

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA**

**DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL ALTO SINU**

**CORELCA**

**VOLUMEN II**

**1977**





DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL ALTO SINU  
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

VOLUMEN II

ESQUEMAS DE PROYECTOS  
CRITERIOS DE DISEÑO  
DATOS Y DISEÑOS HIDRAULICOS

CONSORCIO ALTO SINU  
INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA

ASESORES

CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.

FEBRERO - 1977

VOLUMEN II

ESQUEMAS DE PROYECTOS - CRITERIOS DE DISEÑO  
DATOS Y DISEÑOS HIDRAULICOS

INDICE

<u>CAPITULO</u>		<u>PAGINA</u>
1	INTRODUCCION	1-1
2	PROYECTOS ESTUDIADOS	
	2.1. Generalidades	2-1
	2.2. Descripción general de las Zonas de Desarrollo	2-1
	2.3. Posibles sitios de Desarrollo	2-2
3	HIPOTESIS Y CRITERIOS DE DISEÑO	
	3.1. Generalidades	3-1
	3.2. Cotas de Embalse y Presa	3-1
	3.3. Niveles mínimos en los Embalses	3-2
	3.4. Nivel de agua, Aguas abajo de las Presas	3-2
	3.5. Crecientes de Diseño y Desviación	3-2
	3.6. Hipótesis empleados en el diseño hidráulico - Urrá I	3-3
	3.7. Hipótesis de Diseño Hidráulico - Urrá II	3-6
	3.8. Diseño Hidráulico - Verde	3-6
	3.9. Diseño Hidráulico - San Jorge	3-7
	3.10. Presas de Enrocado	3-7
	3.11. Energía para la Construcción	3-8
	3.12. Voltaje de Generación	3-8

CAPITULOPAGINA

3.13.	Voltaje de Transmisión	3-9
3.14.	Sistemas Auxiliares	3-10
3.15.	Sistema de Corriente Continua	3-11
4	PROYECTO DE URRÁ I	
4.1.	Introducción	4-1
4.2.	Sitios Estudiados en la Primera Etapa	4-1
4.3.	Desarrollo del Diseño	4-2
4.4.	Descripción del Esquema Seleccionado Urrá I-135	4-8
4.5.	Resumen de las Características Generales del Proyecto Urrá I-135	4-26
5	PROYECTO DE URRÁ II	
5.1.	Introducción	5-1
5.2.	Sitios Estudiados en la Primera Etapa	5-1
5.3.	Desarrollo del Diseño	5-2
5.4.	Descripción del Proyecto Seleccionado en Urrá II	5-3
5.5.	Resumen de las Características Generales del Proyecto Urrá II-270	5-16
6	DESVIACION DEL RIO VERDE	
6.1.	Introducción	6-1
6.2.	Sitios y Proyectos Estudiados en la Primera Etapa	6-1
6.3.	Desarrollo del Diseño	6-2
6.4.	Descripción del Esquema Recomendado para Factibilidad	6-4
6.5.	Resumen General de las Características del Proyecto	6-10

CAPITULO

PAGINA

7	DESVIACION DEL RIO SAN JORGE	
7.1.	Introducción	7-1
7.2.	Desarrollo del Diseño	7-2
7.3.	Descripción del Esquema Recomendado para Factibilidad	7-2
7.4.	Resumen General de las Características del Proyecto	7-7

## VOLUMEN II

### ESQUEMAS DE PROYECTOS - CRITERIOS DE DISEÑO DATOS Y DISEÑOS HIDRAULICOS

#### FIGURAS

#### CAPITULO

#### 2 PROYECTOS ESTUDIADOS

- 2.1. Sitios Identificados en Prefactibilidad
- 2.2. Localización General del Proyecto

#### 4 PROYECTO DE URRA I

- 4.1. Urrá I-Mano Vieja-135 - Planta General
- 4.2. Urrá I-Mano Vieja-135 - Cortes Bocatoma, Conducción, Casa de máquinas y Desviación
- 4.3. Urrá I-Mano Vieja-135 - Rebosadero Cortes
- 4.4. Urrá I - Alternativas Típicas Estudiadas
- 4.5. Urrá I-135 - Planta General
- 4.6. Urrá I-135 - Presa Cortes Típicos
- 4.7. Urrá I-135 - Cortes Bocatoma, Conducción, Casa de Máquinas y Desviación
- 4.8. Urrá I-135 - Rebosadero Corte Típico
- 4.9. Urrá I-135 - Detalles del Rebosadero
- 4.10. Urrá I-135 - Casa de Máquinas, Planta
- 4.11. Urrá I-135 - Casa de Máquinas Corte transversal en el Eje
- 4.12. Urrá I-135 - Casa de Máquinas Cortes Horizontales
- 4.13. Urrá I-135 - Casa de Máquinas Corte Longitudinal

#### 5 PROYECTO DE URRA II

- 5.1. Urrá II-Alternativas Típicas Estudiadas Presa

## CAPITULO

- 5.2. Urrá II-Alternativas Típicas Estudiadas-Rebosadero
- 5.3. Urrá II-270 - Planta General
- 5.4. Urrá II-270 - Presa Cortes Típicos
- 5.5. Urrá II-270 - Túnel de Desviación Cortes Típicos
- 5.6. Urrá II-270 - Rebosadero Planta y Corte
- 5.7. Urrá II-270 - Detalles del Rebosadero
- 5.8. Urrá II-270 - Túnel de Carga, Planta Cortes
- 5.9. Urrá II-270 - Casa de Máquinas Planta
- 5.10. Urrá II-270 - Casa de Máquinas Corte Transversal en el Eje
- 5.11. Urrá II-270 - Casa de Máquinas Cortes Horizontales
- 5.12. Urrá II-270 - Casa de Máquinas Corte Longitudinal

### 6 DESVIACION DEL RIO VERDE

- 6.1. Desviación Verde - Alternativas Estudiadas
- 6.2. Desviación Verde-308 - Planta General
- 6.3. Desviación Verde-308 - Cortes Típicos

### 7 DESVIACION DEL RIO SAN JORGE

- 7.1. Desviación San Jorge - Alternativas Estudiadas
- 7.2. Desviación San Jorge - Planta General
- 7.3. Desviación San Jorge - Cortes Típicos

En este  
una par  
de die...

El des...  
ca el  
ración  
diseño  
te des  
tura  
sobre  
antid  
ambie...

Durante  
ca 1  
rtes y  
sobre

Para  
mas de  
puerto...

A. ...

B. ...

- A. ...
- B. ...
- C. ...
- D. ...

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION



## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

En este Volumen se describen los diferentes esquemas de proyectos estudiados para las alternativas analizadas y se describen las hipótesis y criterios de diseño utilizados.

El desarrollo hidroeléctrico del Alto Sinú que se presenta en este informe, es el resultado de una serie de pasos que fueron haciendo variar su configuración hasta llegar a la seleccionada. Durante la primera etapa de los estudios se analizaron varios sitios para el desarrollo, seleccionando finalmente dos para construcción inmediata sobre el río Sinú, y uno para estudios futuros sobre el río Verde. Adicionalmente, se determinaron dos sitios, uno sobre el Sinú y otro sobre el Verde con características promisorias para ser estudiados en el futuro. Los resultados del estudio de la primera etapa se presentaron a CORELCA en un Informe Intermedio en junio de 1975.

Durante la segunda etapa de estudios se optimizaron los desarrollos de Urrá I y Urrá II, y se analizaron a nivel preliminar las desviaciones de los ríos Verde y San Jorge al embalse de Urrá II, determinando su influencia sobre el conjunto.

Para este propósito se prepararon esquemas, cantidades de obra, programas de construcción y de inversión, análisis de precios unitarios y presupuestos para los siguientes proyectos y alternativas:

a. Urrá I - Primero en Operación

A la cota 130 con 500 mw, 375 mw y 300 mw.

A la cota 135 con 570 mw, 428 mw y 340 mw.

b. Urrá II - Primero en Operación o como Adición

A la cota 250 con 630 mw, 472 mw y 376 mw.

A la cota 260 con 680 mw, 508 mw y 408 mw.

A la cota 270 con 726 mw, 544 mw y 446 mw.

A la cota 275 con 448 mw.

A la cota 285 con 810 mw, 608 mw y 484 mw.

- c. Urrá I en operación después de Urrá II a las cotas 130 y 135 con las mismas capacidades anotadas en "a".
- d. Para los esquemas anteriores se estudió también la entrada de las dos plantas simultáneamente.
- e. Desviación del Verde  
Se analizó para Urrá II a las cotas 250, 270 y 285.
- f. Desviación del San Jorge  
Se analizó para Urrá II a las cotas 250, 270 y 285.

Los análisis de sistemas permitieron la selección de la cota óptima de embalse teniendo en cuenta la energía y los beneficios netos producidos.

La selección final del proyecto la deberá hacer CORELCA con las entidades que rigen el sector eléctrico.

En este informe se presenta el desarrollo del diseño para el conjunto y para sus componentes y las alternativas seleccionadas finalmente.

Vale la pena destacar que los proyectos de Urrá I y Urrá II se llevaron a nivel de factibilidad, mientras que las desviaciones del Verde y el San Jorge, están en etapa preliminar o de prefactibilidad. Dada su importante influencia sobre el conjunto deberán continuarse sus estudios hasta alcanzar factibilidad lo más rápidamente posible.

## CAPITULO 2

### PROYECTOS ESTUDIADOS

#### 2.1. PROYECTO

El presente estudio se realizó en el municipio de Urrá, departamento de Esmeraldas.

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector de Tururá, a una distancia de 8 kilómetros del centro del cantón. El terreno que se estudia tiene una extensión de 10 hectáreas y se encuentra en el sector Este-Oeste y Sur del mismo, sin embargo, por

## CAPITULO 2

### PROYECTOS ESTUDIADOS

#### 2.1. GENERALIDADES

Dentro de la concepción del desarrollo integral del potencial hidroeléctrico del Alto Sinú, se identificaron una serie de sitios atractivos para posibles proyectos hidroeléctricos ubicados sobre los ríos Sinú, Verde, que es un afluente del Sinú, y una desviación del río San Jorge que pertenece a otra hoya independiente, esta última identificada durante la etapa de factibilidad.

La combinación de los sitios identificados produjo una gama de alternativas que abarca de tres a cinco desarrollos con capacidad instalada superior a 1.000 mw, cifra que sobrepasa en forma considerable los estimativos anteriores del potencial hidroeléctrico de la hoya. Para las alternativas estudiadas durante las etapas de prefactibilidad y factibilidad se prepararon esquemas de proyectos con el fin de compararlos entre sí y escoger la combinación óptima.

En este capítulo se describen los estudios ejecutados por el Consorcio durante las dos etapas de los trabajos para la preparación de los esquemas de proyectos y la selección de la configuración adoptada en el presente informe de factibilidad.

#### 2.2. DESCRIPCION GENERAL DE LAS ZONAS DE DESARROLLO

En el río Sinú existen dos zonas principales para desarrollo hidroeléctrico; la Angostura de Urrá donde se localizó el proyecto de Urrá I y el cañón del río aguas abajo de la confluencia del río Esmeralda, lugar escogido para Urrá II.

La Angostura de Urrá está localizada unos 30 km al sur de la población de Tierra Alta y unos 9 km aguas abajo del caserío de Tucurá; es una zona montañosa cortada por el río Sinú en una longitud de 8 km aproximadamente y limitada en sus extremos por dos valles aluviales, el inferior es muy amplio y corresponde al bajo Sinú. La cadena de montañas cruza el río normalmente en sentido Este-Oeste y tiene una altura de 250 m sobre el nivel del mar; sin embargo, pre

Urrá

senta depresiones profundas que para cotas altas, requerirían de diques auxiliares para completar el vaso del embalse. La topografía en la Angostura es montañosa, con numerosas cañadas, sin escarpes abruptos, con divisorias de aguas estrechas; el cañón tiene forma de V ancha con pendientes relativamente suaves y el río no tiene playas notables en este trayecto. La pendiente general del río en la Angostura de Urrá es del 0.1%, o sea una diferencia de 8 metros entre los dos extremos.

Aguas arriba de la Angostura de Urrá se presentan una serie de valles estrechos hasta la desembocadura del río Verde. A partir de este punto la topografía se vuelve cada vez más abrupta. En la desembocadura del río Esmeralda el río Sinú corre por un cañón cuyas alturas varían alrededor de 300 metros sobre el nivel del río. Esta fué la zona escogida para la ubicación del proyecto Urrá II.

En el sitio seleccionado para la presa de Urrá II, el valle tiene forma de V con pendientes pronunciadas de 45° aproximadamente. Es un perfecto sitio natural para el emplazamiento de la presa con estribos que permiten un cierre hasta por encima de la cota 300.

Aguas arriba del sitio de la presa y especialmente desde la confluencia con el río Manso, se encuentra un valle plano entre los ríos Sinú, Manso y Tigre, que formarían un embalse de gran capacidad (28.8 mil millones a la cota 270) que sería el más grande del país, regularía totalmente el caudal del río en el sitio y mejoraría considerablemente la regulación para el proyecto Urrá I.

### 2.3. POSIBLES SITIOS DE DESARROLLO

#### Primera Etapa de los Estudios :

En los reconocimientos preliminares de la hoya aguas arriba del extremo inferior de la Angostura de Urrá, se identificaron en un principio 6 posibles desarrollos que merecían seguirse identificando así:

#### Urrá I

Con tres posibles sitios para este proyecto, dentro de la Angostura de Urrá, que se denominaron Mano Vieja, La Zumbona y Bella Lourde.

