.060	0.105
0.065	0.969
0.070	0.163

CUADRO 20

RIO MAGDALENA
SECCION 1. ISLA RONDON
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LA FRACCION ARENA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION (MICRAS)

BRAZO IZQUIERDO

[illegible]	[illegible]	Q(m3/s)	D10	D25	D35	D50	D65	D75	D90	D[illegible]
[illegible]	[illegible]	1.072	73	77	79	90	110	[illegible]	144	[illegible]
[illegible]	[illegible]/87	1.726	76	82	85	100	120	132	155	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	71	73	90	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	1.574	70	[illegible]	87	100	135	[illegible]	190	[illegible]

BRAZO DERECHO

[illegible]	[illegible]	Q(m3/s)	D10	D25	D75	D50	D65	D75	D84	D[illegible]
86	[illegible] 87	1.303	74	78	90	110	[illegible]	113	134	[illegible]
[illegible]	[illegible]/87	629	76	80	98	120	[illegible]	[illegible]	146	[illegible]
[illegible]	[illegible]/86	2.331	67	72	75	92	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]/86	1.454	73	92	106	123	[illegible]	175	210	[illegible]

TABLA 4.5

CUADRO 21

RIO MAGDALENA
SECCION 4. PLANTA EL RIO
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LA FRACCION ARENA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION (MICRAS)

[illegible]	[illegible]	Q(m3/s)	D10	D25	D35	D50	D65	D75	D84	D90
[illegible]	[illegible]	[illegible]	73	77	79	88	93	112	132	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	74	78	85	99	114	141	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	76	89	109	137	208	280	330	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	73	75	78	84	102	111	131	[illegible]
[illegible]	[illegible]	3.718	72	75	78	87	93	110	127	141
[illegible]	[illegible]	2.167	74	76	79	87	93	110	127	141

1) Muestras correspondientes a la superficie y 0,20 h.
(2) Muestras correspondientes a 0,60 h y 0,30 h.
3) Muestras correspondientes a 30,0 cm sobre el fondo.

TABLA 4.6

CUADRO 22

RIO MAGDALENA
SECCION 10. COLTERMINALES
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LA FRACCION ARENA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION (MICRAS)

BRAZO IZQUIERDO

[illegible]	[illegible]	Q(m3/s)	D10	D25	D35	D50	D65	D75	D84	D[illegible]
[illegible]	[illegible]	4.229	72	74	76	78	80	94	114	[illegible]
[illegible]	[illegible]	2.260	76	88	99	117	133	160	178	[illegible]
[illegible]	[illegible]	3.788	67	72	76	84	98	113	133	[illegible]
[illegible]	[illegible]	3.776	72	87	[illegible]	112	133	160	240	[illegible]

BRAZO DERECHO

[illegible]	[illegible]	Q(m3/s)	D10	D25	D35	D50	D65	D75	D84	D90
[illegible]	[illegible]	1.850	72	76	78	80	90	98	113	[illegible]
[illegible]	[illegible]	829	74	77	79	87	100	113	128	[illegible]
[illegible]	[illegible]	1.004	66	72	75	80	94	115	190	[illegible]
[illegible]	[illegible]	2.143	70	79	91	113	135	155	200	[illegible]

TABLA 4.7

CUADRO 23

RIO MAGDALENA
SECCION 12. MUELLE DE TRASPASO
CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DE LA FRACCION ARENA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION (MICRAS)

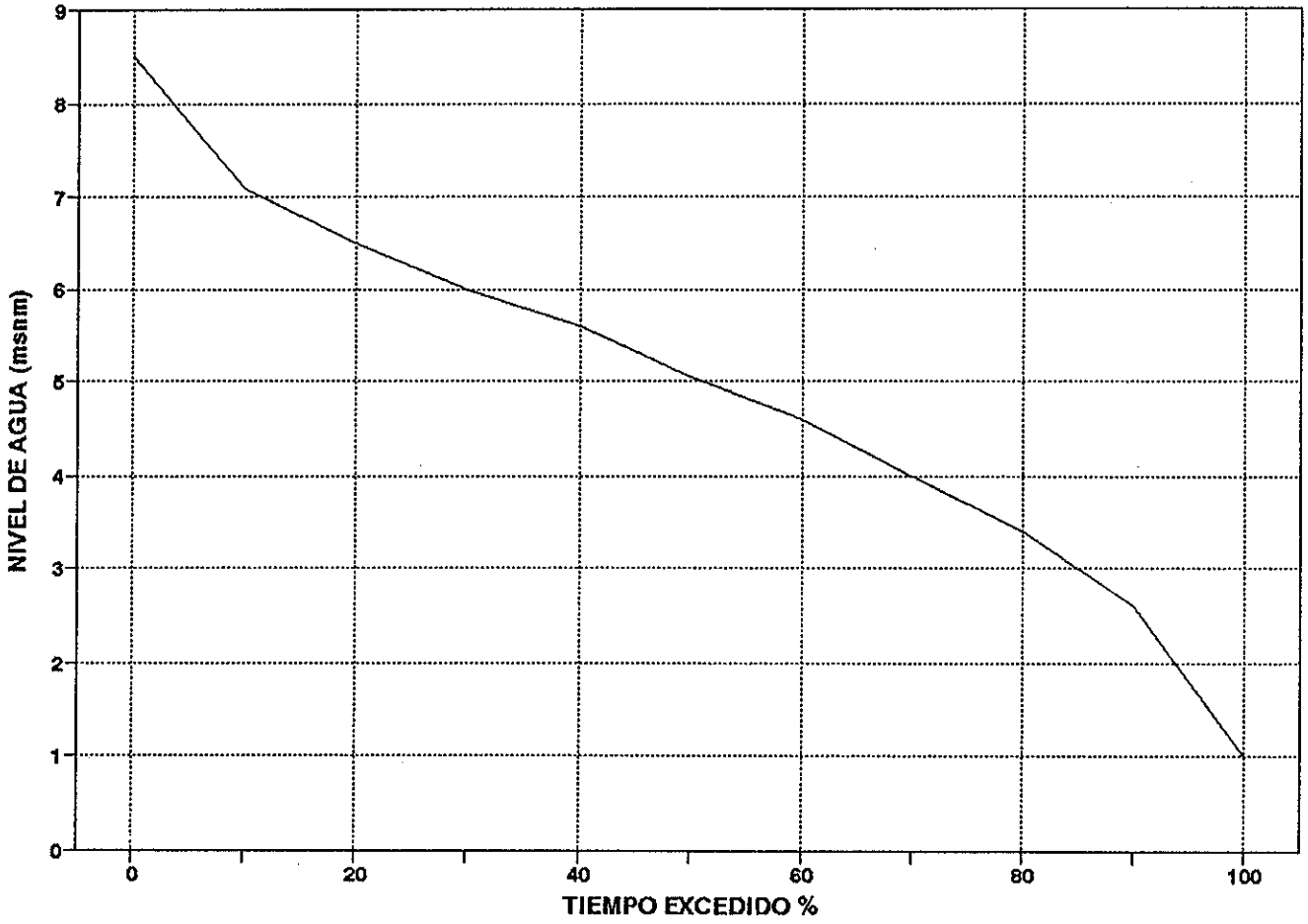
[illegible]	[illegible]	[illegible]	D10	D25	D50	D50	D65	D75	D90	D95
[illegible]	[illegible]	[illegible]	74	78	[illegible]	[illegible]	106	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	74	79	[illegible]	[illegible]	110	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	72	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

