

Dique direccional y obras complementarias del puerto de Barranquilla

Pedro Gutiérrez Visbal*, Layton González-Rubio**,
Juan Carlos Burgos***

1. Antecedentes

Como consecuencia de la creciente presentada en el río Magdalena en el año de 1971, en el Sector Siape se originó un proceso de erosión marginal que se reflejó en el afloramiento de la Isla 1972 y el desplazamiento del canal navegable hacia el brazo derecho del río, separándose así de los principales muelles privados del Puerto de Barranquilla.

Este proceso erosivo continuó durante la década de los años setenta, generando procesos de sedimentación que restringían las condiciones de profundidad del canal navegable, hasta que a principios de la década de los años ochenta se agudizó el problema al punto que no se pudo resolver con el equipo de dragado

disponible, ocasionando serias restricciones para el acceso de embarcaciones de gran calado al Terminal Público del Puerto de Barranquilla.

El Ministerio de Obras Públicas y Transporte encargó a partir de 1986 a la Universidad del Norte el manejo técnico y administrativo del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de las Flores, con el propósito principal de diseñar las obras de adecuación requeridas para la estabilización del canal navegable del río Magdalena.

A partir de la información recopilada, de los estudios realizados y con el apoyo de modelos matemáticos, físicos y la asesoría de expertos nacionales y extranjeros, el Laboratorio identificó las diferentes alternativas de solución y conjuntamente con los asesores holandeses de Haskoning y del Laboratorio de Delft se diseñaron las obras respectivas.

En diciembre de 1988, el laboratorio de Las Flores entregó al Ministerio de Obras Públicas y Transporte el informe final con los diseños del conjunto de obras que se conocen como el *Dique direccional y obras complementarias para la adecuación del canal de acceso al puerto de Barranquilla*.

* Ingeniero civil de la Pontificia Universidad Javeriana. Decano de la División de Ingenierías de la Universidad del Norte y Director del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores. Gerente del Proyecto Dique direccional y obras complementarias en el canal de acceso al Puerto de Barranquilla.

**Ingeniero civil. Especialista en Ingeniería Hidráulica. Director Técnico de la Gerencia de Proyecto Dique direccional. Actualmente es profesor en el programa de Ingeniería Civil y de la Especialización en Hidráulica de Ríos y Costas, Universidad del Norte.

***Ingeniero civil. Aspirante al título de Especialista en Administración de Obras Civiles, EAN - Corporación Universidad Tecnológica de Bolívar. Ingeniero del Departamento Técnico de la Gerencia del Proyecto Dique direccional.

2. Descripción de las obras

El Dique Direccional y Obras Complementarias es un conjunto de obras hidráulicas que se construyeron en el último tramo del río Magdalena en inmediaciones del barrio Siape de Barranquilla. Tiene el propósito de estabilizar el canal de acceso al puerto para permitir el ingreso de embarcaciones de alto bordo minimizando los dragados de mantenimiento que se realizaban en el sector.

El proyecto comprende las siguientes obras (ver figura N° 1):

- *Dique en Roca*

Es un dique impermeable en roca de unos 1.200 m de longitud arraigado en la margen oriental del río Magdalena con una orientación de unos 30° con respecto a la orilla.

Esta estructura está compuesta por varias subestructuras. Estas son (ver figura No. 2): dos diques de contención de arena para el realce del lecho del río, rellenos hidráulicos en arena, dragado de una trinchera de cimentación, un manto de enrocado de protección del talud, y el dique de coronamiento en enrocado, parte visible de la estructura.

Para la conformación de estas subestructuras se utilizaron cuatro tipos de roca:

- Roca Tipo A : Peso entre 40 y 320 kg. Diámetro entre 0.30 - 0.60 m.
- Roca Tipo B : Peso entre 5.0 y 80 kg. Diámetro entre 0.15 - 0.40 m.
- Roca Tipo C : Peso entre 0.2 y 20 kg. Diámetro entre 0.05 - 0.24 m.
- Roca Tipo D : Ripio de cantera.

El empleo de uno u otro tipo de roca, dependía de la acción que el río ejerce sobre cada una de las partes que conforman la estructura.

- *Dique en Arena*

Es una estructura conformada con la arena proveniente de las labores de dragado para la construcción del Dique, de unos 585 m de longitud, cuyo propósito es cerrar la comunicación entre el brazo izquierdo del río y el brazo derecho, y los caños y brazuelos del río existentes en la isla.

- *Rehabilitación Margen Occidental*

Consiste en la remoción de rellenos artificiales realizados por algunos propietarios de los predios ubicados en la ribera, y del material aluvial sedimentado posteriormente como consecuencia de estos, para devolverle al río la morfología natural que exhibía en la década de los años sesenta.

- *Dragado Canal Alterno*

Con el objeto de permitir el acceso de embarcaciones al Puerto de Barranquilla durante el proceso de construcción de la obra, fue necesario habilitar un canal alternativo de navegación puesto que el eje del proyectado Dique Direccional estaba ubicado precisamente en el alineamiento del antiguo canal de navegación.