## Urrá II

Está localizado unos 1.5 kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Sinú y Esmeralda.

## Verde I

Dos sitios que se denominaron Barro y Brigado. Este proyecto está ubicado a unos 17 kilómetros aguas arriba de la desembocadura del río Verde en el Sinú.

## Sinú I y Verde II

Dos posibles proyectos adicionales situados en las cabeceras de los ríos Sinú y Verde que se identificaron por medio de reconocimientos aéreos.

## Socorrer

A medida que se avanzaban los estudios se identificó otro sitio potencial que se denominó Socorrer ubicado unos 7 kilómetros aguas abajo de la confluencia del río Verde y Sinú.

La ubicación de estos sitios se muestran en la Figura II-2-1.

Cuatro de los seis posibles desarrollos están relacionados entre sí, puesto que la construcción de uno o más de estos proyectos elimina la de los restantes. Una presa en Urrá I con cresta por encima de la cota 125 aproximadamente, crea una curva de remanso hasta los proyectos Urrá II y Verde I. Una presa relativamente alta en el sitio de Urrá I, con cota de cresta superior a la 140 aproximadamente, elimina el desarrollo del proyecto Urrá II. La construcción del proyecto Socorrer elimina el desarrollo de Urrá II y Verde I, a la vez que la del proyecto Urrá I elimina el de Socorrer. Los proyectos Sinú I y Verde II no están afectados por los posibles desarrollos aguas abajo.

En la primera etapa de los estudios se llegó a la conclusión que la manera más aconsejable de desarrollar el río Sinú para el aprovechamiento integral de su potencial hidroeléctrico era con plantas en cascada, ubicadas inmediatamente aguas abajo de la confluencia de los ríos Sinú y Esmeralda y en la Angostura de Urrá en vez de un desarrollo único en Urrá I, el cual eliminaría el de Urrá II. También se estudió

el proyecto de Verde generando por sí mismo y aprovechando casi toda la caída entre su embalse y el de Urrá I. El proyecto en Socorrer fué eliminado por razones de costo y por no permitir un desarrollo lógico de la hoya.

### Segunda Etapa de los Estudios :

En la segunda etapa se efectuó un proceso de selección, tanto de sitios como de los proyectos en sí por medio de pasos sucesivos reduciendo las alternativas y optimizando hasta llegar a las propuestas en este informe.

Para el proyecto de Urrá I los estudios se concentraron en los tres sitios disponibles, Mano Vieja, Zumbona y Bella Lourde analizando las posibles alternativas en cada uno de ellos para eventualmente escoger, como se explica más adelante el sitio de Zumbona donde se estudiaron varios esquemas buscando su optimización.

Para el proyecto de Urrá II se siguió un proceso similar, dentro del cañón localizado aguas abajo del río Esmeralda, el cual, por su morfología y condiciones geológicas ofrece numerosos sitios para la construcción de una central hidroeléctrica.

El proyecto Verde I sufrió cambios substanciales pues los análisis efectuados mostraron que era más conveniente y económico desviar sus aguas al embalse de Urrá II que generar en el sitio. Los estudios en etapa preliminar se orientaron hacia la optimización de esta alternativa. Su realización final depende del estudio definitivo de factibilidad, el cual debe iniciarse lo más pronto posible.

Durante las investigaciones previas a la preparación de la propuesta se vislumbró la posibilidad de desviar aguas de otras hoyas al río Sinú lo cual no pudo ser estudiado en la primera etapa. En ésta se terminó, a nivel preliminar, que el río San Jorge puede ser desviado económicamente al embalse de Urrá II, y se prepararon los esquemas correspondientes. Como en el caso del Verde, se deberán continuar los estudios hasta factibilidad lo antes posible.

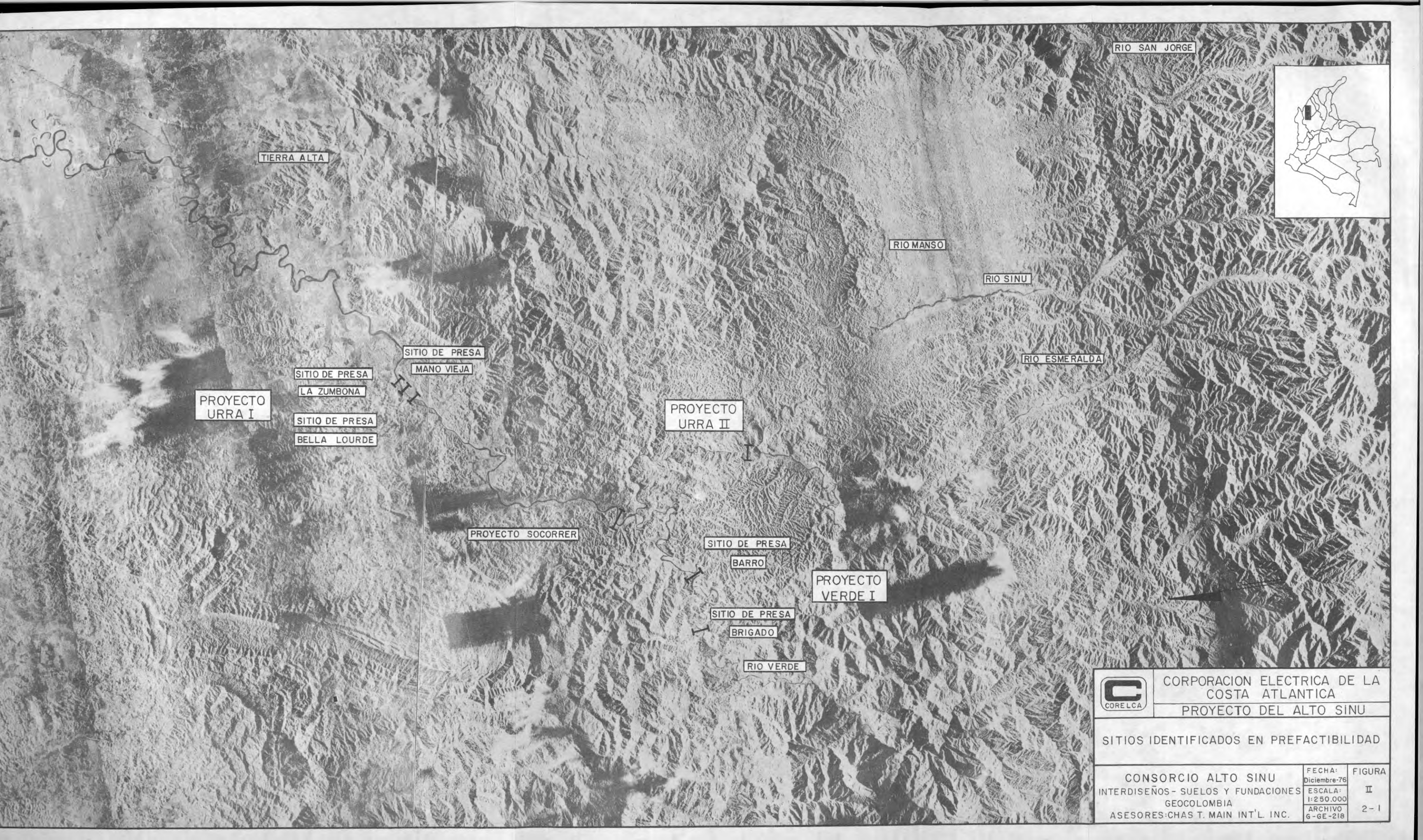
El conjunto de proyectos Urrá I-Urrá II-Verde-San Jorge cuya localización se muestra en la Figura II-2-2, se sometió a un análisis de sistemas para obtener de acuerdo con los beneficios netos producidos por diferentes alturas de presas, la alternativa óptima de desarrollo teniendo en cuenta el Sistema Nacional Interconectado.





RIO SINU





PROYECTO URRA I

SITIO DE PRESA LA ZUMBONA

SITIO DE PRESA BELLA LOURDE

SITIO DE PRESA MANO VIEJA

PROYECTO SOCORRER

PROYECTO URRA II

SITIO DE PRESA BARRO

SITIO DE PRESA BRIGADO

PROYECTO VERDE I

RIO VERDE

RIO MANSO

RIO SINU

RIO ESMERALDA

RIO SAN JORGE

TIERRA ALTA



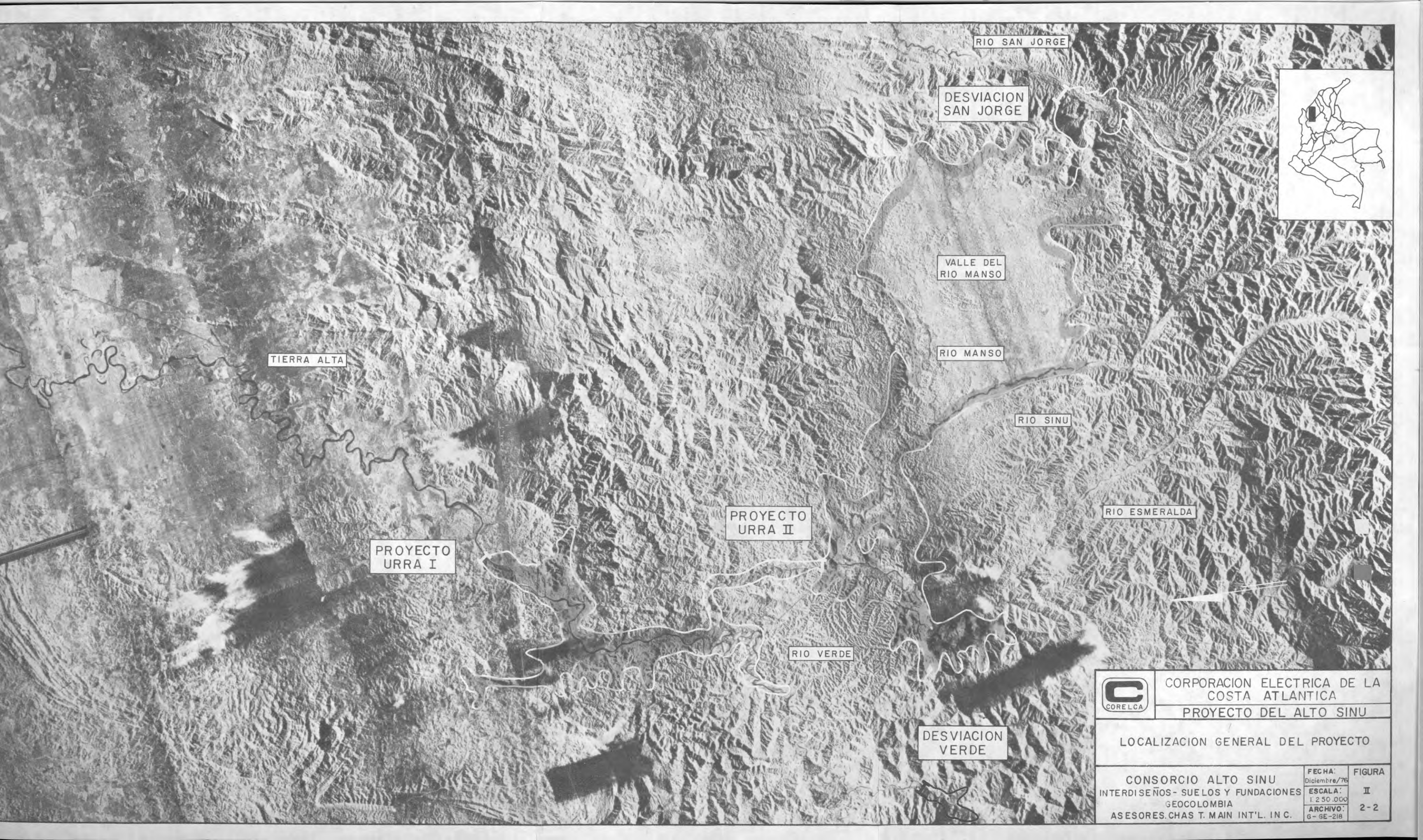
CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA  
 PROYECTO DEL ALTO SINU

SITIOS IDENTIFICADOS EN PREFACTIBILIDAD

CONSORCIO ALTO SINU  
 INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES  
 GEOCOLOMBIA  
 ASESORES: CHAS T. MAIN INT'L INC.