(1) Muestras correspondientes a la superficie y 0,20 m
(2) Muestras correspondientes a 0,60 m y 0,80 m.
(3) Muestras correspondientes a 50,0 cm sobre el fondo.

TABLA 4.8

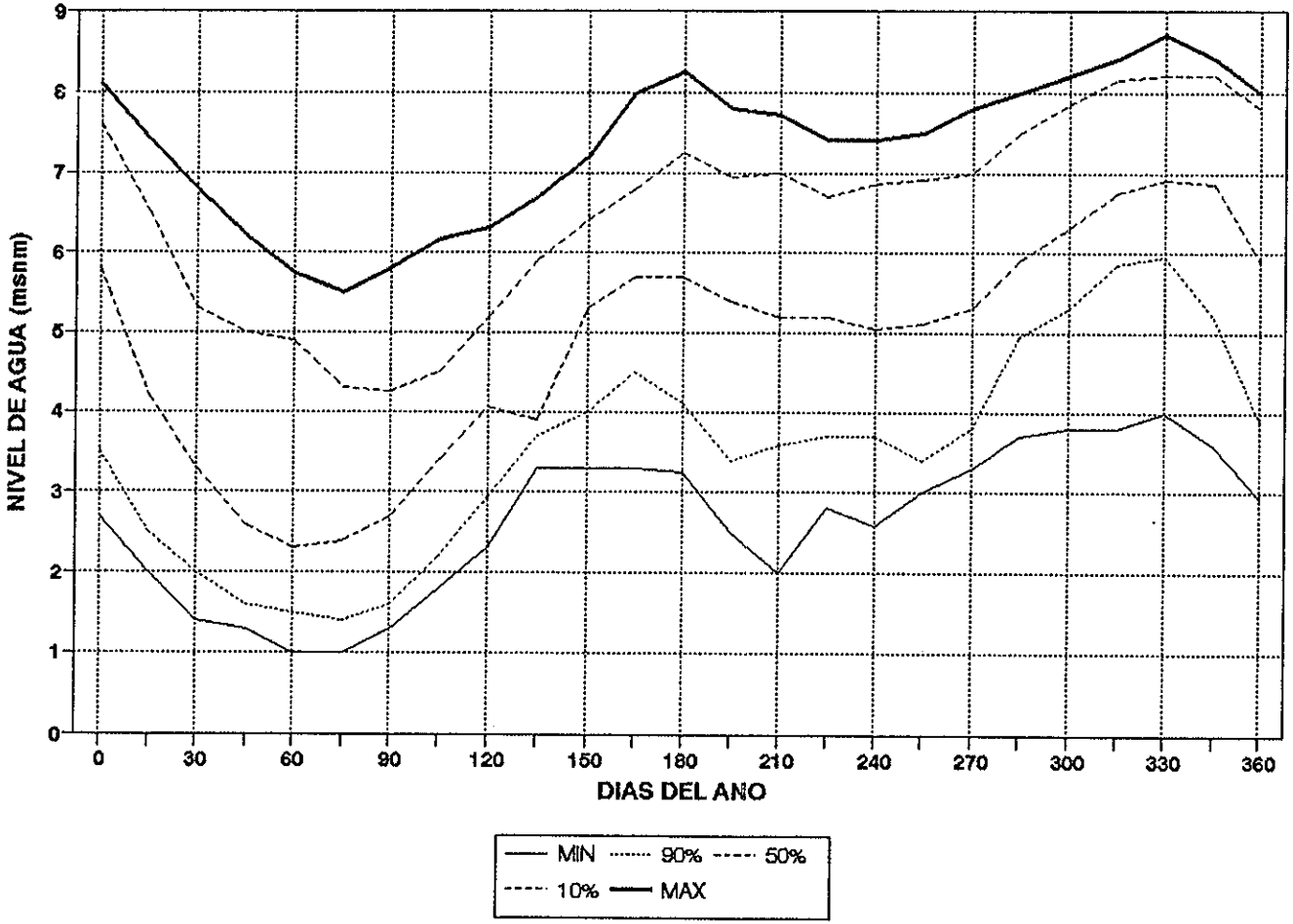
Flg. 4.2

DURACION DE NIVELES - CALAMAR



Flg. 4.3

CALAMAR - EXCEDENCIAS



CAPITULO 5

PROYECTO ADOPTADO

5.1 ESQUEMA GENERAL

5.1.1 Características Generales
5.1.2 Elementos del sistema adoptado
5.1.3 Planos

5.2 CANALES

5.2.1 Caño Clarín
5.2.2 Caño Renegado
5.2.3 Caño Aguas Negras
5.2.4 Caños Isla de Salamanca

5.3 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ENTRADA DE AGUA

5.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

5.4.1 Trampas de sedimentos
5.4.2 Puentes
5.4.3 Muelles
5.4.4 Otras Obras

5.5 DISPOSICION DE SEDIMENTOS

Este capítulo presenta los dimensionamientos finales del diseño de la obras previstas para la fase 1 del Plan de Recuperación del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la Isla de Salamanca.