- *Construcción Canal Alimentador Parque Isla de Salamanca*

Esta actividad comprendía la construcción de un canal para abastecer de agua dulce al Parque Isla de Salamanca, con el propósito de mitigar el impacto

ambiental que el Dique Direccional ejercería al cegar dos caños que alimentaban de agua dulce el complejo de ciénagas del Parque.

4. Contratación de las obras

La construcción del Dique Direccional ha sido sin lugar a dudas una obra única en Colombia. Se requirió tanto de una tecnología apropiada para la construcción como de un manejo administrativo particular, para lo cual el Ministerio de Transporte decidió emplear la figura de Gerencia de Proyecto.

Adjudicado el contrato de construcción de las obras por el sistema de administración delegada a la firma Condux S.A. de C.V., el Ministerio de Transporte aprovechando la experiencia que había adquirido la Universidad del Norte en relación con el proyecto, contrató sus servicios para que ésta asumiera en su nombre la Gerencia del Proyecto.

La interventoría de los trabajos se suscribió con el consorcio Hidroestudios S.A. de Bogotá y la firma Senior Y Viana de Barranquilla previo concurso de méritos.

Adicionalmente, el proyecto contó con una asesoría extranjera patrocinada por la Agencia de Cooperación Internacional del gobierno holandés, la cual se desarrolló a través de la firma Haskoning, Compañía Real Holandesa de Ingenieros Consultores y Arquitectos, que participó en el estudio y diseño de las obras.

5. Subcontratistas principales

Para la construcción de las obras, la firma Condux S.A. de C.V. formalizó los siguientes subcontratos principales con las

firmas mencionadas a continuación:

Dragado del canal alterno : Coldragados S.A.

Explotación de roca : Cementos del Caribe S.A.

Transporte de roca : Transporte Sánchez Ltda.

Dragado y colocación de roca : Jan de Nul N.V.

Dragado margen occidental : Jan de Nul N.V.

Canal alimentador : Donado y Cía.

6. Organización administrativa del Proyecto

6.1. Esquema organizativo del Proyecto

La Gerencia del Proyecto representaba la máxima autoridad de la obra actuando en nombre del Ministerio de Transporte ante el Constructor, el Interventor y ante las autoridades directa e indirectamente involucradas en el desarrollo del proyecto. La obra giraba alrededor de un Comité de Obra, del cual formaban parte el Gerente del Proyecto, quien lo presidía; el Interventor, el Constructor y el Director del Terminal de Barranquilla o un representante del Ministerio de Transporte

6.2. Función de la Gerencia del Proyecto

La función principal de la Gerencia fue velar para que la construcción de la obra se realizara dentro de las especificaciones técnicas previamente establecidas, cumpliendo con las limitaciones de presupuesto y con el tiempo de ejecución asignado. Entre sus actividades principales se encontraban:

- Presidir el Comité de Obra
- Ejercer la vigilancia técnica, administrativa y contractual del proyecto
- Administrar el Contrato de Obra, sin menoscabo de las responsabilidades que sobre éste tuviera el Contratista, la Interventoría y el Ministerio de Transporte
- Procurar la entrega de sitios, instalaciones, equipos y otros suministros a que se comprometiera el Ministerio de Transporte con el Contratista, a su debido tiempo
- Procurar la disponibilidad y entrega oportuna al Contratista de los recursos financieros, su correcta aplicación en el tiempo justo y dentro de los recursos previstos
- Mantener actualizado el proyecto en su diseño, incluyendo cambios o modificaciones que surgieran en el desarrollo de la obra
- Supervisar el contrato de la Interventoría

La Gerencia del Proyecto estaba conformada por tres departamentos, el administrativo, el técnico y el jurídico, cada uno de los cuales asistía con sus funciones al gerente. Adicionalmente, se contaba con la asesoría del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de las Flores y los asesores extranjeros.

7. Ejecución del Proyecto

El contrato principal del Proyecto se inició el día 25 de octubre de 1993, con las actividades preliminares para dar comien-

zo a las labores físicas de construcción.

7.1. Actividades preliminares

Con la construcción del canal alternativo se iniciaron en firme las obras del Dique Direccional en el mes de diciembre de 1993, que finalizaron en enero de 1994. Se dragaron aproximadamente 460000 m³ de material, los cuales fueron depositados en el cauce del río.

Además de la construcción del canal alternativo, como actividad preliminar fue necesario construir un muelle provisional para la transferencia de la roca. Este muelle se construyó en los predios de la Nación adyacentes al lote de Rodolfo Steckerl y Sucesores. Su ejecución se le adjudicó a la firma Alvarado y During.

8. Secuencia constructiva del Dique Direccional

El proceso constructivo del Dique Direccional se inició en enero de 1994 con la construcción del dique de contención de arena inferior; terminado éste se procedió a realizar el relleno hidráulico a su espalda (ver figura N° 3). El material utilizado en esta actividad provenía del dragado de la primera etapa de la trinchera. Finalizado el relleno hidráulico inferior se procedía a construir el dique de contención superior y a realizar el relleno hidráulico superior. Para este relleno se utilizaba el material dragado en la segunda etapa de la trinchera. Se continuaba entonces con la colocación de la capa protectora en roca y se finalizaba con la construcción del dique de coronamiento.