FECHA:  
 Diciembre-76  
 ESCALA:  
 1:250.000  
 ARCHIVO  
 6-GE-218

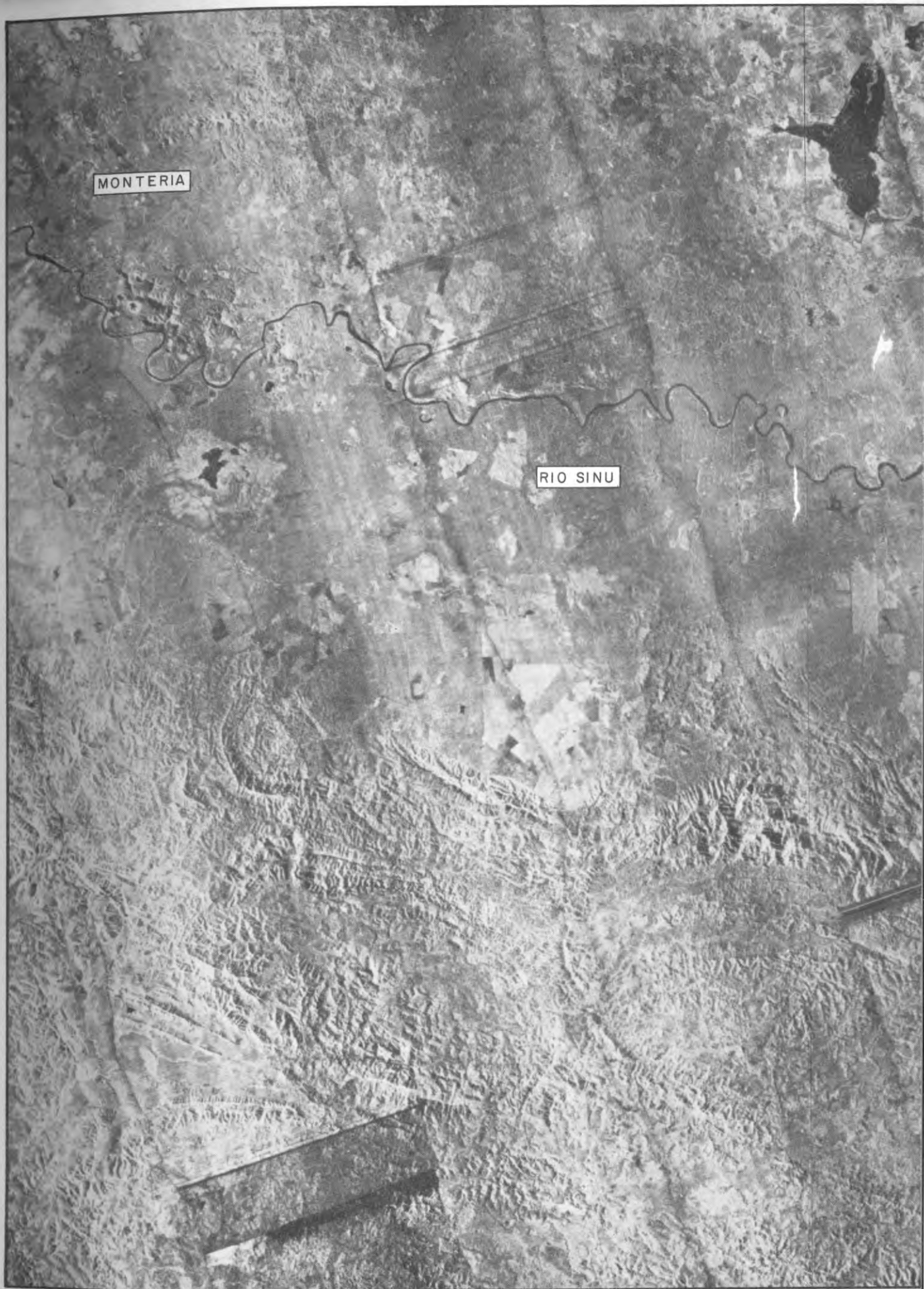
FIGURA  
 II  
 2-1



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS- SUELOS Y FUNDACIONES GEOCOLOMBIA ASESORES. CHAS T. MAIN INT'L. IN C.	FECHA: Diciembre/76	FIGURA II
	ESCALA: 1:250.000	ARCHIVO: 6-GE-218

MONTERIA

RIO SINU





## CAPITULO 3

### HIPOTESIS Y CRITERIOS DE DISEÑO

#### 3.1. GENERALIDADES

Los diseños básicos se efectuaron a partir de la información disponible en cada proyecto y de acuerdo con criterios de ingeniería aceptados, que se ajustan a normas aplicadas en proyectos similares. En algunos casos, donde la información de campo o los resultados de ensayos de laboratorio eran insuficientes para establecer los parámetros, se hicieron las hipótesis necesarias para obtenerlos; en la etapa de diseño se harán los estudios detallados y ensayos de laboratorio requeridos para completar los datos necesarios en cada proyecto. Las hipótesis utilizadas para las diferentes alternativas fueron iguales para cada uno de los sitios conservando también los criterios de diseño para la comparación entre ellas.

#### 3.2. COTAS DE EMBALSE Y PRESA

Una vez seleccionados los sitios, se encontró que cada uno de los proyectos Urrá I y Urrá II pueden desarrollarse con diferentes alturas de presa dentro de las limitaciones impuestas por las características topográficas de los sitios y también por las condiciones de operación de esquemas estudiados.

Estas limitaciones fijaron la gama de niveles de embalse a la cual es factible la construcción de los proyectos entre las cotas 130 y 135 para Urrá I y las cotas 250 a 285 para Urrá II. Para los proyectos Verde y San Jorge, además de las limitaciones de orden físico, existe otra que depende del nivel de embalse del proyecto Urrá II. En el proyecto Verde, los niveles de embalse van de la cota 302 a la 316 y para el San Jorge de la cota 255 a la 285, para niveles de embalse de 250 a 285 en Urrá II respectivamente.

Esta gama de niveles fueron analizados en los estudios de sistema para optimizar la altura de cada proyecto teniendo en cuenta la energía generada y utilizando el criterio de los beneficios netos.

Para cada alternativa se tuvieron en cuenta para la determinación de las cotas de cresta de las presas, las sobreelevaciones necesarias, las condiciones del oleaje producido en los embalses por el viento, y un factor de seguridad para grietas que se forman en la parte superior de este tipo de presas.

### 3.3. NIVELES MINIMOS EN LOS EMBALSES

Los niveles mínimos en los embalses se establecieron con base en los tres criterios siguientes: capacidad requerida de embalse muerto para la acumulación de sedimentos en un lapso de 50 años; nivel mínimo requerido en el embalse para obtener los caudales regulados en cada sitio y el nivel mínimo requerido para efectos de generación.

### 3.4. NIVEL DE AGUA, AGUAS ABAJO DE LAS PRESAS

Para la determinación de los niveles de agua en los canales de fuga de los proyectos se consideraron dos casos a saber : niveles de agua correspondientes a las condiciones naturales de cauce aguas abajo de las presas y niveles en los embalses aguas abajo. Los niveles de fuga en el proyecto Urrá I dependen solamente de las condiciones del río aguas abajo de la presa, mientras que en el proyecto Urrá II dependen tanto de las condiciones del cauce aguas abajo de la presa como de los niveles de embalse en Urrá I.

Para establecer los niveles aguas abajo de las presas de Urrá I y Urrá II en el primer caso, es decir para las condiciones naturales del río, se desarrollaron curvas de remanso cuyo objeto fué la relación entre caudales y niveles de agua, es decir las curvas de calibración para cada sitio.

En el segundo caso que es aplicable al proyecto Urrá II únicamente, además de la curva de calibración, se utilizaron los estudios de operación del embalse de Urrá I para la determinación de los niveles de aguas abajo de la presa Urrá II.

Los cálculos de los niveles obtenidos en la forma descrita deberán refinarse durante la etapa de diseño final para establecer los niveles definitivos.

### 3.5. CRECIENTES DE DISEÑO Y DESVIACION

Las crecientes de diseño y desviación son las siguientes:

<u>Proyecto</u>	<u>Creciente Máxima Probable m<sup>3</sup>/s</u>	<u>Creciente Afluente m<sup>3</sup>/s</u>	<u>Caudal de Diseño del Rebosadero m<sup>3</sup>/s</u>	<u>Creciente de Desviación m<sup>3</sup>/s</u>
Urrá I	4000	2800*	2000	2700
Urrá II	2200	2200	1000	1485
Verde	640	640	640	432
San Jorge	440	440	440	297

\* Considerando amortiguación en Urrá II.

Los procedimientos utilizados para cálculo se describen en la parte de hidrología.

Para el proyecto Urrá I la creciente máxima probable tiene un caudal pico de 4000 m<sup>3</sup>/s, pero debido a la amortiguación del embalse de Urrá II, el caudal máximo afluente en Urrá I baja a 2800 m<sup>3</sup>/s; además, la sobreelevación en el embalse produce una amortiguación de este pico, por lo cual el rebosadero se diseñó para un caudal máximo de 2000 m<sup>3</sup>/s.

En el proyecto Urrá II la creciente máxima probable se calculó en 2200 m<sup>3</sup>/s, pero debido a la considerable amortiguación que se logra en este embalse, el rebosadero se diseñó para pasar 1000 m<sup>3</sup>/s. Este caudal más la contribución del área de drenaje entre Urrá II y Urrá I que es de 1.800 m<sup>3</sup>/s, constituye el caudal máximo afluente en Urrá I correspondiente a la creciente máxima probable.

### 3.6. HIPOTESIS EMPLEADAS EN EL DISEÑO HIDRAULICO - URRÁ I

En esta sección se describen las hipótesis empleadas en el diseño de las estructuras hidráulicas principales a saber: obras de desviación, rebosadero, túneles y conductos de carga.

#### a. Obras de Desviación

Las obras de desviación para los proyectos Urrá I-130 y Urrá I-135, se diseñaron con base en una creciente multiestacional con un período de recurrencia de 25 años, cuyo caudal máximo se calculó en 2.700 m<sup>3</sup>/s para el sitio de La Zumbona.



Para el diseño y el dimensionamiento de las obras de desviación, se estudiaron los siguientes casos:

1. Urrá I como primer proyecto construido.
2. Urrá I construido después de que Urrá II entre en operación.
3. Urrá I construido después del cierre de compuertas de Urrá II.
4. Urrá I entrando en línea simultáneamente con Urrá II.

Por las características del sitio y como resultado de los estudios ejecutados, se adoptó como la solución conveniente, un sistema de desviación que consiste en una combinación de canales abiertos, con un tramo central en conducto de concreto que pasa por debajo del dique auxiliar en su estribo derecho.

Para determinar los niveles de agua en la ataguía aguas arriba y la cota de cresta de la misma, se hicieron los cálculos hidráulicos para los caudales máximos de diseño bajo condiciones de flujo a presión.

#### Caso 1 - Urrá I como Primer Proyecto Construido

La capacidad de las obras de desviación se determinó con base en el hidrograma de la creciente de 25 años, cuyo caudal máximo es de 2.700 m<sup>3</sup>/s.

#### Caso 2 - Urrá I Construido después que Urrá II está en Operación

Después de que el proyecto Urrá II esté en operación, el hidrograma de 25 años para el área de drenaje intermedia tiene un caudal máximo que se estimó en 1.215 m<sup>3</sup>/s. Los estudios de laminación que se hicieron para Urrá II, suponiendo que su embalse está lleno, de terminaron un caudal por el rebosadero de 600 m<sup>3</sup>/s con una sobreelevación de 10 cm en el embalse para la creciente de 25 años. Por lo tanto, la capacidad de las obras de desviación de Urrá I se determinó con base en un caudal máximo que es la suma del caudal que pasa por el rebosadero de Urrá II (600 m<sup>3</sup>/s), más el caudal pico del área de drenaje intermedia (1215 m<sup>3</sup>/s); por lo tanto el caudal de desviación para Urrá I es de 1.815 m<sup>3</sup>/s.

### Caso 3 - Urrá I construído después del cierre de compuertas en Urrá II

Suponiendo que las compuertas de Urrá II están cerradas durante la construcción de la desviación de Urrá I, el caudal de entrada para las obras de desviación de Urrá I corresponde al hidrograma del área de drenaje intermedia, cuyo caudal máximo se calculó en 1.215 m<sup>3</sup>/s.

### Caso 4 - Urrá I entrando en línea simultáneamente con Urrá II

Los estudios de sistemas revelaron que la solución óptima corresponde a los proyectos Urrá I y Urrá II entrando en servicio simultáneamente, lo cual indica que durante un lapso de la construcción es necesario pasar por las obras de desviación de Urrá I el caudal máximo de 2.700 m<sup>3</sup>/s.

Los conductos de desviación para los cuatro casos descritos funcionarán a presión para los caudales de diseño y valores cercanos, y en régimen de flujo libre para caudales más bajos.

#### b. Túneles y Conductos de Carga

Para los diseños preliminares y la evaluación de alternativas se hicieron estudios preliminares para la determinación del tamaño económico de los conductos de carga. Una vez determinado el diámetro de los conductos se refinaron las pérdidas hidráulicas respectivas por los métodos usuales.

#### c. Rebosadero

Para el proyecto Urrá I-135 construído simultáneamente o después de Urrá II, se diseñó el rebosadero para un caudal de 2000 m<sup>3</sup>/s. - Como se detalla en el Capítulo 4, el tipo de rebosadero se escogió como "Low Ogee" con compuertas debido a las condiciones topográficas que imponían un canal de entrada y otro de salida.

Para el proyecto Urrá I-130 se siguieron procedimientos similares.

### 3.7. HIPOTESIS DE DISEÑO HIDRAULICO - URRÁ II

#### a. Obras de Desviación

Las obras de desviación se diseñaron para una creciente de 25 años de recurrencia, cuyo caudal máximo se estimó en  $1.485 \text{ m}^3/\text{s}$  en Urrá II. Las características topográficas del sitio indicaron que la mejor alternativa para la desviación es por medio de un túnel por la margen derecha. Debido al gran volumen del embalse, se hicieron estudios de amortiguación de crecientes para varios niveles de amortiguación y se calcularon los respectivos diámetros de túnel.