Estos diseños son el resultado de la optimización de numerosos esquemas planteados, todos tendientes a derivar un caudal de 140 m^3/s, de acuerdo con la directiva emitida en tal sentido como pauta de diseño.

5.1 ESQUEMA GENERAL

El objetivo de los diseños adoptados consiste básicamente en derivar agua del río Magdalena hacia el Complejo Lagunar de Pajaral y la Isla de Salamanca, tal como se muestra en el esquema de la Figura 2.5.

5.1.2 Características generales

El sistema adoptado se caracteriza por canales que conducen agua de occidente a oriente, con dos puntos de control hidráulico como son el río Magdalena, sometido a grandes fluctuaciones de caudal y por tanto de nivel, y las ciénagas con un nivel medio de sus aguas muy estable, donde no se presentan fluctuaciones mayores de nivel.

El terreno se caracteriza por ser limoarenoso de consistencia baja a media, de capacidad portante baja y con nivel freático alto; el cual se convirtió en un parámetro de alta incidencia en la definición de las pautas de diseño de todos los componentes del sistema y por tanto de alta incidencia en los costos finales de las obras.

El alineamiento original de los caños se mantuvo para los canales diseñados, principalmente para evitar sobrecostos por compra de terrenos.

5.1.3 Elementos del sistema adoptado

El sistema adoptado se compone básicamente de los siguientes elementos:

Canales
- Caño Clarín
- Caño Renegado
- Caño Aguas Negras
  - Salida La Fuente
  - Salida Los Guayacanes
- Caños Isla de Salamanca
  - Canal Alimentador (Caño El Valle)
  - Caño El Torno
  - Caño Los Almendros

Estructuras de Control
- Caño Renegado
- Caño Aguas Negras

Obras Complementarias

hasta el K14. De allí se aparta de la carretera y sigue en dirección suroriente hasta pasar por la Ciénaga La Redonda, para luego llegar hasta su confluencia en la Ciénaga Grande, con un cauce meándrico irregular.

Desde el K-0 hasta el K-4, se mantiene la cota de solera a -2.0 msnm y la base de fondo del canal en 7.0 m de ancho, de esta abscisa en adelante se amplía la base del canal a 10.0 m; con estas dimensiones continua hasta el K-27+500 donde se termina el canal, del K-27+500 en adelante se mantiene la conformación actual en razón a su suficiente capacidad hidráulica. Todas las secciones transversales propuestas son de forma trapezoidal simple con taludes 2.5 H : 1.0 V, dimensiones adoptadas según las recomendaciones de geotecnia (ver anexo 2).

Del K-13 al K-27+500 los terraplenes de margen izquierda y margen derecha se alternan, de manera que el terraplén contrario no se construye, esto con el fin de mantener el drenaje natural de este sector caracterizado por zonas bajas inundadas la mayor parte del tiempo.

El volumen total de excavación desde el K0 hasta el K-27+500 se cuantificó en 633.100 metros cúbicos y el volumen de terraplén conformado y con material mezclado, se calculó hasta el K-13 en 93600 metros cúbicos (Ver detalles de cálculo en el Apéndice 2).

Este Caño, con longitud total de 32.440 metros medidos a lo largo del eje propuesto, presenta derivaciones en su recorrido, la primera de ellas en el K2+180 denominada El Tigre con la cual se alimentan la ciénaga de Pendejito, tres de ellas se ubican en las abscisas K10, K11 y K13 las cuales derivan agua hacia el antiguo cauce del Caño Clarín Viejo; la cuarta y más importante de todas, deriva aproximadamente un 20% del caudal del Clarín hacia la Ciénaga de Cuatro Bocas en el Parque Isla de Salamanca.

Por su localización cerca de la desembocadura del Río en el Mar, la variación de los niveles del agua es pequeña y por tanto este caño permanentemente deriva agua del Río Magdalena, con variaciones de caudal dentro de un rango muy reducido. Por esta razón, no se consideró necesaria una estructura de control de caudales a la entrada.

5.2.2 Canal Renegado

Tiene su entrada desde el Río, ubicada unos 1.200 metros al norte de la Inspección de Policía de Guaimaro, 200 metros abajo de la vía que conduce a San Rafael, Las Casitas y Santa Rita. Se desarrolla en dirección general oriente y después de 8 kilómetros de recorrido confluye sobre la Ciénaga Buenavista. Unos 2 kilómetros antes, el Caño Renegado intercepta un bajo o caño seco de sección apreciable, conocido como caño

Martinica y luego como caño Morrón, los cuales en épocas de invierno severo, drenan hacia el norte sobre el área aferente al Caño El Salado.

La captación se realiza en el mismo sitio actual, en la cota -1.0 msnm, con ancho de base de 15.0 m el cual se mantiene constante hasta la entrega en la ciénaga de Buenavista. La pendiente de los taludes es 2.5 H:1.0 V. El fondo del canal mantiene una pendiente constante la cual varía proporcionalmente a la longitud, hasta alcanzar la cota -2.0 msnm en Buenavista.