8.1. Construcción diques de contención

Los diques de contención tienen como

función realzar el nivel del lecho del río de manera que la cantidad de roca fuera mínima. La roca utilizada en esta actividad es la tipo D.

Para ello se utilizaron tres barcasas de quilla articulada, las cuales eran cargadas mediante una retroexcavadora en el muelle provisional. Una vez cargadas las barcasas, estas eran remolcadas hasta el sitio de descargue, el cual se localizaba mediante un sistema de posicionamiento computarizado ubicado a bordo de un planchón o «Pontón de Posicionamiento» que se fija en el lecho del río mediante puntales (ver figura N° 4).

Descargado el material, se procedía a perfilar la sección conforme a las líneas de diseño, empleando para ello la retroexcavadora flotante «Karl Weiss», la cual está dotada de una cuchara de 3.5 metros cúbicos de capacidad. Este equipo posee un sistema de posicionamiento computarizado mediante el cual monitorea todos los movimientos del brazo, permitiéndole conformar la sección de diseño de acuerdo con las tolerancias especificadas.

El dique de contención inferior tiene como cota de corona 94 m y el dique de contención superior tiene su corona en la cota 96.5 m. Ambos tienen un ancho de cresta de 3 m, talud 1V:4H en la cara aguas arriba del dique, mientras que el talud aguas abajo es 1V:2H.

Para la construcción de estos diques se necesitaron 170.000 m³ de roca tipo D, esta actividad se inició los primeros días de enero y se terminó a finales de marzo.

8.2. Dragado de trincheras y rellenos hidráulicos

Estos trabajos fueron ejecutados por la draga «Vesalius», propiedad de la firma Jan de Nul. La Vesalius es una draga de succión con cortador y posee tres bombas (una de ellas sumergida) con una capacidad total de bombeo de 8730 CV. Tiene una eslora total de 93.25 m y una profundidad máxima de dragado de 25 m. La descarga del material dragado la realiza por medio de tuberías. Para este proyecto se contó con 800 metros de tubería flotante y 1.200 m de tubería de tierra.

La trinchera tiene sección trapezoidal con 10 m de ancho en la solera, pendiente 1V:3H en la cara aguas arriba y 1V:4H en la cara aguas abajo, y cota de fondo 81.5 m. La cantidad de material dragado en la trinchera fue de 808.035 m³.

Para controlar la correcta ejecución de estos trabajos se realizaban sondeos batimétricos de pre y postdragado, con los cuales se medían las cantidades de obra ejecutadas. Adicionalmente, la draga cuenta con un equipo de posicionamiento computarizado acoplado a un sensor que permitía un control muy preciso de la posición del cortador en todo momento.

8.3. Colocación capa protectora en roca

Finalizada la construcción de los diques de contención se procedía a protegerlos mediante la colocación de un manto conformado por dos capas de roca. Cada capa de roca tiene 0.5 m de espesor; la capa inferior es en roca tipo C en toda la extensión del dique, mientras que la capa superior estaba conformada por roca tipo A o B dependiendo de la fuerza que sobre

la estructura ejerce el río. Las zonas donde la roca es tipo A están ubicadas en el empalme anclaje-cuerpo y en el extremo del dique.

El equipo utilizado para esta actividad fue el «Pompei», embarcación autopulsada de descarga lateral de roca, provista de un sistema de posicionamiento dinámico. Esta barcaza posee una capacidad de carga de 1.750 toneladas, distribuidas en cuatro compartimientos.

Después de cargado con la roca en el muelle, el Pompei se dirigía al sitio en el cual se iba a descargar la roca. La ubicación del sitio se realizaba mediante el equipo de posicionamiento dinámico. Ubicado en el sitio de descarga, los controles del Pompei eran asumidos por un computador, el cual acciona los motores del barco a una rata constante, determinada con base en el tipo de material a descargar, el espesor de la capa de roca deseado, la velocidad de la corriente, etc. (ver figura No. 5).

Por limitaciones de calado, la labor del Pompei se restringía hasta la cota 96 m. De esta cota hacia arriba la roca en la capa protectora era colocada por la retroexcavadora Karl Weiss.

8.4. Dique de coronamiento

La última etapa corresponde al dique de coronamiento, el cual debía ser construido a continuación de la capa protectora. Las características constructivas del dique de coronamiento son:

- Cota corona : 102.0m (Absc. 0-110 y 803 - 1.200 m)
- 101.5m (Absc. 110-803m)

-Ancho corona : 2 m

-Talud : 1H : 1.5V

9. Problemas técnicos registrados durante el proceso constructivo

El comportamiento de los caudales presentados en el río Magdalena durante la construcción del Dique Direccional fue superior al esperado. Por lo general, en el período de estiaje los caudales del río llegan en promedio hasta unos 3.500 m³/s, situación que no se reprodujo en 1994, puesto que el régimen de lluvias presentado en el interior del país trajo como consecuencia que el descenso del caudal sólo llegara hasta los 4.500 m³/s.