#### b. Rebosadero

En los diseños hidráulicos de las obras del rebosadero de Urrá II se supuso que los proyectos Verde y San Jorge tienen cada uno su propio rebosadero. La capacidad adicional en el rebosadero de Urrá II debido a la influencia de los caudales desviados y regulados de Verde y San Jorge es mínima y no modifica substancialmente el diseño de las obras.

La creciente de diseño para el rebosadero de Urrá II es de aproximadamente  $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los estudios de laminación del embalse indicaron que el caudal máximo del rebosadero puede limitarse a  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  con una pequeña sobreelevación en el embalse de 10 cm.

#### c. Túneles y Conductos de Carga

En los diseños preliminares y en la evaluación de alternativas, se determinó preliminarmente, el diámetro económico de los conductos. El procedimiento seguido fue similar al que se aplicó para los proyectos de Urrá I. Se utilizaron los mismos coeficientes para el cálculo de las pérdidas hidráulicas.

### 3.8. DISEÑO HIDRAULICO - VERDE

#### a. Obras de Desviación

Las condiciones topográficas del sitio hace más conveniente que la desviación se proyecte con túnel. El caudal de diseño corresponde a la creciente de 25 años de recurrencia cuyo caudal máximo se estimó en  $432 \text{ m}^3/\text{s}$ . El túnel de desviación será de sección en herradura

cuya capacidad será de  $432 \text{ m}^3/\text{s}$  funcionando a presión.

b. Rebosadero

El caudal máximo afluente para diseño del rebosadero se estimó en  $640 \text{ m}^3/\text{s}$  como se indica en la parte de hidrología. Para el proyecto Verde a la cota 385, el rebosadero es una estructura en concreto tipo Ogee bajo.

c. Túnel de Desviación al Embalse de Urrá II

En el diseño del túnel para desviar los caudales del río Verde al embalse de Urrá II se supuso que parte de su longitud estaría totalmente revestida en concreto, parte con concreto neumático y el resto únicamente la solera; se utilizó un coeficiente de rozamiento promedio de  $n = 0.027$ .

3.9. DISEÑO HIDRAULICO - SAN JORGE

a. Obras de Desviación

La creciente multiestacional con 25 años de recurrencia para desviación durante la construcción se estimó en  $297 \text{ m}^3/\text{s}$  por el método explicado en la parte de hidrología.

b. Rebosadero

El caudal máximo afluente se estimó en  $440 \text{ m}^3/\text{s}$ . El rebosadero es tipo Ogee bajo sin compuertas.

3.10. PRESAS DE ENROCADO

El emplazamiento de los ejes de presa y el tipo de las mismas se seleccionaron teniendo en cuenta las características topográficas, las condiciones geológicas y la disponibilidad de materiales de construcción.

Los taludes de las presas se escogieron tomando en cuenta la experiencia en presas de altura semejante construídas con materiales del mismo tipo; también con base en los ensayos de desgaste y compresión unidimensional, se efectuó una correlación de los resultados con los parámetros de resistencia al corte obtenidos en materiales de ca

racterísticas similares utilizados en la construcción de presas de enrocado. Con los parámetros de resistencia promedio deducidos en la forma descrita se comprobó que los taludes adoptados están dentro de límites conservadores.

Para el diseño final se deberán efectuar ensayos adicionales de suelos (triaxiales y corte directo) y analizar la estabilidad para condiciones a la terminación de la construcción, embalse lleno y desembalse rápido, teniendo en cuenta además esfuerzos de sismo; deberá diseñarse también la instrumentación para las presas. Todos los factores de seguridad deberán ceñirse a las normas de ingeniería vigentes.

### 3.11. ENERGIA PARA LA CONSTRUCCION

Por estar los sitios de presa relativamente alejados de las posibles fuentes de energía, se descartó la utilización de líneas a voltajes de transmisión del orden de 34.5 kv, porque se estima, que para los campamentos y equipos para la construcción, se necesitará una potencia del orden de 10.000 kva por proyecto. Por otra parte, se investigó la posibilidad de otros voltajes apropiados como 66 kv en las zonas aledañas sin resultado satisfactorio.

Como consecuencia de lo anterior, se optó por el voltaje de 115 kv para obtener energía para la construcción de los proyectos. Esta energía podría provenir de dos sitios: Apartadó o Cerromatoso.

La distancia desde Apartadó al sitio de presa Urrá II es de aproximadamente 45 kilómetros, mientras que desde Cerromatoso al mismo sitio es de aproximadamente 85 kilómetros. De acuerdo con informaciones del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, y de la Electrificadora de Antioquia, la línea Frontino-Apartadó, a 115 kv está prácticamente para construirse, con lo cual, para el año de 1979-1980 se tendría energía para la construcción de los proyectos. Esta línea utiliza un cable de 477 MCM de aluminio acero (ACSR) con lo cual la capacidad portante siendo del orden de 35.000 kw permite contemplar su utilización.

### 3.12. VOLTAJE DE GENERACION

Se consideró conveniente que el voltaje de generación sea 13.8 kv. Se estima que aumentar el voltaje de generación no presenta mayo

res ventajas, ya que los transformadores elevadores tendrían un costo muy similar, al igual que los transformadores de servicios auxiliares. Sin embargo, durante los diseños definitivos se podría considerar una alternativa para el voltaje de generación en el caso de que CORELCA lo estime necesario.

### 3.13. VOLTAJE DE TRANSMISION

Para la transmisión del bloque total de energía, es decir, Urrá I y Urrá II, se consideraron dos alternativas: la primera subir el voltaje de generación en Urrá II a 220 kv y transmitirá este voltaje hasta Cerromatoso; y la segunda elevar el voltaje de 220 kv a 500 kv en Urrá II para transmitir a 500 kv desde la central a la subestación de 500 kv interconectada con el Sistema Central.

Por ser la distancia desde los sitios de generación Urrá I, Urrá II, al sitio de conexión con el Sistema Central relativamente corta, se escogió un voltaje de 220 kv, el cual está en capacidad de transportar el bloque de energía estimado en 1.050 mw. Por otra parte, como la distancia de Urrá I a Urrá II es apenas de 35 kilómetros, no se justifica económicamente un aumento de voltaje.

Para efectos de comparación entre los dos voltajes, se ha considerado una subestación sencilla.

#### a. Costo estimado de Transmisión Urrá II-Cerromatoso a un voltaje de 220 kv

	<u>US\$ Millones</u>
- Cuatro módulos de salida de línea en Urrá II	1.0
- Cuatro circuitos a 220 kv es decir dos líneas de doble circuito	21.5
- Cuatro módulos de llegada en Cerromatoso (220 kv)	1.0
- Tres módulos de 500 kv (transformador) en Cerromatoso	1.5
- Tres módulos de 220 kv (transformadores) en Cerromatoso	0.6
- Tres bancos de transformadores (375 mva c/u)	<u>7.3</u>
	32.9

b. Costos estimado de Transmisión Urrá II-Cerromatoso a 500 kv

	<u>US\$ Millones</u>
- Tres módulos de 200 kv (transformadores) en Urrá II	0.6
- Tres módulos de 500 kv (transformador) en Urrá II	1.5
- Dos módulos de 500 kv (línea) en Urrá II	1.4
- Dos módulos de 500 kv (línea) en Cerromatoso	1.4
- Tres bancos de 375 mva cada uno en Urrá II	7.3
- Dos líneas de circuito sencillo 500 kv	<u>21.5</u>
	33.7

El costo aunque muy similar, no hace atractiva la alternativa a 500 kv puesto que en el diseño definitivo se deberán tener en cuenta otras razones técnicas que pueden descartar esta alternativa como son: estabilidad, posible compensación en Urrá II debido a aumentos considerables de tensión, protecciones, etc.

Como se puede observar, se ha considerado para efectos de comparación que una línea de doble circuito a 220 kv tiene un costo igual a una línea sencilla de 500 kv; sin embargo puede que exista una ventaja económica a favor de la línea a 200 kv cuando se hayan escogido las rutas de las líneas y se tengan los diseños definitivos.

3.14. SISTEMAS AUXILIARES

Se tomó como voltaje para los servicios auxiliares de cada generador 480 v. No se consideraron voltajes mayores por ser los motores para servicios auxiliares de capacidad moderada. Sin embargo, este voltaje podría cambiarse a 380 voltios ya que en el sistema europeo éste es un voltaje normalizado. La frecuencia será la de generación es decir, 60 Hz. No se preven problemas de arranque para los generadores, en caso de falla por servicios auxiliares, ya que según se observa de los diagramas unifilares, las dos plantas Urrá I y Urrá II estarán conectadas tanto por 115 kv (energía para la construcción) como por 220 kv. Sin embargo, en caso de falla total (barraje muerto) tanto en Urrá I como en Urrá II se prevé una planta Diesel de 300 kva y 480 v que permita el arranque de por lo menos una unidad en cualquiera de las dos plantas. Para los servicios auxiliares del rebosadero y de la bocato

ma, se construirán líneas a 13.200 voltios. Como éstas líneas se rán permanentes, se utilizará postiería de concreto con los aislamien tos apropiados. En cada uno de los sitios se efectuará la respectiva transformación tanto para el servicio de fuerza (motores) como para el sistema de alumbrado.

### 3.15. SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA

Se tendrá un conjunto de baterías en cada una de las plantas con su respectivo cargador. El voltaje de este sistema puede ser de 125 v. Sin embargo, un voltaje de 110 voltios (sistema europeo) podría con siderarse como una alternativa.

La capacidad del conjunto no puede ser definida en el momento por desconocerse la capacidad de algunos equipos que forzosamente uti lizan corriente continua, como son los interruptores de potencia, al gunos motores de servicios auxiliares, iluminación de emergencia , etc.

Se prevé igualmente un sistema de corriente continua para cõmunica ciones. El voltaje de este sistema puede ser de 48 v y sería comple tamente independiente del sistema general a 125 voltios. La capaci dad de este sistema se definirá en la etapa de diseño.



1.1.

INTRO

Se  
prio  
do,  
(1)

1.2.

SITIO

Se  
gu

CAPITULO 4

1.3.

SITIO

Est  
pro  
do

PROYECTO DE URRAS I

Se  
do

1.4.

SITIO

Est  
pro  
do  
do  
do  
do  
do  
do

1.5.

SITIO

Est

## CAPITULO 4

### PROYECTO DE URRÁ I

#### 4.1. INTRODUCCION

En este Capítulo se presentan los proyectos analizados durante la primera etapa de estudios, el proceso de selección seguido en el sitio de Urrá I, el desarrollo del diseño y el proyecto seleccionado, así como las otras posibles alternativas de desarrollo en el si tio.

#### 4.2. SITIOS ESTUDIADOS EN LA PRIMERA ETAPA

Se determinaron tres sitios posibles para el desarrollo en la Angostura de Urrá, que a continuación se describen:

##### a. Sitio de Mano Vieja

Este sitio, ubicado en el extremo inferior de la Angostura de Urrá parecía al principio ser apropiado para la construcción de una pre sa hasta la cota 140 o 150 aproximadamente.

Se analizaron varias alternativas y eventualmente, por razones de costo, creados por su topografía, fué finalmente eliminado.

##### b. Sitio de Bella Lourde

El sitio más aguas arriba dentro de la Angostura de Urrá es el de Bella Lourde, apropiado para la construcción de una presa con cresta a la cota máxima 200. Se hicieron estudios para tres nive les de embalse y se prepararon cuatro esquemas generales así: dos para cresta a la cota 200, uno para cresta a la cota 187.60 y uno para la cresta a la cota 167.40. Sin embargo, estos esquemas se descartaron porque una presa en Urrá I con cresta a una cota superior a 140 elimina los proyectos de Urrá II y Verde I.

##### c. Sitio de La Zumbona

El sitio intermedio de la Angostura de Urrá se denomina La Zum

bona y permite el desarrollo de un proyecto con cresta a la cota máxima de 140. Sin embargo, dentro del criterio de aprovechamiento integral de la hoya, que implica un desarrollo en cascada en el Alto Sinú, y tomando en cuenta el nivel de restitución a la salida de la casa de máquinas de Urrá II, se eliminaron los niveles de embalse más altos y en consecuencia se estudiaron esquemas generales con cresta a las cotas 127, 132 y 137.

Como resultado de los estudios de generación que se hicieron para la gama completa de niveles de embalse entre las cotas 125 y 198 para el proyecto Urrá I solo, y para éste en combinación con el proyecto Urrá II, y teniendo en cuenta la secuencia de construcción se escogió en el Informe Intermedio el sitio de La Zumbona para el proyecto Urrá I, con nivel de embalse a la cota 135 y cresta a la cota 137.

#### 4.3. DESARROLLO DEL DISEÑO

Para el proyecto de Urrá I fué necesario estudiar alternativas distintas en cada uno de los sitios potenciales, para por medio de eliminaciones sucesivas encontrar el sitio y el mejor esquema para el desarrollo. En este numeral se describen someramente los pasos seguidos y los esquemas analizados.

##### 1. Proyecto en Mano Vieja

El sitio de Mano Vieja está localizado en el extremo noreste de la Angostura de Urrá inmediatamente aguas abajo de la quebrada de este nombre. En este sitio el valle es más ancho que en el sitio de La Zumbona y por lo tanto el volumen de la presa principal sobre el río es mayor; y también en este sitio se necesita un dique auxiliar más grande para cerrar una depresión sobre la margen derecha.

Las condiciones geológicas son más favorables que en La Zumbona, pues es una zona homogénea de areniscas sin fallas visibles en las condiciones actuales de investigación y muy cercana a la zona de préstamo que se encuentra en la desembocadura de la Angostura.