Del extremo noroccidental de la Ciénaga de Buenavista, a manera de un brazo de ella, parte el caño Condazo con rumbo hacia el nororiente; cruza pegado al extremo sur de Santa Rita, siguiendo hacia el oriente. A unos 7 kilómetros desde la ciénaga reduce significativamente su sección, luego toma nuevamente la dirección nororiente, pasando por el costado norte de la Ciénaga La Tigrera con una conexión muy bien definida con ella, para finalmente descargar en las Ciénagas Tamaca al norte y La Aguja al sur. En su recorrido total de unos 20 kilómetros, se integra con numerosos caños menores que constituyen la red secundaria de drenaje del área.

En el caño Condazo no se propone construir un canal, de las características planteadas en el presente diseño, pues considerarse suficiente para transportar los volúmenes derivados por el Canal Renegado, esto siempre y cuando no se supere el caudal de 60 m^3/s. Sí se considera necesario, adelantar campañas de limpieza en unos cortos trayectos que garanticen un mejor comportamiento hidráulica.

El alineamiento del Canal Renegado se mantuvo con respecto al actual, sin embargo, el eje del canal de desplazó hacia la izquierda entre 3.0 y 7.0 m en razón a la solicitud de los propietarios de los predio vecinos, afectando lo menor posible los predios de la margen derecha.

Se ha contemplado también, la instalación de compuertas deslizantes de derivación, colocadas lateralmente al canal, especialmente orientadas a abastecer con riego los predios actualmente servidos y los que en un futuro puedan requerirse.

Los volúmenes calculados de excavación en el canal corresponden a 659.700 m^3 y de conformación de terraplenes a 37.150 m^3.

El proyecto final del Canal Renegado, planta-perfil y secciones transversales, se presenta en lo planos REN-1 a REN-13 del Volumen 3 de los Documentos de Licitación.

5.2.3 Canal Aguas Negras

Las condiciones de derivación de este canal son las más críticas del sistema, pues necesariamente debe hacerse en el sector de migración de un brazo importante del Río, en una zona baja afectada por desbordamientos en épocas de caudales altos extremos. La geometría de la derivación empleada para estos diseños corresponde a la cota de solera de entrada a la -2.0 con base de fondo de 16 y talud 2.5 H : 1.0 V.

Tomando en consideración estas condiciones, se planteó la boca localizada aproximadamente 3 kilómetros aguas abajo del extremo norte de la población de Remolino, desarrollándose su primer tramo con dirección nororiente, de forma adyacente a la carretera a Sitio Nuevo por su costado norte, para cruzar bajo ella en el sitio donde actualmente atraviesa el caño existente, K3+100 desde el Río. El Canal sigue con la misma dirección general N-E del caño existente y con la misma sección de la entrada el K15+300, donde se presenta la primera derivación importante que entrega a la ciénaga de Pajaral, denominada Salida La Fuente; desde aquí y hasta la abscisa K21+100, donde se presenta la salida de Los Guayacanes, también hacia Pajaral, y tomando el cauce natural del denominado Caño El Tambor en dirección norte, disminuye su sección a una base de 10.0 m y cambia la pendiente del talud a una relación 2.0 H : 1.0 H que se mantiene en los tramos restantes.

Considerando la urgente necesidad de conducir agua dulce a la Ciénaga de Mendegua, mas al norte, se extendió su recorrido hasta el K-28, donde termina el canal. Desde la salida a Los Guayacanes presenta una sección trapezoidal simple variando su sección a 11.0 y 12.0 metros hasta la abscisa K22+150; de este sitio en adelante su sección permanece constante con base de 6.0 de ancho.

La pendiente de la rasante de canal se mantiene constante a la cota -1.0 msnm desde se derivación hasta la abscisa K2+900, punto a partir del cual se adquiere una inclinación constante que lo lleva a la cota -2.5 en la abscisa K22+141. De aquí en adelante se mantiene con la solera plana en la cota -2.0 msnm.

El proyecto propone como solución para la adecuación de este Caño, una rasante del fondo con cota de solera a la entrada de 0 msnm, con capacidad para derivar agua del Río durante un 99,5% del tiempo, es decir prácticamente bajo cualquier condición hidrológica y de nivel en el Río Magdalena. La sección transversal tendrá un ancho en la base de 4 metros taludes 1,5 a 1,0, y el gasto máximo permitido será de 6 m^3/seg para un nivel máximo en el Río de 2,24 msnm.

En los Planos NEG-1 a NEG-31 se presenta en planta-perfil y secciones transversales el proyecto final de diseño de este caño.

Por ser de gran importancia las derivaciones de La Fuente y Los Guayacanes, por donde se deriva el 70% del caudal, se optó por darles un tratamiento de canal y por tanto se presentan en planos separados. Las salidas denominadas La Fuente (L= 2490 m) y los Guayacanes (L= 2380 m) se derivan del Canal Aguas Negras con una cota de solera de -2.0 msnm, esta se mantiene constante hasta la entrega en la ciénaga de Pajaral, el ancho de la base del canal es de 6.0m. Estos canales se caracterizan por ser profundos y amplios en su tramo inicial y, angostos y poco profundos en la desembocadura.

Por las condiciones del canal Aguas Negras, en especial del trayecto desde el K15+300 hasta la desembocadura, caracterizadas por un abundante bosque de mangle a su alrededor en especial sobre la margen derecha y sometido permanentemente a inundaciones por invierno, se optó por eliminar el terraplén de la margen derecha, permitiendo así el intercambio permanente de agua entre el canal y el terreno anegado. Sobre la margen izquierda están contempladas estructuras de drenaje con compuertas simples (Ver plano GEN-20) que permiten con una adecuada operación, el drenaje de los terrenos localizados en este sector, que acumulen agua en épocas en que el invierno pueda ser de tal magnitud que se inunden los predios. Estas compuertas también pueden operar derivando agua hacia afuera del canal, en temporada de verano.