A partir de la segunda quincena de marzo se inició nuevamente el incremento de los caudales. Se alcanzaron valores cercanos a los 10.000 m³/s en la segunda quincena del mes de junio, caudales que sólo se presentan excepcionalmente.

A medida que se desarrollaron los trabajos, las trayectorias del flujo se empezaron a modificar generándose en el mes de mayo un flujo longitudinal, el cual ocasionó un proceso de erosión aguas abajo del dique, llegando a amenazar la estabilidad de las obras construidas hasta ese momento. En consecuencia, se adoptó la decisión de cerrar definitivamente el dique de arena antes de proseguir con los trabajos de relleno y protección de la berma superior.

De igual manera, fue necesario realizar ajustes a la programación y a los métodos constructivos con el fin de terminar los trabajos dentro del tiempo previsto.

10. Cantidades y costos finales del proyecto

Al finalizar los trabajos del Dique Direccional se explotaron y transportaron un total de 334.970 toneladas de roca tipo D, 147.401 toneladas de roca tipo C, 91.748 toneladas de roca tipo B y 76.139 toneladas de roca tipo A.

Se dragaron 214.545 m³ de material en el anclaje, 808.035 m³ en la trinchera, 456.259 m³ para construir el canal alterno. En los trabajos de la margen occidental se dragaron 1'241.065 m³, para un total de 2'719.904 m³.

En cuanto a la actividad de colocación de roca, en el siguiente cuadro se muestran las cantidades colocadas:

Roca Tipo	Anclaje (Ton)	Cuerpo (Ton)
A	6.161	67.625
B	17.796	61.520
C	17.100	130.301
D	4.477	328.610

El costo total de la obra ascendió a la suma de \$ 25.000'000.000, cuya financiación fue cubierta con recursos de la Nación.

11. Comportamiento del río

A partir del mes de mayo de 1994, época en la cual el Dique se encontraba en plena construcción, se empezaron a registrar los efectos benéficos de la obra, razón por la cual se suspendieron las labores de dragado de mantenimiento en el sector, y se dedicó todo el esfuerzo del equipo de dragado disponible a mantener y mejorar las condiciones de navegación en el sector

de Bocas de Ceniza en la desembocadura del río Magdalena.

Desde ese momento, el canal exhibe en el sector crítico de Siape una condiciones que superan las expectativas: un ancho de unos 300 metros y profundidades que llegan a los 60 pies (18 m.). Igualmente, el canal en el sector industrial se mantiene recostado hacia la margen occidental del río, con lo cual se han rehabilitado un conjunto de instalaciones portuarias que se encontraban fuera de servicio por problemas de sedimentación.

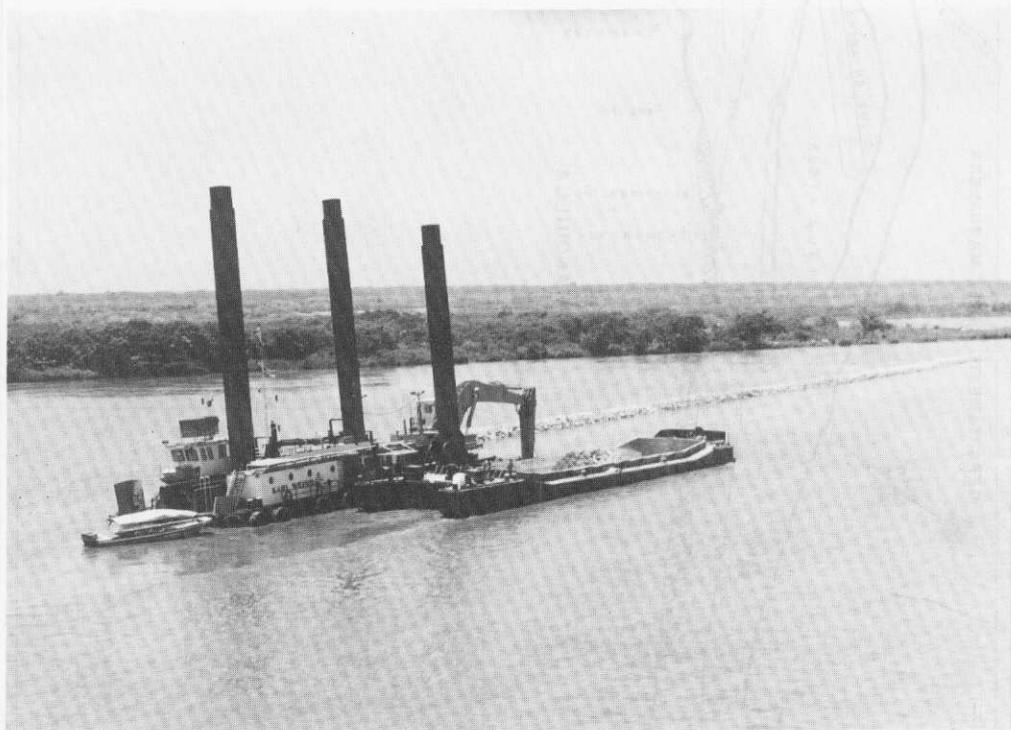
A partir de entonces, se ha podido mantener y garantizar de manera continua un calado permisible de treinta pies, situación no registrada en el puerto en las últimas décadas. Las excelentes condiciones del canal han permitido ingresar al puerto embarcaciones con calados que superan aun la cifra de los treinta pies, y las restricciones de profundidad disponible se registran en el sector de la desembocadura, en donde históricamente se presentaban bajos que determinaban las limitaciones del canal. En consecuencia, todos los esfuerzos de dragado se concentran actualmente allí, los cuales son, sin lugar a dudas, muy inferiores a los requeridos en el sector de Siape antes de la construcción del Dique Direccional.