La topografía del sitio permite la construcción de túneles de desviación y de conductos de carga relativamente cortos.

## Esquemas Estudiados:

En el sitio de Mano Vieja se estudiaron varias alternativas así:

- Presa de Tierra con Desviación por la Margen Derecha:

En este esquema se estudió una presa de tierra cerrando el valle con un dique auxiliar en la margen derecha. La desviación se proyectó con dos túneles en la margen derecha, uno de los cuales se adaptaba, después de cerrar la desviación, para la conducción a la casa de máquinas. El esquema se descartó por no presentar ventajas económicas y por dificultades técnicas al convertir el túnel de desviación en túnel de carga.

- Presa de Tierra con Desviación por la Margen Izquierda:

Teniendo en cuenta las dificultades del esquema anterior se estudió una presa de tierra con dique auxiliar en la margen derecha, una desviación corta por la margen izquierda y conducción corta por la margen derecha que alimenta la casa de máquinas, localizada a unos 30° de la dirección general del río.

- También se estudió un esquema con casa de máquinas sobre la margen izquierda pero fué descartado debido a que la desviación por la margen derecha presenta costos mayores a los obtenidos en las demás alternativas.

Teniendo en cuenta las características anteriores, se escogió el esquema con desviación por la margen izquierda y casa de máquinas por la margen derecha, y se optimizaron alternativas para la cota de embalse 135 y factores de planta 0.5, 0.4 y 0.3 correspondientes a capacidades instaladas de 352, 444 y 540 mw respectivamente.

Estas alternativas se prepararon para Urrá I como proyecto único, y también para Urrá I entrando en servicio al mismo tiempo o después de Urrá II. En la Figura II-4-1 se muestran los principales aspectos del proyecto en este sitio cuyas características se describen a continuación.

### a. Embalse

La cota de embalse se fijó tomando en cuenta los resultados de la comparación de las alternativas de Urrá I-Zumbona para las cotas 130 y 135.

b. Presa

Una vez determinada la zona de localización del eje se ensayaron varias localizaciones y se seleccionó la que correspondía al menor volumen de terraplén y que permitía una buena ubicación de la casa de máquinas al pie de la colina de la margen derecha, con un volumen de excavación razonable y conducciones cortas. Se buscó una optimización de los costos del conjunto por aproximaciones sucesivas.

Para la construcción de la presa existe una extensa zona de préstamo de aluviones inmediatamente aguas abajo del sitio; la excavación del canal de salida del rebosadero puede proporcionar en cantidad suficiente un material arcilloso y por lo tanto se diseñó la presa con núcleo de arcilla y espaldones de aluviones adoptando pendientes relativamente conservadoras para una presa de esta altura.

c. Obras de Desviación

Las obras de desviación se diseñaron con las mismas hipótesis que en el sitio de Zumbona: creciente multiestacional con período de recurrencia de 25 años cuyo caudal máximo se determinó en  $2.700 \text{ m}^3/\text{s}$  y una amortiguación de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  del pico por el embalse formado por la ataguía aguas arriba.

En el caso de que Urrá I-Mano Vieja entre en operación simúltaneamente con Urrá II, se adopta la creciente máxima de  $2700 \text{ m}^3/\text{s}$  para las obras de desviación para así tener en el presupuesto de esta etapa de factibilidad, un margen de seguridad en cuanto a la posibilidad de sincronizar perfectamente la construcción de Urrá I con la de Urrá II.

Considerando la calidad de la roca de la margen izquierda, se diseñó un solo túnel de desviación relativamente corto, cuyo diámetro es función del caudal correspondiente a cada caso de construcción y del análisis económico que se hizo, como el caso de Zumbona, para minimizar el costo global de la ataguía aguas arriba y las obras de desviación.

El caudal mínimo requerido durante el llenado del embalse de Urrá II ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pasaría por una pequeña galería por debajo del rebosadero, pues resulta más económico que una válvula en el tapón o un bypass en el túnel.

d. Rebosadero

Después de estudiar las posibilidades de rebosadero en las márgenes derecha e izquierda, que requerirían un pozo de aquietamiento antes de devolver el caudal inmediatamente aguas abajo de la casa de máquinas, y de analizar sus costos, se optó por escoger un rebosadero cuya estructura es relativamente alejada de la presa en el filo de la margen derecha, con un primer canal conduciendo al pozo de aquietamiento y un canal de salida llevando las aguas a un sitio relativamente lejos de la casa de máquinas.

La estructura del rebosadero es muy similar a la de Urrá I - Zumbona: el primer tramo del canal de salida con flujo supercrítico se considera que debe estar completamente en roca sana, y por lo tanto, por la ausencia de datos de perforación, se diseñó con un margen de seguridad suficiente en cuanto a la suposición del espesor de suelo residual.

El pozo de aquietamiento se ubicó en una zona baja para que sea excavado en roca sana (arenisca relativamente compacta) por lo menos en el fondo sin requerir revestimiento.

El canal de salida del pozo de aquietamiento lleva las aguas de la creciente en flujo subcrítico a un sitio más o menos a 1.8 km aguas abajo de la casa de máquinas. A esta distancia la descarga del rebosadero prácticamente no tiene ninguna influencia sobre el rendimiento de las turbinas. Este canal de salida tiene los taludes revestidos, ya que cruza inicialmente una zona baja donde se requiere diques laterales para la parte superior de los taludes después una zona de terraza formada principalmente de arcilla. El material proveniente de la excavación de esta parte del último tramo del rebosadero parece adecuado para la construcción de todo el núcleo de la presa. Ver Figura II-4-3.

e. Bocatoma y Conducción

Después de comparar los costos de la conducción y de la casa de máquinas en la margen derecha y en la izquierda, se optó por ubicarlas sobre la margen derecha por ser esta la alternativa más económica.

Además de una conducción un poco más corta, esta localización se presta más a una ampliación eventual de la casa de máquinas, aún

después de entrar en servicio. Ver Figura II-4-2.

Se prediseñaron las diferentes alternativas de manera que la pérdida de carga en las tuberías fuese del orden del 2% de la altura, y después se optimizó el diámetro.

f. Casa de Máquinas

La casa de máquinas de Urrá I-Mano Vieja se ubicó sobre la margen derecha al pie de la presa. La disposición general es la misma que para Urrá I-Zumbona y se usó el mismo método para determinar las características preliminares de la turbina y del caracol. Figura II-4-2.

Por otra parte se investigó también la posibilidad de mejorar el lecho del río entre la salida de la casa de máquinas y la desembocadura del canal de rebosadero suprimiendo un umbral rocoso, prolongación del filo divisorio de la margen derecha, que es la causa principal de la diferencia de nivel del agua entre estos dos sitios.

En este caso la caída útil se aumenta en más de un metro a un costo razonable, pero en esta etapa de factibilidad, sin perforaciones para comprobar los datos observados visualmente, no se incluyó esta posibilidad en el proyecto, que de todas maneras no modifica substancialmente el costo unitario de la energía producida.

Es interesante anotar que aunque Mano Vieja no fué seleccionado como proyecto definitivo para Urrá I, puede considerarse como proyecto alternativo del sitio La Zumbona, en la eventualidad de que este, por condiciones no previstas ni encontradas en este estudio, sufra modificaciones importantes de costo durante la etapa de diseño. Lo anterior solo se menciona como un factor adicional de seguridad del desarrollo hidroeléctrico del Río Sinú.

2. Proyecto en Bella Lourde

El sitio de Bella Lourde está localizado en el extremo superior nordeste, de la Angostura de Urrá. Es el único sitio de la Angostura que se encontró apropiado para la construcción de una presa con cresta superior a la cota 150.

La altura de los estribos en éste sitio muestra que es topográficamente posible construir una presa hasta una cota máxima del orden

de 200; por lo tanto, como se describió en el Informe Intermedio, fué el único sitio donde se estudiaron y optimizaron las alternativas de Urrá I como proyecto único, el cual fué posteriormente descartado en favor de una sucesión de dos proyectos en cascada por razones económicas.

A pesar que el sitio permite la construcción de proyectos altos, el valle es bastante amplio en forma de U abierta con pendientes relativamente suaves.

Por lo tanto, la presa a las cotas 130 o 135 sería más ancha y con mayor volumen que cualquiera de las alternativas analizadas en Zumbona o Mano Vieja.

Los esquemas analizados contemplaban la construcción de una presa de tierra con rebosadero en la margen izquierda, el cual por la interferencia con la casa de máquinas requiere un pozo de quietamiento. La bocatoma, conducción y casa de máquinas sobre la margen derecha, esta última haciendo un ángulo de  $45^\circ$  con la dirección general del río. La desviación se haría por galería de concreto en la orilla izquierda.

Las alternativas estudiadas fueron descartadas por su costo, pues para presas bajas este sitio no puede competir con los anteriores, por sus condiciones topográficas. El pozo de quietamiento del rebosadero aumenta aún más la diferencia de costos con los otros sitios.

### 3. Proyecto en La Zumbona

El sitio de La Zumbona está localizado aproximadamente en la mitad de la Angostura de Urrá, donde el cañón del río es más estrecho. El estrechamiento corresponde a un cambio de dirección del río de oeste-este a la dirección general de la Angostura (suroeste-noreste) debido a que una falla determina su primera orientación.

En este sitio se analizaron esquemas con diferentes tipos de presa, así:

#### Presa de Concreto

Una presa de gravedad en concreto con un dique de tierra similar a la analizada en el Informe Intermedio.



Esta alternativa fué descartada por razones de orden técnico y económico, las principales de las cuales son: la topografía detallada de la colina que formaría el estribo derecho y su análisis geotécnico mostraron que la excavación necesaria para escalonar razonablemente el estribo debilitaba el punto de apoyo y haría muy difícil la construcción de la zona de transición del núcleo del dique auxiliar al concreto de la presa principal. El tipo de presa no permitía ampliación de la casa de máquinas.

El costo de esta alternativa es superior a la de las otras analizadas.

#### Presa de Bóveda

También se estudiaron en este tipo varias alternativas de presa de bóvedas múltiples.

Estas soluciones se descartaron por la complejidad de su construcción que tenía incidencia automática sobre los costos y además por el problema geológico que se presenta en el lecho del río con las intrusiones de roca basáltica, problema que no tiene influencia sobre la construcción de una presa de tierra, pero que dificulta el planeamiento de una presa de concreto por la heterogeneidad de los módulos de reacción de la fundación y porque la excavación que se necesitaría, debilitaba demasiado la masa de la margen derecha en el apoyo de la presa principal.

#### Presas de Tierra

Se estudiaron varios emplazamientos de eje y tipo de presa de tierra los cuales probaron ser más económicos que las soluciones anteriores.

La comparación técnico-económica entre los sitios de La Zumbona, Mano Vieja y Bella Lourde mostró que Zumbona era el más conveniente de los tres, y por lo tanto se adelantaron los estudios de optimización que se describen en el numeral siguiente, así como las características del proyecto finalmente seleccionado.

### 4.4. DESCRIPCION DEL ESQUEMA SELECCIONADO - URRRA I-135

#### a. Generalidades

A grandes rasgos el esquema propuesto y optimizado es el siguiente

te:

Una presa ligeramente curva con dique principal ubicada entre el cerro de la margen izquierda y una colina aislada en la margen de recha y un dique auxiliar entre esta colina y el filo norte-sur de la margen derecha cuya altura varía entre las cotas 180 y 130. La conducción y la casa de máquinas se localizaron sobre la margen izquierda debido a las buenas características topográficas y homogeneidad de este estribo. La desviación en la margen derecha por canal abierto se convierte en una galería semicircular de concreto, bajo el dique auxiliar. El rebosadero por canal en la margen derecha.

Se estudiaron alternativas con factores de planta 0.3, 0.4 y 0.5 correspondientes a 500 mw, 375 mw y 300 mw para la cota 130 y 520 mw, 428 mw y 340 mw para la cota 135. Estas alternativas se prepararon para Urrá I como proyecto único y también para Urrá I entrando en servicio al mismo tiempo o después de Urrá II. Los esquemas de las alternativas 130 y 135 se muestran en la Figura II-4-4.

b. Localización

El proyecto está localizado en la Angostura de Urrá unos 30 kilómetros al sur de la población de Tierra Alta y unos 9 kilómetros aguas abajo del caserío de Tucurá. La Angostura de Urrá es una zona montañosa cortada por el río Sinú en una longitud de 8 kilómetros aproximadamente; esta zona montañosa en sus dos extremos está limitada por dos valles aluviales de los cuales el valle inferior es muy amplio y corresponde al Bajo Sinú. La cadena de montañas cruza el río normalmente, o sea que se extiende en sentido Este-Oeste y tiene una altura promedio de 250 metros sobre el nivel de mar. La topografía en la Angostura de Urrá es montañosa, con numerosas cañadas y no presenta escarpes abruptos, las divisorias de aguas son estrechas, el río no tiene playas notables en este trayecto y el cañón tienen forma de V amplia con pendientes relativamente suaves. La caída en la longitud de 8 kilómetros es de 8.0 metros.

c. Nivel de Embalse

La cota máxima de embalse de Urrá I está limitada por el nivel de fuga que se pueda aceptar para Urrá II, sin disminuir la rentabili

dad de este proyecto. En efecto, si se sobrepasa la cota 135, la caída útil de Urrá II disminuye y aumenta el costo de su casa de máquinas por el volumen requerido para contrarrestar la flotación. Después de analizar los factores que intervienen en el costo del conjunto de los dos proyectos se consideró que la cota 135 era la máxima práctica para el nivel de fuga de Urrá II. Por otra parte, por debajo de la cota 130 se comienza a perder una caída utilizable entre el nivel de fuga de Urrá II y el nivel promedio de embalse de Urrá I.