La excavación calculada para los canales Aguas Negras, La Fuente y Los Guayacanes son de 1'146.600, 27.700 y 27.000 m3 respectivamente. La conformación de terraplenes se cuantificó en 112.300, 11.000 y 1.600 m3, respectivamente.

5.2.4 Canales Isla de Salamanca

Canal Alimentador, Los Almendros y El Torno

Actualmente los caños Los Almendros y El Torno, separados unos 1.200 metros entre sí, se desprenden independientemente del Río Magdalena en el último sector antes de su desembocadura en Bocas de Ceniza. Recientemente, dentro de las obras de recuperación del Canal de Navegable de acceso al Puerto de Barranquilla, diseñadas por el LEH-LF, se modificó el esquema, resultando en una red hidráulica sencilla con captación en la actual entrada al caño el Torno, formando el canal denominado Canal Alimentador. Esta captación se realiza en la cota -1.5 msnm con ancho de base de 6.0 metros.

De la abscisa K0+300 se desprende el Canal El Torno con sección trapezoidal simple de 3.0 m de base a lo largo de su recorrido y manteniendo la cota de solera de -1.5 msnm. El canal alimentador continua en dirección norte y paralelo al río Magdalena con sección de 3.0 m de ancho alimentando la derivación del canal de los Almendros con también ancho de base de 3.0 m. De este punto en adelante mantiene la dirección norte

empalmando con el actual cauce de el caño El Valle, pero reduciendo su sección a un ancho de 2.0 m. La inclinación de los taludes es de 2.0 H : 1.0 V.

La longitud calculada de cada uno de estos canales fue de 6260 m, 2720 m, y 2130 m. para cada uno de los canales Alimentador, El Torno y Los Almendros.

Los volúmenes de excavación y terraplén calculados para cada uno de los canales Alimentador, El Torno y Los Almendros, son 126.500, 64.800 y 38.050, y 39.700, 0 y 1670 m^3, respectivamente

La localización general de estos canales puede apreciarse en el plano GEN-2 y las características propias de cada uno en los planos ALI-1 a ALI-7, TOR-1 a TOR-4 y ALM-1 a ALM-4.

Por su cercanía al Mar, que implica mínima variación de niveles de agua en el Río, no se consideró necesario disponer de control de caudales a la entrada.

En los Planos ALM-01, ALM-02, VAL-01 y VAL-02 del Volumen 4, se presenta el correspondiente Proyecto Preliminar de adecuación de estos dos caños.

5.3 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ENTRADA DE AGUA

Como elemento fundamental para la regulación y el control de los efectos ambientales esperados en la zona, se ha contemplado la construcción de estructuras de control de entrada de agua mediante compuertas. Estas estructuras se han identificado como necesarias en la entrada de los canales Renegado y Aguas Negras.

Las pautas para la definición del diseño, se explicó en detalle en el capítulo 4. Las dos estructuras son similares en cuanto a su esquematización y en la mayor parte de sus dimensiones.

Su característica mas importante consiste en la escogencia de compuertas radiales metálicas, descartando la posibilidad de compuertas planas autodeslizantes.

Cada una de estas estructuras estará equipada de dos compuertas radiales independientes de 4.0 m de diámetro. Localizadas en las abscisas K0+210 en el Canal Renegado y en la abscisa K3+165 en el canal Aguas Negras. En los planos GEN-2 a GEN-4 y GEN-5 a GEN-7 se presentan las estructuras propuestas para los canales Renegado y Aguas Negras; en los planos GEN-8 y GEN-9 se presentan los detalles constructivos comunes a las dos compuertas.

La estructura en detalle se compone de los siguientes elementos:

Zona de transición de entrada, en una longitud de 35 metros que consistente de una placa de 0.25 cm de espesor, que se encuentra limitada por aletas de concreto reforzado, con espesor de 25 cm. Se asume en el diseño que este muro esta soportando la carga lateral impuesta por relleno a lado y lado; la zona central de entrada es sin pendiente con una longitud exterior de 16 m, formado un elemento trapezoidal, las losas laterales del piso tienen una pendiente de 3 Hor : 1 Ver con inclinación hacia el eje del canal de acceso. Con esta placa se pretende evitar la socavación del agua a la entrada a la estructura.

Zona de rejillas y tablones de entrada. Es una rejilla metálica conformada por acero de 1/2 pulgada de diámetro separadas cada 10 cm. y colocadas en forma inclinada de arriba abajo, se compone de cuatro secciones que se ensamblan dependiendo del nivel del agua. Los tablones están conformados por módulos de 40 cm que se colocan horizontalmente taponando la entrada del agua. Tanto los dispositivos de rejillas como de tablones disponen de un sistema de guías (4), que permiten el deslizamiento de los elementos facilitando la colocación y remoción de los mismos. Las guías disponen de anclados a los muros laterales y a la placa mediante platinas y tornillos tal como se aprecia en los detalles de diseño correspondientes. Al fundir la placa las zonas destinadas a los apoyos se construyen en concreto de baja especificación para posteriormente removerlo y colocar todos lo elementos metálicos de anclaje.

Compuerta radial de 4 metros de diámetro con dos brazo de apoyo. La nervadura de la estructura metálica esta compuesta por secciones de acero tipo I según especificaciones indicadas en los planos. La cara exterior de la compuerta se especificó en lámina de acero. La chumacera esta soportada en apoyos de concreto de 1.05 de ancho por 0.20 m de alto, que la amarran estructuralmente a los muros laterales. El eje de rotación de la compuerta se compone de un elemento de acero de 3" de diámetro.

La distancia entre el eje de la chumacera y la placa de fondo es de 1.8 m.