Conviene destacar que hasta el momento, transcurridos tan solo seis meses de su inauguración, el ahorro que se ha conseguido por disminución en la necesidad de dragados representa aproximadamente un 20 % de la inversión del gobierno en la obra, lo que indica su alta rentabilidad.

La presencia del Dique Direccional constituye sin duda un valioso aporte de

la Universidad del Norte para el despegue de Barranquilla y su puerto, al devolverle la confianza y seguridad de un canal estable, que permite vislumbrar la posibilidad de nuevas obras para mejorar las condiciones del canal y ampliar la capacidad del puerto para atender naves de mayor capacidad. La construcción del Dique Direccional fue posible gracias a la

estrecha cooperación entre las entidades que participaron en la ejecución del proyecto, lo que permitió adelantar una obra tan compleja como ésta, cumpliendo estrictamente con el tiempo, presupuesto y las especificaciones previstas, lo cual la convierte en una obra modelo en el ámbito nacional.



Aspecto de la construcción del coronamiento del Dique Direccional

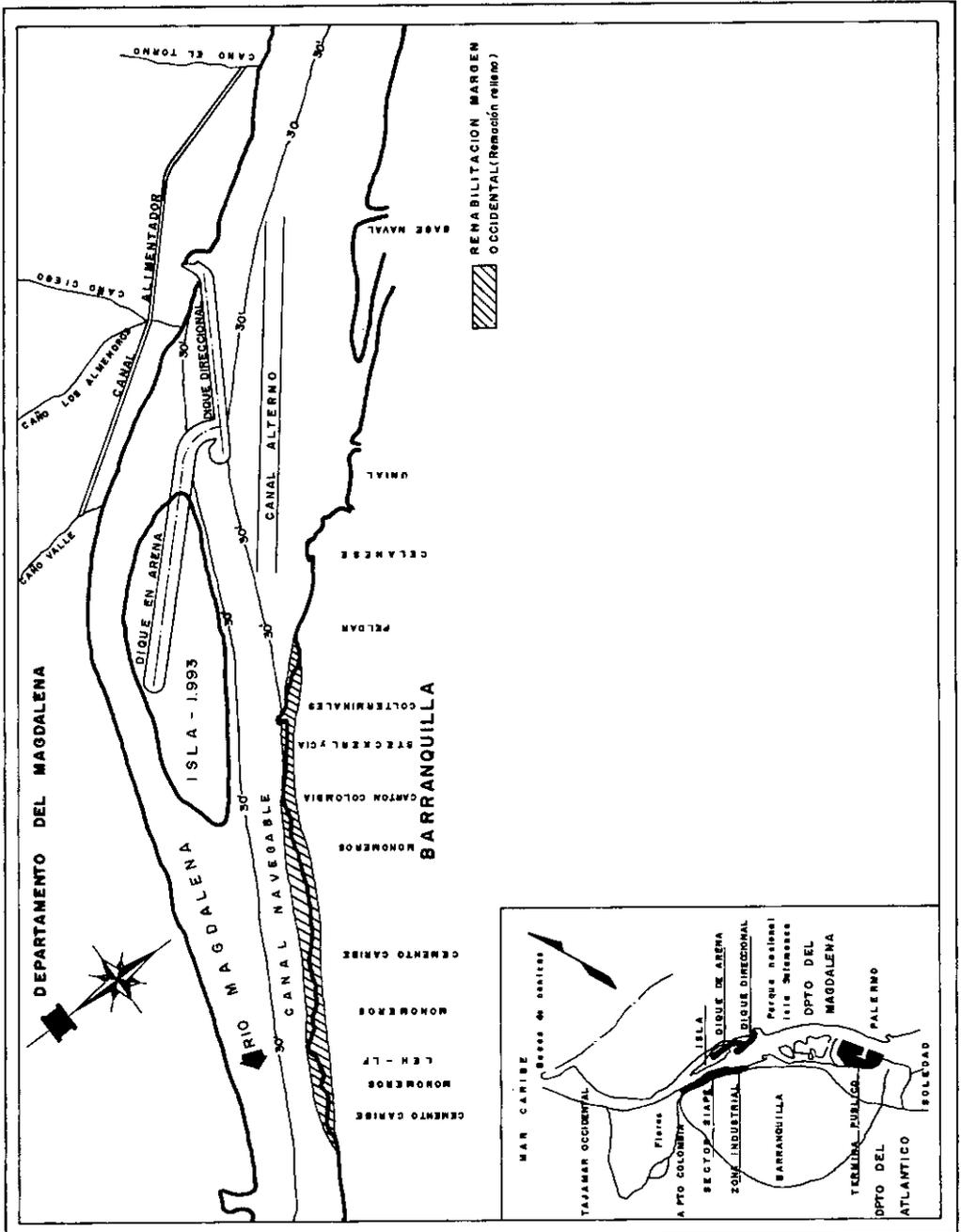


Figura 1. Proyecto Dique Direccional. Esquema de las obras principales
 Gerencia Proyecto Dique Direccional
 Ministerio de Transporte
 Universidad del Norte

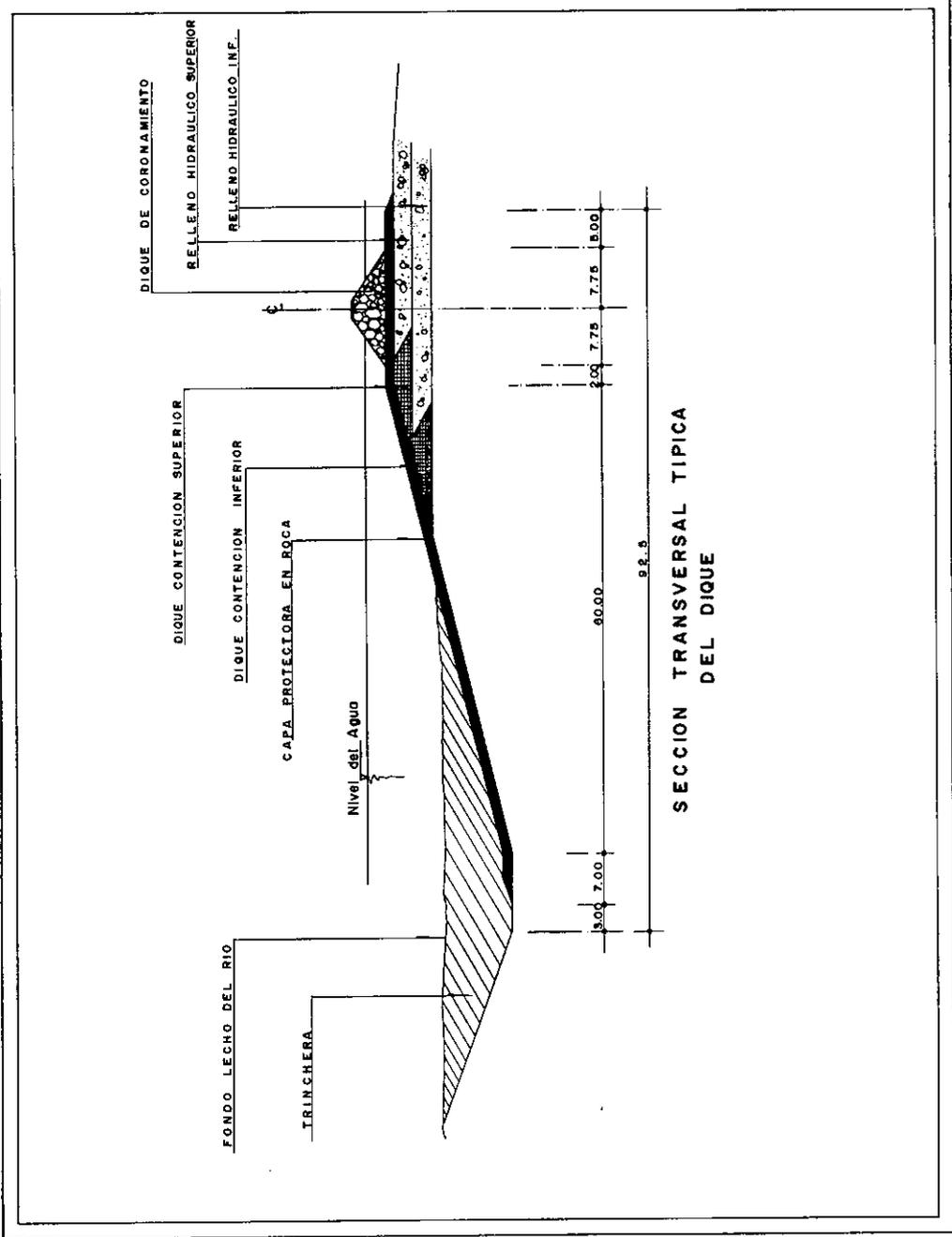


Figura 2. Sección transversal típica del Dique
 Gerencia Proyecto Dique Direccional
 Ministerio de Transporte
 Universidad del Norte