El resultado de los estudios de sistemas indica que el nivel óptimo, en conjunto con Urrá II es 135 m por lo cual este fué el utilizado en los esquemas que se presentan en este capítulo.

d. Presas

Para el caso de presas de tierra se estudiaron básicamente dos esquemas:

- Presa de tierra con eje recto.
- Presa de tierra con eje curvo, que fué el finalmente seleccionado.

En el primer caso el eje estaría unos 140 metros aguas arriba del segundo; las características de las obras de ambos proyectos son similares en cuanto a ubicación.

El esquema con eje recto tenía la ventaja de no requerir dique auxiliar sobre la margen derecha pero su volumen era del mismo orden que el volumen de la presa y del dique auxiliar del proyecto seleccionado.

La presa estaría cruzada por una falla oeste-este que causa los dos cambios sucesivos de la dirección del río en la zona; en la falla, la roca está fracturada y meteorizada especialmente en la desembocadura de la Quebrada Melba.

Por otra parte el estribo izquierdo está formado por una terraza aluvial que sería necesario remover, por lo menos en la parte central de la presa, y que además podría dificultar la construcción de la ataguía y aumentaría la longitud del túnel de desviación.

Aunque a primera vista, y desde el punto de vista topográfico, el sitio parece ser mejor que el adoptado, se descartó por las razones expuestas anteriormente. Se consideró además que era más segura

la construcción de la presa donde la falla pasa por debajo de un dique auxiliar, que bajo el cuerpo principal de la presa en su mayor altura, teniendo en cuenta que no existía ventaja económica alguna.

Descartada esta localización se adoptó la alternativa de eje curvo, donde se ensayaron varios emplazamientos del eje y se seleccionó el que correspondía al menor volumen de terraplen y permitía una localización de la casa de máquinas con un menor volumen de excavación, aprovechando la desembocadura de una quebrada.

Como existen zonas de préstamo a distancia razonable aguas arriba y aguas abajo, se descartó el enrocado y se diseñó la presa esencialmente de aluviones. Para los espaldones de la presa se podrá utilizar parte del material proveniente de las excavaciones en roca de la desviación, casa de máquinas y rebosadero.

El sitio presenta buenas características para la fundación de la presa.

En el lecho del río, la roca se encuentra muy cercana a la superficie y el suelo residual en los estribos es de poco espesor. Las rocas que soportarían la presa pertenecen al nivel de chert y a la intrusión ígnea basáltica; ambos tipos de roca son adecuados para soportar la carga del terraplén.

La presa finalmente adoptada y presentada en este informe tiene las siguientes características:

- Espaldones aguas arriba y aguas abajo de gravas y arenas obtenidas en las playas y zonas de préstamo seleccionadas y fragmentos de roca procedentes de las excavaciones.
- Un núcleo central vertical de arcilla limosa con ancho igual a la mitad de la cabeza en cualquier sitio, para limitar el gradiente hidráulico máximo a través del núcleo a dos. La limpieza de la sobrecapa y excavación de las salientes de roca se hará a lo largo de los estribos en el contacto con el núcleo.
- Entre los espaldones granulares y el núcleo arcilloso se han proyectado dos zonas de transición de arenas y gravas; la zona de gravas se prolonga en forma de manto horizontal bajo el espaldón de aguas abajo para formar un filtro de salida libre.

- El talud aguas arriba protegido contra la erosión por una capa de enrocado seleccionado duro y no degradable. El talud aguas abajo podrá ser protegido en igual forma o empedrado.

En la etapa de diseño se harán análisis de estabilidad detallados una vez se determinen los parámetros de resistencia de los materiales granulares por medio de ensayos triaxiales.

En forma conservadora, en este momento, se han diseñado taludes de 2.0H:1.0V para el espaldón de aguas arriba y de 1.8H:1.0V para el de aguas abajo empinándolo ligeramente al llegar a la cresta. Existen precedentes para presas con una sección similar a la considerada usando materiales semejantes que tienen taludes más pronunciados que los propuestos.

Se usaron las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros Estadinos para la determinación del borde libre requerido. El resultado obtenido fué 2 metros, que al ser afectado por un factor de seguridad debido a las grietas que se presentan en la parte superior del núcleo en este tipo de presas da un valor de 3.5 metros.

La dirección general del buzamiento, perpendicular a la dirección del río, y el grado de fracturación y de microfisuración del chert hacen que la fundación de la presa y los estribos sean relativamente permeables por lo tanto se deberá establecer una cortina profunda de inyección, de manera convencional, con inyecciones de lechada de cemento y eventualmente, en ciertas zonas, con inyecciones de productos químicos tipo silicatos; por otra parte se ha previsto un tratamiento para limpieza e inyecciones profundas de la falla que pasa por debajo del dique auxiliar en la margen derecha.

Por último, aguas abajo de la presa, se debe perforar un sistema de drenaje horizontal en los estribos, especialmente en la margen izquierda, antes de la excavación de la casa de máquinas.

En las Figuras II-4-5 y II-4-6 se muestra la planta y secciones de la presa.

#### e. Obras de Desviación

Las obras de desviación se diseñaron con base en una creciente multiestacional con un período de recurrencia de 25 años, cuyo

caudal máximo se determinó en  $2.700 \text{ m}^3/\text{s}$  para la Angostura de Urrá.

Se analizaron varios casos dependiendo de la secuencia de construcción.

En el caso de Urrá I construido primero, las obras de desviación, deben absorber la casi totalidad de la creciente ( $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Por seguridad, no se tuvo en cuenta una amortiguación superior a los  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  últimos del pico de creciente por el embalse formado por la ataguía aguas arriba.

En el caso de que Urrá I se construya simultáneamente con Urrá II existen varias posibilidades debido al hecho que la construcción de Urrá II demora mucho más que la construcción de Urrá I y el caudal efluente de Urrá II depende de la etapa de construcción en que se encuentre.

Si Urrá II y Urrá I empiezan a construirse al mismo tiempo, el caudal de salida de Urrá II es el caudal que pasa por el túnel de desviación y por lo tanto el caudal por desviar en Urrá I es el mismo que en el caso anterior.

Si Urrá I se construye para que entre en operación al mismo tiempo que Urrá II, se puede planear su construcción en tal forma que la desviación de Urrá I y la construcción de la presa se haga cuando se cierren las compuertas en Urrá II. En este caso el caudal por desviar en Urrá I es únicamente el caudal del río Verde y del área intermedia en Urrá II y Urrá I y se reduce aproximadamente a menos de la mitad ( $1.215 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Por último, si Urrá I se construye después de que Urrá II este en operación, el caudal máximo por desviar es el caudal de la creciente de 25 años de Urrá II, pero amortiguado por el embalse más el caudal del río Verde. Esta combinación produce un caudal intermedio, entre los casos anteriores ( $1.815 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Con base en estos valores se optimizaron las obras de desviación. La margen más adecuada para construir uno o dos túneles según los casos, es la margen izquierda; pero esta posibilidad tuvo que ser descartada por la gran longitud de túneles para pasar por fuera de la quebrada donde se localizó la casa de máquinas.

La colina aislada de la margen derecha, por su masa relativamente poco importante no se prestaba para un túnel grande y menos para dos. Por lo tanto se llegó a la solución de una o dos galerías de desviación en concreto, fundidas en una zanja excavada en roca de bajo del dique auxiliar, con un canal de entrada y otro de salida que desemboca en la Quebrada Chibogadó. Esta solución permite además, aprovechar la excavación de la galería para tratar la falla que cruza el dique auxiliar y eventualmente, si se necesita después del primer llenado, completar las inyecciones desde el interior de la galería detrás del tapón de concreto. La optimización del diámetro de las galerías (1 o 2 según los casos) se hizo con base en análisis económicos de la suma de los costos de las galerías con sus canales y de la ataguía aguas arriba. El costo de cada una de estas partes es función decreciente de la otra (Diámetro del túnel - Altura de la ataguía) y su suma tiene una zona de mínimo. En esta zona, evitando la construcción de una galería de diámetro muy grande, se escogió el valor ubicado del lado de la ataguía más alta y la galería más reducida.

El análisis de sistemas mostró que lo más conveniente es construir los proyectos en forma tal que entren a generar simultáneamente, pero para efectos de estimativos de costo y presupuesto se consideró que era difícil, en etapa de factibilidad, asegurar que habrá una sincronización total de la construcción de Urrá II con un margen de seguridad inferior a tres meses y por lo tanto, se estimó que era más seguro proyectar la desviación de Urrá I sin tener en cuenta la simultaneidad de construcción, por lo menos en esta etapa de factibilidad.

En la etapa de diseño final, con datos más definitivos, se deberá tener en cuenta esta posibilidad para obtener la economía correspondiente si los programas de construcción son adecuados.

Las obras proyectadas se componen de dos galerías en concreto de 11 metros de diámetro que permite el paso del caudal máximo bajo condiciones de flujo a presión. Considerando las pérdidas de carga y el borde libre requerido con un margen de seguridad, la cota de cresta de la ataguía aguas arriba se fijó a la cota 96.00.

Con el objeto de suministrar un caudal mínimo a las poblaciones ribereñas aguas abajo durante el llenado del embalse se previó una válvula cónica en uno de los tapones de cierre para pasar los 50 m<sup>3</sup> por segundo correspondientes al caudal mínimo registrado.

En la Figura II-4-7 se muestra las obras de desviación.

f. Rebosadero

Se analizaron y descartaron varias alternativas. El sitio aparentemente más conveniente para su localización sería en la colina baja de la margen derecha pero esta se debilitaría peligrosamente y se causarían interferencias con el funcionamiento del esquema.

Se analizó entonces la posibilidad de ubicarlo en las depresiones naturales de la margen derecha. Se estudió la construcción de un rebosadero en dos sectores aprovechando dos quebradas con obras mínimas de rectificación, se descartó esta solución por la sinuosidad de sus cursos, la cantidad de suelo residual y la necesaria duplicación de equipos y mecanismos de compuertas con los consiguientes problemas de vigilancia y mantenimiento.

Por último se analizó un rebosadero por canal abierto aprovechando una depresión en la margen derecha correspondiente a una quebrada, y fué optimizado como se describe a continuación.

El caudal de la creciente máxima de  $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en la Angostura de Urrá se reduce una vez construída la presa de Urrá II la cual tiene un rebosadero cuya descarga máxima es de  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  y una excelente amortiguación. En caso de que el proyecto de desviar el río Verde resulte rentable en los estudios posteriores, la creciente de este último río se reduce también y el único caudal que llegaría a Urrá I sin amortiguación previa, sería el caudal de la zona intermedia entre Urrá II, Verde y el embalse de Urrá I.

Se hizo un balance económico entre el costo del rebosadero en función de un caudal máximo y la sobreelevación de la presa para definir el óptimo económico de la amortiguación, se encontró que para una sobreelevación del orden de 35 centímetros el caudal máximo de rebose se reducía a  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para una creciente de 50 años el caudal de rebose se limitaba a  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor aceptable para la llanura aluvial del Bajo Sinú.

Para reducir todavía más el caudal de rebose se necesita aumentar bastante el borde libre de la presa debido a la forma de la curva correspondiente a la creciente de diseño, en donde existe una



proporción importante del caudal de base del río con respecto a su caudal pico.

Para poder regular mejor la descarga del rebosadero y debido a lo estrecho del lecho de la quebrada se optó por un rebosadero conven  
cional con cuatro compuertas radiales. Vale la pena mencionar que la sobreelevación del nivel de embalse, si se daña un mecanismo , sería aceptable, sin causar problemas de estabilidad y seguridad de a la presa.

El canal consiste en dos tramos totalmente distintos: el primero en  
tre el rebosadero y el pozo de quietamiento y el segundo desde el  
pozo de quietamiento hasta la Quebrada Chibogadó, seguido por la canalización de esta quebrada.

El primer tramo conduce la creciente del rebosadero al pozo de a  
quietamiento en flujo supercrítico rápido. Su primera parte, cerca del vertedero, está revestida en concreto y después excavada en ro  
ca, teniendo en cuenta que la arenisca en la zona está recubierta por  
suelo residual y asegurando siempre el anclaje en la roca.

El pozo de quietamiento se diseñó de concreto, con el fondo a una cota que garantiza roca sana y por lo tanto evitando el revestimiento  
to de concreto.

Los taludes en roca (arenisca) se diseñaron con pendientes conser  
vadoras de 1 a 1 considerando los desgastes debido a la erosión hi  
dráulica.

El segundo tramo lleva las aguas de la creciente del pozo de aque  
tamiento al río Sinú, lo suficientemente aguas abajo de la casa de máquinas para no tener problemas de interferencias. Este tramo se divide en dos partes: la primera utilizando la depresión formada por una pequeña quebrada es un canal en curva muy amplia que llega  
a la quebrada Chibogadó. Este canal excavado en su mayor parte en  
suelo residual tiene su fondo sobre roca; el diseño final se deberá  
hacer una vez conocidos los datos de las perforaciones necesarias en el trayecto.