Los muros laterales de apoyo del eje de la compuerta son de 50 cm de espesor. Los muros centrales dividen el flujo en 2 permitiendo la operación mas flexible de las compuertas. La abertura libre de la estructura que permite que funcione ahogada es de 3.28 m. La viga que sirve de obstáculo o soporte para la contención del agua de niveles superiores colocada en el parte superior es de espesor de 0.25. Esta muro cumple también la función de proteger el tubo por donde se encuentra el cable de izamiento que controla la operación de la compuerta.

Caseta de operaciones colocada en la parte superior en la que se instalan los equipos de accionamiento de las compuertas (mecánico y manual). En la parte superior esta colocada una viga que además de servir de soporte para la cubierta de la caseta se emplea como elemento de apoyo durante el accionamiento de poleas durante la

manipulación de los tablones y las rejillas. Desde la zona de disposición de los equipos hasta el fondo del canal interior de la estructura se dispuso una escalera de gato para facilitar el acceso del personal durante reparaciones y las operaciones de mantenimiento.

Se han colocado adicionalmente tablones hacia aguas abajo de la compuerta, de las mismas características a las ya mencionadas, que permitirán eventualmente aislar a la compuerta independientemente de los niveles de agua en el exterior.

Con el propósito de generar pérdidas de energía a la salida de la contracción ocasionada por la compuerta, se diseño una rápida con un foso de disipación la cual baja el nivel de la solera a -3.65m. Se dispuso una viga de concreto de 1.35m altura por 0.60 m de ancha para recibir el impacto del agua producido por la rápida, generando finalmente el resalto hidráulico deseado.

Se dispuso una zona de transición de salida compuesta de una placa de concreto con pendiente adversa, con las mismas características geométricas a las de la zona de entrada, evitándose también posibles socavaciones de la rasante del canal.

La Longitud total de la estructura de control es de 90.8m y el ancho de 52.0 m.

En los planos GEN-2 y GEN-5 se muestra la localización de las estructuras de control en los dos canales, Renegado y Aguas Negras. En el plano GEN-21 se presentan los planos de diseño estructural de las compuertas.

5.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

Como componentes adicionales y necesarios para complementar las obras hidráulicas requeridas, se presentan los diseños de trampas de sedimentos, muelles, estructuras de drenaje y las casetas de vigilancia en las zonas de estructura de control.

5.4.1 Trampas de sedimentos

Para protección de las ciénagas y los propios caños contra procesos de colmatación gradual por los sedimentos derivados del Río, y para racionalizar y simplificar las operaciones de mantenimiento, se diseñaron trampas de sedimentos a la entrada de los canales, inmediatamente aguas abajo de las estructuras de control previstas, con el fin de concentrar en ellas la captura de sedimentos, arenas finas y partículas en suspensión hasta un diámetro de 0,060 mm.

Para el caso del Caño Clarín, la Trampa se ha ubicado a partir de la abscisa K0+989 y tendrá una longitud total, incluyendo las transiciones con ángulo de 18.5 grados, de 600 metros. La base será de 12.0 m y el fondo del sedimentador será constante en la

cota -4.0 msnm., es decir, con un acotamiento de 2 metros por debajo del fondo o solera del canal. En esta forma se dispondrá de una capacidad para alojar sedimentos depositados en ella, de 18.830 m^3, asumiendo una eficiencia de funcionamiento del 80%, lo que implicará un solo dragado anual de este material.

Para los canales Renegado, Aguas negras y los de la isla de Salamanca también se dispondrá de una Trampa de Sedimentos que concentre la depositación de la carga en suspensión aportada por el Río y que permita un periódico y eficiente dragado de mantenimiento y la adecuada disposición del material extraído. Las Trampas se localizarán en las abscisas K0+361, K3+316 y K0+100, respectivamente.

Las demás dimensiones básicas se presentan en la Tabla 4.3.

5.4.2 Puentes

Los cruces de vías intermunicipales, veredales y de accesos a particulares, se harán por medio de puentes en concreto con las luces necesarias para no interferir con el flujo normal de las aguas. Estos puentes se han tipificado según los diseños presentados en las Cartillas del Fondo Nacional de Caminos Vecinales, tanto para la superestructura como para la infraestructura.

El la Tabla 5.3 se presenta la relación de los puentes identificados como necesarios, indicando su abscisa, luz, altura de los estribos, nivel de agua, nivel de cimentación, etc.

En los planos GEN-10 a GEN-15 se presentan los diseños de los puentes tipo, identificados para cada cruce, según se ilustra en la Tabla 5.2.

Es importante aclarar que debido a la magnitud de los canales finalmente diseñados como consecuencia de la directiva enviada a los Consultores sobre las pautas de diseño, no fue posible contemplar con la debida anticipación los estudios geotécnicos detallados de la cimentación de los estribos de los puentes aquí presentados; por tanto, se recomienda en todos los casos ejecutar la debida exploración geotécnica, antes de iniciar la correspondiente construcción de los mismos.

5.4.3 Muelles

Puesto que es necesario suspender el tráfico de embarcaciones en los canales donde se ha dispuesto estructura de control, se ha previsto la construcción de muelles prefabricados de concreto, similares a los empleados por al División de Navegación y Puertos del Ministerio de Obras Públicas.

Estos muelles se localizarán en los primeros metros de la trampa de sedimentos sobre la margen izquierda del canal y contigua a la estructura de control de entrada de agua.

Los muelles consisten de vigas de amarre inclinadas y transversales al eje del canal cimentadas en pilotes de 6.0 m separados con una separación de 3.5 entre uno y otro. En la parte superior estas vigas conforman escalones donde descansan las viguetas que se colocan a manera de bancas de tribuna. La distancia entre eje de vigas es de 2.0 m. Arriba sobre una base compactada de 0.2 m se coloca una placa de concreto de 20 cm de espesor sin ningún tipo de inclinación.

Aunque en estos planos se presenta una cimentación típica y la estructura no presenta en principio mayores exigencias, se recomienda de todas manera realizar una exploración geotécnica para comprobar las bondades de la cimentación propuesta y así poder tomar las decisiones que sean del caso.