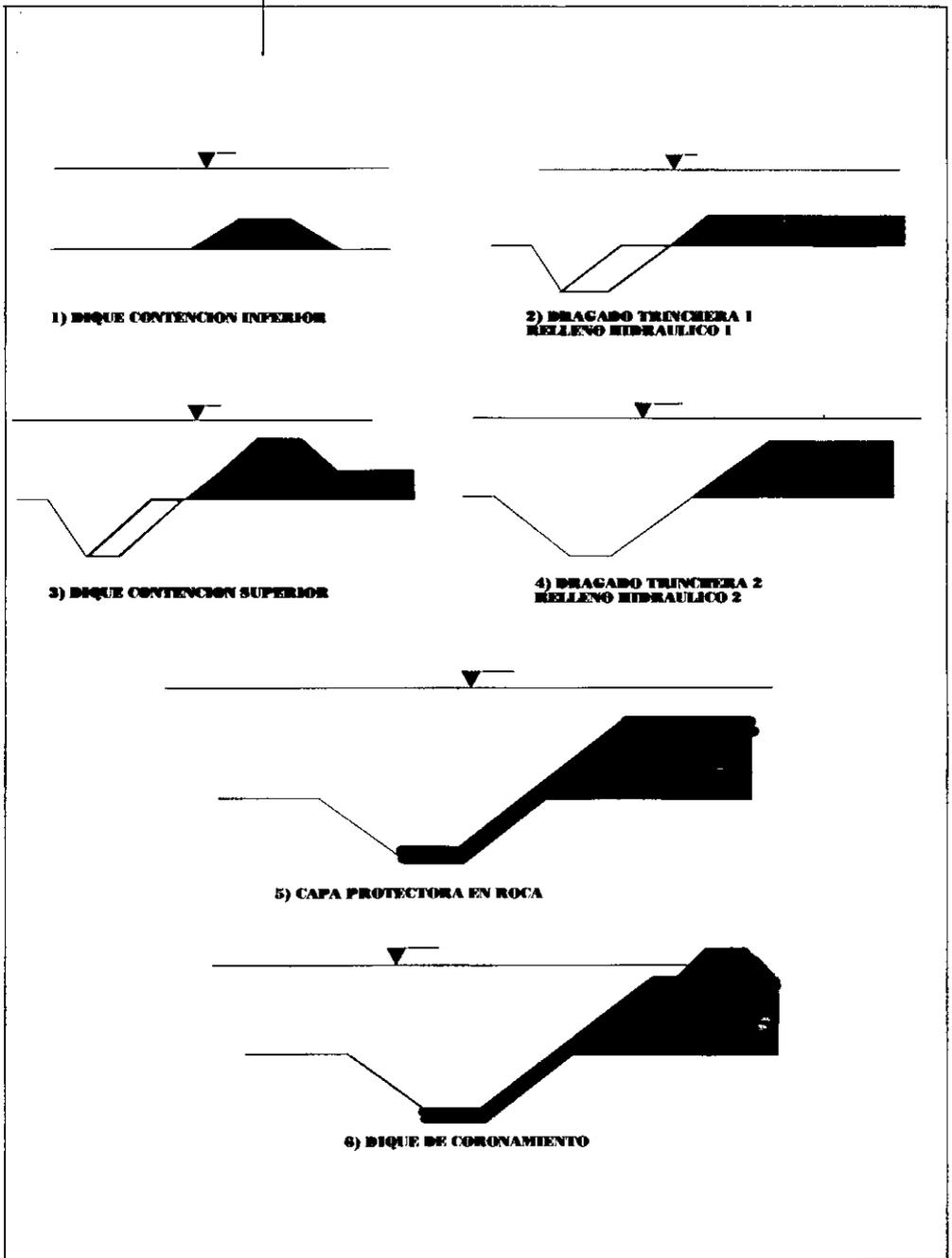


Figura 3 Proceso constructivo Dique Direccional
 Gerencia Proyecto Dique Direccional
 Ministerio de Transporte
 Universidad del Norte