La segunda parte es una rectificación y canalización de la quebrada Chibogadó en las mismas condiciones de terreno que la primera. En  
este tramo, después del pozo de quietamiento la velocidad del a  
gua es subcrítica y por lo tanto se consideró que los problemas de  
bidos a la erosión hidráulica son controlables; no se descarta sin

embargo, que sea necesario hacer algunas obras de protección tales como gaviones, protección de taludes en enrocado o con grama.

Se hizo una provisión para estos costos eventuales en el presupuesto estimativo.

La estructura seleccionada tiene la cresta en la cota 126.50 para embalse en la cota 135; con el canal de aproximación a la cota 124.00 el rebosadero se puede considerar como " tipo Ogee " de cresta baja.

Para máximo nivel del embalse de 135.35 la relación de cabeza de energía sobre la cresta a cabeza de diseño de la cresta es de 1.04. A la máxima altura del nivel del embalse, la descarga máxima del vertedero es de 2081 m<sup>3</sup>/s aproximadamente, y a la máxima altura normal del embalse, la descarga es aproximadamente de 1971 m<sup>3</sup>/s.

El rebosadero es una estructura de concreto con cuatro compuertas radiales de 8.50 metros de altura por 9.70 metros de ancho vertiendo a un canal de 1.9 kilómetros de largo cuyos primeros 40 metros están revestidos en concreto hasta llegar a la cámara de quietamiento. A partir de este punto, con una longitud de 1.5 kilómetros hasta desembocar en el canal de desviación y en el río el canal, se diseñó sin revestimiento y con una pendiente de 0.4%.

Las Figuras II-4-8 y II-4-9 muestran la estructura proyectada.

g. Bocatoma y Conductos de Carga

Se prefirió ubicar las conducciones y la casa de máquinas en la margen izquierda, conformada casi uniformemente de chert y nó en la margen derecha por el tamaño de la colina que la forma y por la proximidad de la falla.

Dada la pendiente fuerte del terreno y la magnitud del caudal, después de analizar las alternativas posibles, se determinó que la solución más económica en este sitio era una de bocatoma del tipo plano inclinado en lugar de torre de toma con compuertas integradas.

Las compuertas se colocaron en un pozo adicionado con compuertas deslizantes simples para cierre de emergencia. Dadas las caracte

rísticas del chert, su susceptibilidad a la fracturación y su alto grado de microfisuración, los túneles se diseñaron con una distancia mínima de 3 diámetros entre ejes, con revestimiento continuo de concreto para tomar los esfuerzos de presión.

Los esquemas iniciales se hicieron tomando un 2% de la altura como pérdida de carga en las tuberías. Para los esquemas finales se optimizaron los diámetros en forma tal que el valor anual de la energía perdida por fricción en la tubería más las cargas anuales (interés 8%, depreciación y mantenimiento) estén en la zona de mínimos valores; para este proyecto esta zona es relativamente plana y corresponde a el valor escogido inicialmente del 2%.

A partir de la bifurcación, el diámetro se diseñó con base en el criterio que la velocidad del agua debe aumentar a un valor intermedio entre las velocidades en la tubería y a la entrada del caracol; antes de la válvula de seguridad se diseñó una reducción cónica progresiva del mismo diámetro que la entrada al caracol. Teniendo en cuenta los diámetros y presiones, así como la seguridad de operación se escogieron válvulas tipo "Mariposa".

La estructura adoptada está en un plano inclinado de 1:4H:1V con dos tomas cuadrangulares. Estas tomas alimentan dos túneles de 10.2 metros de diámetro, 260 metros y 298 metros de longitud respectivamente. Las bocatomas tienen rejas fijas limpiadas desde arriba por un equipo circulando a lo largo del plano inclinado y dos pozos de compuertas accionadas desde la plataforma de operación, a la cota 138.50. En los pozos se ha previsto también la colocación de dos compuertas de seguridad.

Al final del trayecto, cada uno de los túneles se divide en dos con diámetros de 7 metros para alimentar cada turbina, al final de cada ramal se ubicaron las reducciones para llegar al diámetro de entrada del caracol.

La última parte de los túneles principales está blindada con láminas de acero, unos 30 metros antes de llegar a la bifurcación. Los túneles están revestidos en concreto reforzado en toda su longitud.

Por último, a la altura del núcleo de la presa se previó una cortina de inyección que empata con la cortina general de la presa.

La Figura II-4-7 muestra detalles de la estructura de toma y túneles de carga.

h. Casa de Máquinas

La casa de máquinas se ubicó en la desembocadura de una pequeña quebrada de tal manera que el volumen de excavación sea el mínimo posible al mismo tiempo que quede techo suficiente para las tuberías de carga; esto se logró por medio de aproximaciones sucesivas.

El dimensionamiento y diseño preliminar de la casa de máquinas se hizo con base en las características preliminares de la tubería y en datos estadísticos sobre generadores, puente grúas, etc.

Para el dimensionamiento preliminar, en esta etapa de factibilidad de la turbina y del caracol se utilizó el método desarrollado por F. de Siervo y F. de Leva con base en datos estadísticos de turbinas relativamente recientes. Se tomaron también en cuenta para este dimensionamiento preliminar, las restricciones de peso y de volumen debidas a la situación geográfica del sitio y a los límites impuestos por la capacidad de las obras de arte existentes sobre las carreteras de acceso, y de los puertos colombianos más cercanos.

El esquema propuesto tiene las siguientes características:

El acceso se hace del lado aguas abajo, por un puente que cruza el río a unos 200 metros de la presa, durante construcción y montaje de equipos; se dispuso también otro acceso del lado aguas arriba por una berma de la presa que la conecta con la carretera, a la altura del patio de conexiones.

La estructura de la casa de máquinas es convencional, en concreto con superestructura metálica y cubierta liviana, ya que no se tiene problema de estabilidad a la flotación. La zona de sala de mando, oficinas, almacenes, etc., se ubicó en la parte anterior y la zona de transformadores en la parte posterior inmediatamente atrás de los pozos de válvulas.

El conjunto está formado por cuatro módulos para las cuatro unidades y un módulo más ancho para el montaje. Los primeros tienen una anchura de 18.10 metros cada uno y el último de 29.60. Al lado de éste se previó un patio al aire libre que se utilizará sobre todo en período de construcción.

En la primera aproximación se fijó la velocidad específica de las

turbinas en 229.68 rpm, el eje a la cota 72.00, el fondo del tubo de aspiración en la cota 59.60, la parte más profunda de la casa de máquinas a la cota 58.00 o sea unos 10 metros por debajo del fondo del centro del lecho del río. La turbina Francis está acoplada directamente al generador cuyo piso está a la cota 79.00 aproximadamente.

El canal de salida se diseñó en curva, para tener una transición en forma continua con el cauce del río, y sube a la cota 63.20 a la salida de los tubos de aspiración hasta una cota, variando entre 68 y 70 según la profundidad del río.

En la zona posterior de los bloques se localizaron los pozos para las válvulas de mariposa; estas válvulas se pueden montar y remover por medio de un pórtico-grúa que circula en la misma área que la de movimiento de los transformadores.

En la parte central de la casa de máquinas el puente grúa se desplaza sobre un pórtico de concreto integrado en la estructura.

En las Figuras II-4-9 a II-4-13 se muestra la planta y los cortes de la casa de máquinas.

El patio de conexiones se localizó en la margen derecha, casi al frente de la casa de máquinas para reducir lo más posible las excavaciones. La conexión entre los transformadores y el patio se hace por medio de una línea, cuyas torres se ubicaron por una parte arriba de la excavación de la casa de máquinas y por otra parte entre la carretera y el patio de conexión. Las líneas pasan encima de la casa de máquinas pero a una altura prudencial, teniendo en cuenta las distancias de seguridad normales.

i. Equipos Eléctricos y Mecánicos

1. Equipo Mecánico de Generación

En esta etapa de los estudios se han considerado cuatro unidades tipo Francis de eje vertical con una potencia de 115.500 hp cada una. La velocidad nominal de las turbinas será de 128.57 rpm. A cada turbina irá acoplado un generador de las mismas características y con un voltaje de 13.8 kv. Dentro de la casa de máquinas se instalarán: válvulas de mariposa, equipos de regulación mecánicos y eléctricos, equipos de corriente directa, equipos de emergencia, etc. Se instalaron dos puente-grúas, uno en la sala principal y otro sobre la zona

de los pozos de válvulas.

Dentro del cuarto de control de la casa de máquinas se instalarán los tableros de control y protección. Los tableros de control serán del tipo mosaico, mientras que los de protección serán del tipo convencional. Las protecciones primarias que cubren tanto los generadores como las líneas de transformadores, serán en estado sólido y las de retaguardia del tipo convencional.

## 2. Otros Equipos Electromecánicos

Tanto en la bocatoma como en el rebosadero se instalarán equipos pesados que necesitan energía eléctrica para su operación. Se construirán las líneas de 13.200 voltios desde la central y se instalarán los transformadores y sus respectivas protecciones en cada uno de estos sitios. Igualmente se deberán independizar los tableros de control y protección, tanto de fuerza (440 v) como los de alumbrado y servicios generales (208/120 v).

## 3. Patio de Conexiones

La energía se despachará a través de Urrá II a la línea de 500 kv en Cerromatoso. En el patio de Urrá I, se tendrán los cuatro módulos de entrada de los generadores: dos salidas para las líneas a 220 kv y el módulo o "bay" para los auxiliares. El tipo de subestación es de barraje sencillo o con transferencia. Otros tipos de disposiciones para subestación como las de doble barraje, o la llamada interruptor y medio, se podrán estudiar durante los diseños definitivos.

En Cerromatoso, además de los módulos a 500 kv para conectarse a la línea de interconexión, se construirá una subestación a 220 kv con los transformadores elevadores y los cuatro módulos que reciben las líneas de Urrá I y Urrá II.

No se prevén problemas de construcción que implique aumentar el aislamiento de los equipos. La capacidad de los interruptores a 220 kv se estima en 10.000 mva y la corriente nominal en 1000 amperios.

Las líneas se protegerán con relés a distancia y con relés direccionales de sobrecorriente y sobrecorriente de tierra como retaguardia.

j. Líneas de Transmisión y Transformadores

1. Energía para la Construcción

Para disponer de la energía necesaria para la construcción del proyecto se cuenta con dos alternativas: la primera consiste en prolongar la línea a 115 kv desde Apartadó y la segunda prolongar una línea al mismo voltaje desde Cerromatoso.

La Electrificadora de Antioquia piensa construir para el año 1979, la línea a 115 kv Frontino-Apartadó, la cual estará interconectada con el sistema central por medio de la actual línea Belén-Santa Fé de Antioquia.

La distancia desde Apartadó al sitio de presa, es de aproximadamente 45 kilómetros, y desde Cerromatoso es de aproximadamente 80 kilómetros.

Por otra parte la Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica, CORELCA tendrá un voltaje a 115 kv en Cerromatoso. La prolongación de esta línea al sitio de las obras se considera como una segunda alternativa.

El costo unitario de estas alternativas es aproximadamente igual por ser cualquiera de las líneas en circuito sencillo y con un solo hilo de guarda. Sin embargo, construir la línea desde Cerromatoso cuesta el doble por ser 40 kilómetros más distante al sitio de presa que desde Apartadó.

La línea utiliza torres metálicas autosoportadas, cable de aluminio, acero (ACSR) y cadenas de 9 y 10 aisladores respectivamente.

2. Línea a Cerromatoso

La energía proveniente de Urrá I será enviada a Urrá II para despacho de allí hasta la subcentral Cerromatoso. Por ser la distancia desde el patio de conexiones de Urrá II hasta Cerromatoso relativamente corta (80 km), se encontró que el voltaje de transmisión más conveniente es de 220 kv.

Como la línea de interconexión eléctrica con la Costa Atlántica es a 500 kv, es necesario construir una subestación para elevar el voltaje que viene de Urrá de 220 kv a 500 kv.

Se necesitarán dos líneas de doble circuito, cada una con dos hilos de guarda en acero y conductores de aluminio acero (ACSR) del orden de 1033 MCM. Se utilizarán torres metálicas autosoportadas y cadenas de aisladores sencillas de 16 a 18 aisladores por cadena. No se prevén problemas de contaminación que impliquen aumento en el aislamiento de los circuitos.

### 3. Equipo en Cerromatoso

Se instalarán en Cerromatoso los transformadores elevadores de 220 kv/500 kv, así como los equipos del patio, como son: interruptores, transformadores de corriente, seccionadores, etc. CORELCA ha previsto en la subcentral a 500 kv, módulos para recibir la energía proveniente de Urrá.

### 4. Transformadores Principales

Los transformadores para elevar el voltaje de generación al voltaje de transmisión serán monofásicos, de 40 mw de potencia, y con una relación de 13.800 voltios que es el voltaje de generación a 127 kv (220 kv entre fases), que es el voltaje de transmisión. Se conectarán en triángulo (13.8 kv) estrella (220 kv) con el neutro conectado sólidamente a tierra.

Los transformadores serán del tipo OA/FA, es decir, en aceite con refrigeración por aire, o alternativamente OA/FA/FOA.

Como los transformadores elevadores en Cerromatoso deben preverse para el total de la generación (Urrá I + Urra II), los transformadores serán monofásicos del tipo convencional OA/FA/FOA con neutro sólidamente conectado a tierra, para lo cual se prevé autotransformación.