En los planos GEN-16 a GEN-18 se presentan los planos estructurales de diseño en planta y cortes.

En los planos GEN-2 y GEN-5 se muestra la localización de los muelles en los canales Renegado y Aguas Negras.

5.4.4 Otras obras

Se han identificado dos elementos que es necesario disponer para el mejor funcionamiento de las obras. Estos son las estructuras de drenaje o derivación lateral mencionadas en la descripción correspondiente a los caños Renegado y Aguas Negras, cuyo diseño estructural se presenta en el plano GEN-19; y la caseta de operaciones para el control y supervisión de las estructuras de control de entrada, su diseño se presenta en el plano GEN-20.

5.5 DISPOSICION DE SEDIMENTOS

La mayor parte de los sedimentos producto de la excavación será dispuesto para la conformación de los terraplenes de confinamiento del flujo. Los excedentes de material se propone manejarlos así:

En el caño Clarín, desde el K-0 al K-13, los parceleros de la zona, quieren elevar los terrenos haciendo explanaciones, mejorando así la productividad de sus cultivos, con material rico en componentes orgánicos. Del K-13 en adelante se empleará para conformar los taludes de los terraplenes propuestos, dejando variable el ancho de la corona, de acuerdo con los volúmenes excavados.

En los canales Renegado y Aguas Negras, el material obtenido en la zona del albardón, se dispondrá donde los propietarios de los predios vecinos deseen rellenar las zonas bajas salinizadas, con el propósito de recuperar estas tierras para ganadería o cultivos y en los tramos finales, se dispondrá para la conformación de los terraplenes.

Las conversaciones con la comunidad propietaria de los predios cercanos a estos canales, se encuentran bastante adelantadas y en algunos casos ya existen principios de acuerdo.

En los canales de la isla de Salamanca, el material excedente de las excavaciones se destinará a conformar los terraplenes laterales.

DEEB SOSSA S en C

DNP - CORPAMAG
GTZ - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Características hidráulicas de los caños — TABLA 5.1

Caños	Longitud m	Cotas cse msnm	Cotas css msnm	base m	Q rio Magd. 7000	Q rio Magd. 10000	Q rio Magd. 14000	Q=0	t %	Qmax m3/s
FASE I		entrada	salida							
Clarin	32305.12	-2.00	-1.50	7/10	13.63	21.96	35.25	0	100	20
Aguasnegras	28018.65	-1.00	-1.50	16/10/11/12/6	39.75	73.46	110.34	0	100	60
Renegado	8089.23	-1.00	-2.00	15	72.02	139.78	215.32	0	100	60
Alimentador	6259.35	-1.50	-1.00	6/20/3/2	12.50	17.56	29.75	0	100	27
Las Fuentes	2496.61	-2.00	-1.50	6	18.83	36.23	55.56	0	100	32
Guayacanes	2368.89	-1.50	-2.00	6	8.32	14.75	21.80	0	100	13
Los Almendros	2723.10	-1.50	-1.50	3	3.91	5.48	9.12	0	100	8
El torno	2134.26	-1.50	-1.50	3	7.30	10.12	16.77	0	100	15
TOTAL										
FASE II										
Clarin	32305.12	-2.00	-1.50	7/10	24.44	47.73	80.54	0	100	20
Aguasnegras	28018.65	-1.00	-1.50	16/10/11/12/6	54.64	97.56	144.40	0	100	80
Renegado	8089.23	-1.00	-2.00	15	91.58	164.71	250.65	0	100	80
Las Fuentes	2496.61	-2.00	-1.50	6	25.36	44.74	67.26	0	100	40
Guayacanes	2368.89	-1.50	-2.00	6	12.78	23.22	33.16	0	100	21
TOTAL										

CONVENCIONES:

cse :nivel de la solera en la estructura de entrada.
css :cota de fondo del canal en la entrega a las cienagas.
Q=0 :caudal en el rio Magdalena que implica no captación de agua.
t% :porcentaje de tiempo en que se puede captar agua en el rio Magdalena.
Qmax :máximo caudal contemplado por la estructura y el canal.
msnm :metros sobre el nivel del mar.

DEEB SOSSA S en C

DNP - CORPAMAG
GTZ - PROCIENAGA

PLAN DE RECUPERACION DEL COMPLEJO LAGUNAR
DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Especificaciones de las estructuras de control

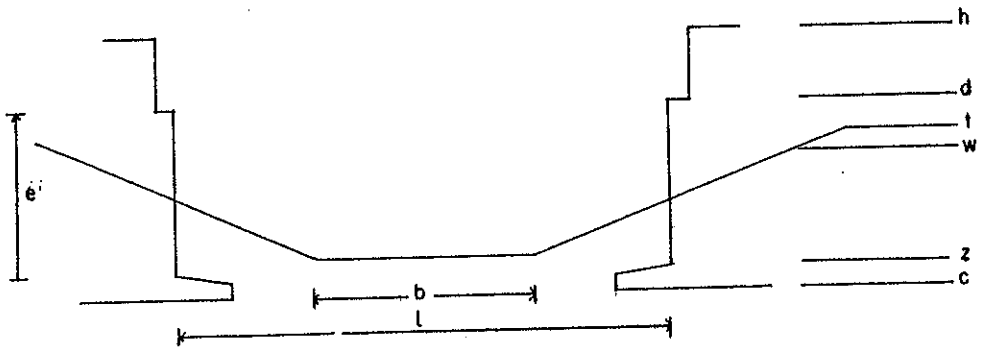
Caños	cse msnm	base m	Qmax m3/s	H m	Qrm m3/s	Yrm msnm
FASE I						
Aguasnegras	-1.00	16/10/11/12/6	60	3.70	9300	4.13
Renegado	-1.00	15	60	3.27	6333	2.30
FASE II						
Aguasnegras	-1.00	16/10/11/12/6	80	3.69	9300	4.13
Renegado	-1.00	15	80	3.45	6633	2.48

CONVENCIONES:

cse : Cota solera de entrada en metros sobre el nivel del mar.
Qmax : Caudal máximo de operación.
H : Profundidad del flujo.
Qrm : Caudal para el rio Magdalena.
Yrm : Nivel máximo de las aguas en el rio Magdalena a la entrada del caño en metros sobre el nivel del mar.