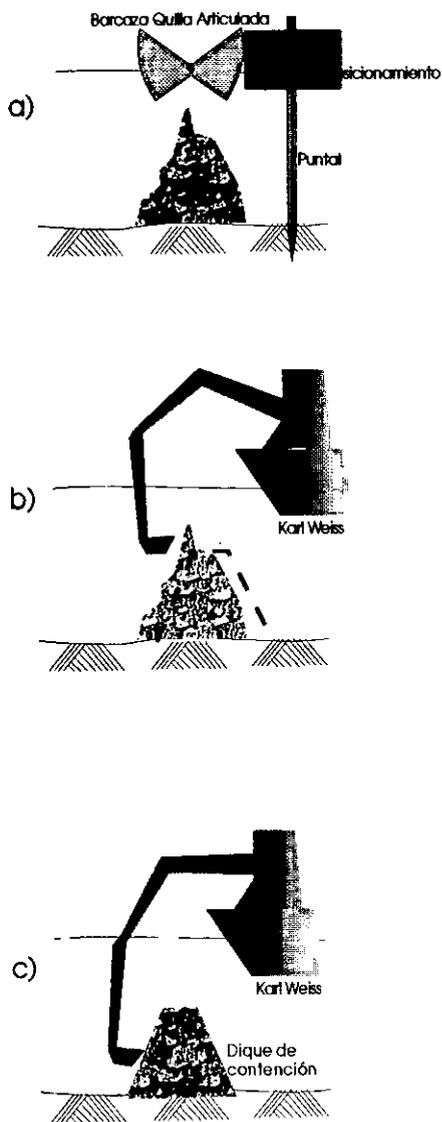


Figura 4. Perfilamiento Dique Direccional
 Gerencia Proyecto Dique Direccional
 Ministerio de Transporte
 Universidad del Norte

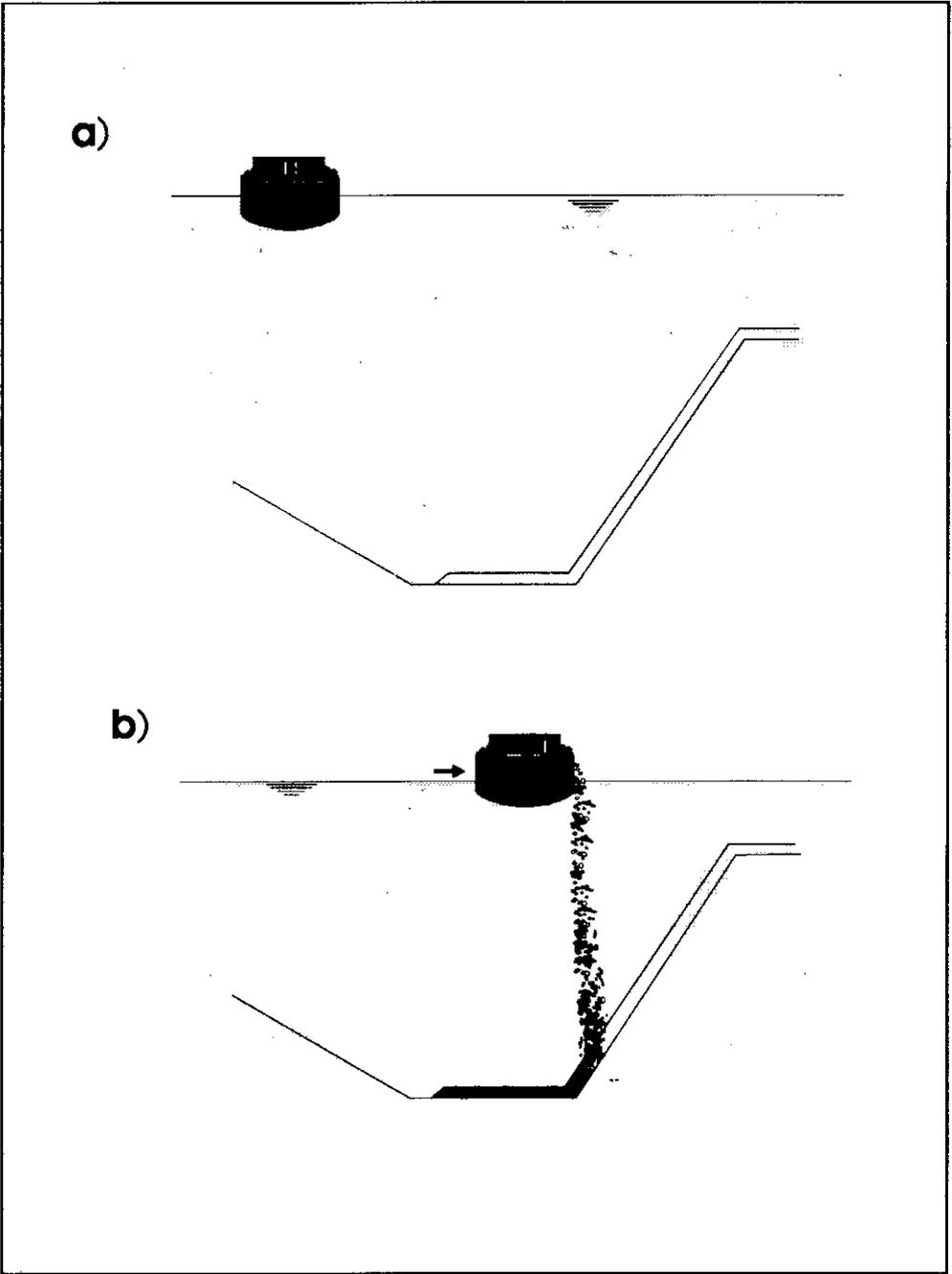


Figura 5. Esquema colocación de roca barcaza Pompei
Gerencia Proyecto Dique Direccional
Ministerio de Transporte
Universidad del Norte