PUENTES

DIMENSIONES DE DISENO



CONVENCIONES

b =	Base del Canal [m]
L =	Luz del puente [m]
e =	Altura del estribo [m]
h =	Cota maxima del puente nivel de rodadura [msnm]
d =	Cota descanso de vigas [msnm]
t =	Cota del terraplen [msnm]
w =	Cota maxima del agua [msnm]
f =	Cota fondo canal [msnm]
z =	Cota superior zapata [msnm]
c =	Cota de cimentacion [msnm]
s =	Resistencia requerida del suelo [Kg/cm2]

CANO	Abcisa	Tipo	b	L	e	h	d	t	w	f	z	c	s
REN-Carretera	150	1	15.0	16 Y 16	8.0	7.96	6.57	5.77	5.37	-1.01	-1.43	-2.58	2.0
					* 9.0	7.96	6.57	5.77	5.37	-1.01	-2.43	-3.13	2.0
REN-La Esperanza	1260	5	15.0	24.0	5.5	5.20	3.31	2.51	2.11	-1.16	-2.19	-3.19	2.0
REN-La Trapichera	2360	5	15.0	24.0	5.5	5.08	3.19	2.39	1.99	-1.28	-2.31	-3.31	2.0
REN-Los Gringos	6223	5	15.0	24.0	5.5	4.57	2.68	1.88	1.48	-1.76	-2.82	-3.82	2.0
CLA-Pte Carretera	776	2	7.0	16.0	6.5	4.83	3.44	2.64	2.24	-2.00	-3.06	-4.16	1.5
CLA-Pte El Tigre	2186	3	7.0	16.0	5.5	4.00	2.61	1.81	1.41	-2.00	-3.89	-4.99	1.5
NEG-Pte Carretera	3105	4	16.0	24.0	8.0	7.41	5.52	4.72	4.32	-1.00	-2.48	-3.78	2.0
NEG-Pte 2	5842	5	16.0	24.0	5.5	5.23	3.39	2.59	2.19	-1.20	-2.11	-3.11	2.0
NEG-Pte La Mora	9174	5	16.0	24.0	5.5	4.97	3.08	2.28	1.88	-1.50	-2.42	-3.42	2.0
NEG-Pte Hueso	13500	5	16.0	24.0	5.5	4.53	2.64	1.84	1.44	-1.90	-2.86	-3.86	2.0

* Puente con pila en el centro

o Ancho de los estribos 8.2 m
o Ancho del carreteable 4.6 m

REN - Cano Renegado
CLA - Cano Clarin
NEG - Cano Aguas Negras

TABLA 5.2

CAPITULO 6

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

6.1 GENERALIDADES

Este capítulo hace referencia al proceso constructivo básico de las obras contempladas en la fase 1 del proyecto de Recuperación del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la Isla de Salamanca,

Este capítulo incluye la programación general de las obras y la relación del equipo mínimo identificado para la realización de los trabajos.

6.2 OBRAS CONTEMPLADAS

Las obras contempladas corresponden a las descritas en el capítulo 5 de este volumen, las cuales se resumen así:

CANALES

- Caño Clarín
- Caño Renegado
- Caño Aguas Negras con los caños La Fuente y Los Guayacanes
- Caños Isla de Salamanca compuestos por Canal El Alimentador - El Torno y los Almendros

ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ENTRADA

- Estructura Caño Renegado
- Estructura Caño Aguas Negras

OBRAS COMPLEMENTARIAS

- Puentes
  - Caño Clarín (2)
  - Caño renegado (4)
  - Caño Aguas Negras (4)
- Sedimentadores

Caño Clarín	Longitud=600m ; Ancho=12m
Caño Renegado	Longitud=500m ; Ancho=20m
Caño Aguas Negras	Longitud=420m ; Ancho=16m
Caños I. Salamanca	Longitud=100m ; Ancho=20m

Muelles
- Caño Renegado
- Caño Aguas Negras

Otras
- Estructuras de Drenaje
  - Caño Renegado
  - Caño Aguas Negras

6.3 CONSIDERACIONES BASICAS

La principal actividad de obra, dado su carácter crítico en virtud de la magnitud del volumen a remover, es la excavación de los canales, para la cual se exige mantener permanentemente con agua los canales durante la construcción. Esta consideración obedece a restricciones geotécnicas resultantes de los estudios detallados de la estabilidad de los taludes. (Ver capítulo 4). Esto implica condiciones difíciles durante la construcción, que reduce los rendimientos normales en un 35% aproximadamente.

Las demás actividades de obra no generan condiciones especiales o exigencias particulares que impliquen rendimientos diferentes a los obtenidos normalmente en la práctica de la construcción. Solo cabe observar la necesidad de identificar una fuente cercana y buena de material pétreo para el concreto.

Las especificaciones técnicas de todas las actividades de obra previstas, se presentan en los volúmenes anexos correspondientes a los pliegos de Licitación.

6.4 PROGRAMA DE CONSTRUCCION

Se ha escogido presentar los cronogramas de construcción, tomando como unidad cada caño, suponiendo que será de esta manera como se contratarán los trabajos.

En las figuras No. 6.1 a 6.4 se presentan los cronogramas para las obras, agrupando las principales actividades contempladas. El cronograma previsto para el Canal Aguas Negras incluye los valores calculados para las derivaciones de La Fuente y Los Guayacanes.