### 5. Transformadores Auxiliares

Se necesitarán igualmente los transformadores auxiliares, no solamente los de cada máquina con capacidad aproximada de 300 kva y de relación de 13.800 voltios/440 voltios, sino los transformadores que obligatoriamente se necesitan tanto en el rebosadero como en la bocatoma.

Por efectos de uniformidad de voltajes, la relación de estos transformadores es 13.8 kv/440 v para fuerza y 208 /120 v para iluminación y demás servicios.



k. Líneas de Transmisión y Subestaciones - Consideraciones Adicionales

1. Líneas para la Construcción

Como se explica en la descripción del proyecto, se escogió un voltaje para la línea que llevará energía para la construcción de 115 kv. La línea llegará a Urrá II y continuará a Urrá I. Debido a la construcción simultánea de los proyectos no se justifica alimentar independientemente ambos sitios ya que la distancia de Urrá I a Urrá II es de solo 35 kilómetros.

2. Línea de Transmisión Definitiva - (Urrá I-Urrá II)

En la Central de Urrá I habrá cuatro generadores de 85 mw cada uno con sus respectivos transformadores. No se prevén unidades adicionales. En el patio de conexiones de la central se necesitarán entre 6 y 8 módulos a 220 kv discriminados así:

- Cuatro módulos para los generadores
- Un módulo para el transformador de auxiliares.
- Un módulo para el barraje de transferencia (opcional).
- Uno o dos módulos para las líneas que salen hacia Urrá II.

Por el voltaje escogido 220 kv y por el tipo de conductor 1033 MCM aluminio acero, similar al Portland o al del Catálogo ALCAN, este conductor puede transportar por un solo circuito mil amperios por fase es decir un total de:  $1000 \times 220 \text{ kv} \times \sqrt{3} = 381 \text{ mva}$ .

Con esta corriente el conductor tendría una temperatura de aproximadamente 85°C es decir 45°C por encima de una temperatura ambiente de 40°C.

Como se espera que el factor de potencia sea del orden de 0.9, la capacidad en mw de transporte es de  $381 \times 0.9 = 343 \text{ mw}$  por encima de la capacidad máxima de generación que es de 340 mw. Sin embargo, y de acuerdo con las lecturas registradas, la temperatura promedio ambiente rara vez llega a 35°C y nunca a 40°C, por lo que se estima que el conductor se comportará bien dentro de las condiciones de prediseño descritas.

Se concluye de lo anterior que una sola línea de circuito sencillo es adecuada para las necesidades del proyecto. Sin embargo, y a soli

ciudad de CORELCA se pueden entrar a considerar por razones de confiabilidad y mantenimiento dos líneas independientes o una de doble circuito. En este caso, el costo necesariamente aumentaría, ya que habría que incluir además de la línea adicional o del circuito adicional, un módulo de 220 kv en Urrá I y un módulo de 220 kv en Urrá II, como se describe a continuación.

a. Costo Adicional en caso de Línea Doble Circuito Urrá I-Urrá II

1. Módulo adicional de 220 kv en Urrá I	US\$	250.000
2. Módulo adicional de 220 kv en Urrá II		250.000
3. Diferencia de costo entre circuito sencillo y circuito doble 40.000/km		<u>1.400.000</u>
	US\$	1.900.000

En otras palabras, el sobrecosto podría ser del orden de dos millones de dólares entre circuito sencillo y circuito doble.

b. Costo Adicional en el caso de Doble Línea Sencilla a 220 kv entre Urrá I y Urrá II

Dos módulos adicionales	US\$	500.000
Línea adicional 70.000/km		<u>2.450.000</u>
Circuíto Sencillo		
	US\$	2.950.000

Es decir, en el caso que CORELCA decida construir dos líneas independientes de circuito sencillo entre Urrá I y Urrá II, habría un sobrecosto del orden de tres millones de dólares.

## RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO URRÁ I-135

Las características que se dan a continuación fueron las obtenidas en esta etapa de los estudios. Durante el diseño deberán refinarse para obtener los valores definitivos especialmente en equipo electromecánico y estructuras dependientes de estos.

Localización : Sobre el río Sinú en la Angostura de Urrá, 30 km al sur de Tierra Alta.

Accesos Requeridos : Por carretera de Tierra Alta a Tucurá

### Presa

- Tipo : Presa de tierra con núcleo central de arcilla y espaldones de gravas y enrocado.
- Talud aguas abajo : 1.8H:1.0V
- Talud aguas arriba : 2.0H:1.0V
- Altura máxima : 71 metros
- Cota de Cresta : 138.5 msn
- Nivel máximo de embalse : 135.0 msn
- Borde Libre : 3.50 m
- Longitud de la Cresta : 230 m la presa principal y 385.0 el dique auxiliar
- Volumen de Relleno : 1'889.500 m<sup>3</sup>

### Obras de Desviación

- Tipo : Canal abierto sobre la margen derecha y conductos en concreto bajo dique auxiliar
- Longitud Total : 1.115 m
- Sección : Semicircular para las galerías y trapezoidal para el canal
- Pendiente : Horizontal hasta entrada conductos
- Revestimiento : Concreto reforzado en el tramo de conductos

Compuertas:

- Tipo : Tablones de cierre
- Número : Cuatro

- Caudal efluente de diseño con ataguía a la cota 96.0 : 2500 m<sup>3</sup>/s
- Período de recurrencia del Caudal de diseño : 25 años

Embalse

- Volumen máximo cota 135.0 : 1780 millones de m<sup>3</sup>
- Volumen útil : 1054 millones de m<sup>3</sup>
- Volumen muerto : 726 millones de m<sup>3</sup>
- Area : 67 km<sup>2</sup>

Rebosadero

- Localización : Sobre estribo derecho a 1 kilómetro de la presa
- Tipo : Estructuras con compuertas radiales, pozo de aquietamiento, y canal de salida
- Longitud Total : 1900 m
- Cota de gola : 126.5 msnm
- Sección del Canal : Trapezoidal de 48 m de base con taludes 1H:1V
- Cabeza de Energía : 8.5 m

Compuertas:

- Tipo : Radial
- Número : Cuatro

- Caudal creciente máxima sin Urrá II : 4000 m<sup>3</sup>/s
- Caudal pico afluente : 2800 m<sup>3</sup>/s
- Caudal pico de descarga : 2000 m<sup>3</sup>/s
- Caudal máximo de descarga Creciente 50 años : 1500 m<sup>3</sup>/s

## Bocatoma y Conductos de Carga

- Caudal de diseño total : 719 m<sup>3</sup>/s

## Túnel

- Número : Dos túneles  
- Longitud de los túneles : 298 y 260 m  
- Diámetro de excavación : 12.0 m  
- Sección : Circular de 10.2 de diámetro  
- Revestimiento : En concreto y blindaje de acero en los últimos 30 m antes de la bifurcación

## Compuertas:

- Tipo : Deslizantes operadas desde pozo vertical  
- Número : Cuatro  
- Dimensiones : 5.50 x 12.00

Blindaje de Acero : 264 m en total

- Diámetros : 7 m en distribuidor, 10.2 en túnel  
- Espesores : 1.5 cm

Distribuidor : 4 túneles blindados de 36, 40, 41, 45 m

- Número de salidas : Cuatro  
- Diámetros : 7 m y reducción a 5 m

## Casa de Máquinas

- Localización : Margen izquierda a 50° con el río  
- Factor de Planta : 0.56 operando con Urrá II y San Jorge

## Turbinas

- Tipo : Francis  
- Número de Unidades : Cuatro  
- Cota de los ejes de turbinas : 72.00  
- Caudal de diseño : 178.25 m<sup>3</sup>/s

- Velocidad nominal : 128.57
- Eficiencia máxima : 92%
- Potencia nominal por unidad : 115.500 hp
- Altura máxima de operación : 62.35 m
- Altura mínima de operación : 39.98 m
- Velocidad específica : 229.68
- Altura promedio de operación : 58.91 m

### Generadores

- Tipo : Verticales con dos cojinetes de guía
- Número de unidades : Cuatro
- Velocidad nominal : 128.57 rpm
- Frecuencia : 60 Hz
- Voltaje : 13.8 kv
- Eficiencia máxima : 98%
- Potencia nominal por unidad : 85 mw

### Transformadores

- Tipo : Monofásica OA/FA
- Número : Doce
- Enfriamiento : Aceite refrigerado por aire
- Voltajes : 13.8 a 220 kv

### Válvulas

- Tipo : De mariposa
- Número : Cuatro

Puente Grúa : Uno en casa de máquinas  
Un pórtico para válvulas

### Patio de Conexiones

- Localización : Margen derecha frente a la casa de máquinas
- Tipo : Barraje sencillo o con transferencia
- Número de módulos : Seis (4 de generadores, línea y auxiliares)

### Líneas de Transmisión

- Tipo : Una de circuito sencillo hacia Urrá II
- Longitud : 35 km
- Voltaje : 220 kv

### Carreteras

- Longitud : 32 km a Tierra Alta y 67 km a Urrá II
- Ancho : 6 m


### Generación y Costos

- Capacidad instalada : 340 mw
- Factor de Planta : 0.56 (con Urrá II-San Jorge)
- Generación anual:  
(con San Jorge) : 1666 gwh
- Costo total de construcción : US\$106.357.000
- Costo por kw instalado:  
(sin escalación ni intereses) : US\$313.00

Las cifras anteriores corresponden al proyecto Urrá I-135 construído simultáneo con Urrá II. Pueden sufrir variaciones dependiendo de la configuración que finalmente se adopte y de los factores de planta y capacidades instaladas.

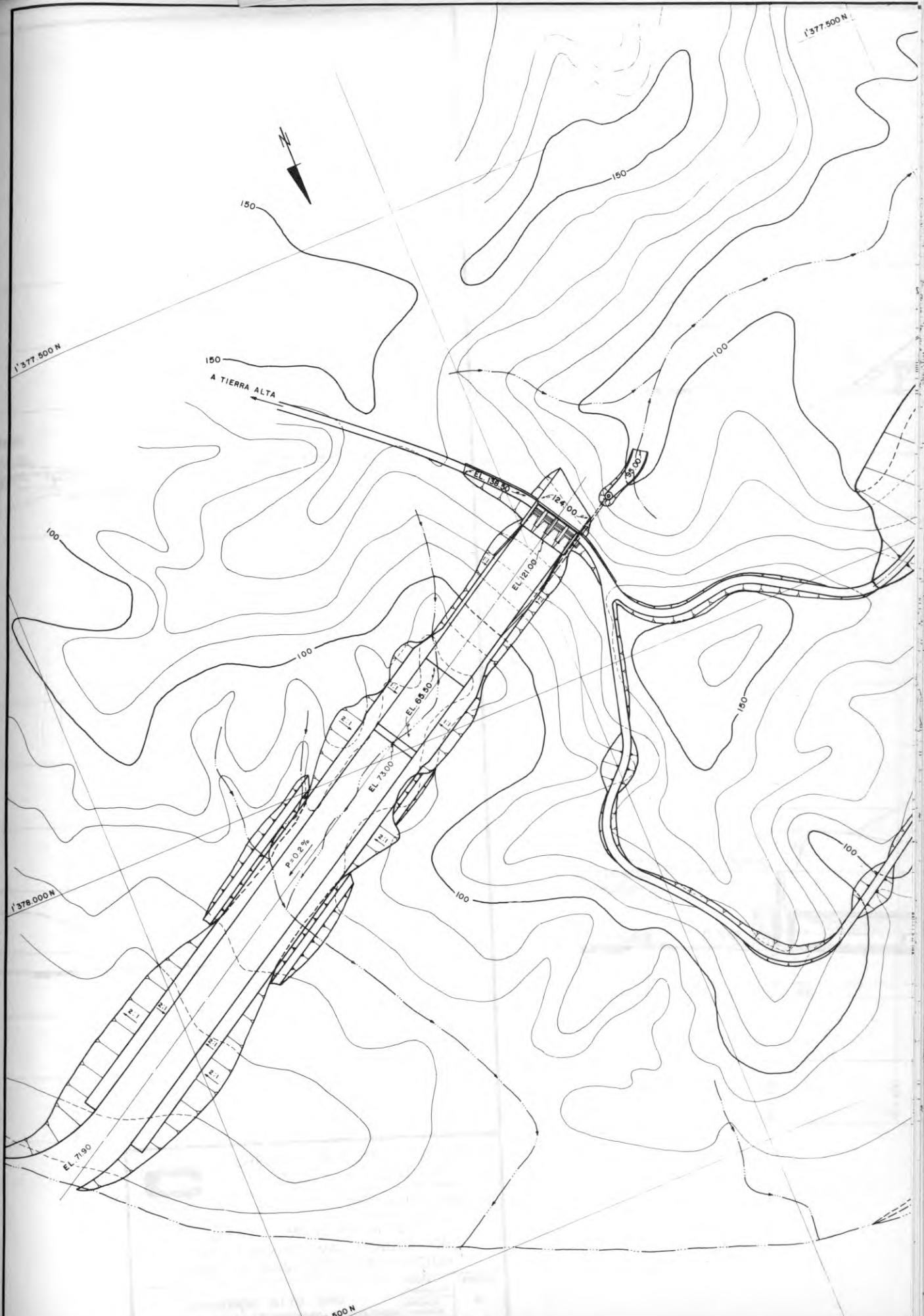
Así mismo, las características del proyecto pueden sufrir modificaciones de acuerdo con el que finalmente sea escogido por CORELCA y las entidades encargadas del planeamiento eléctrico del país.

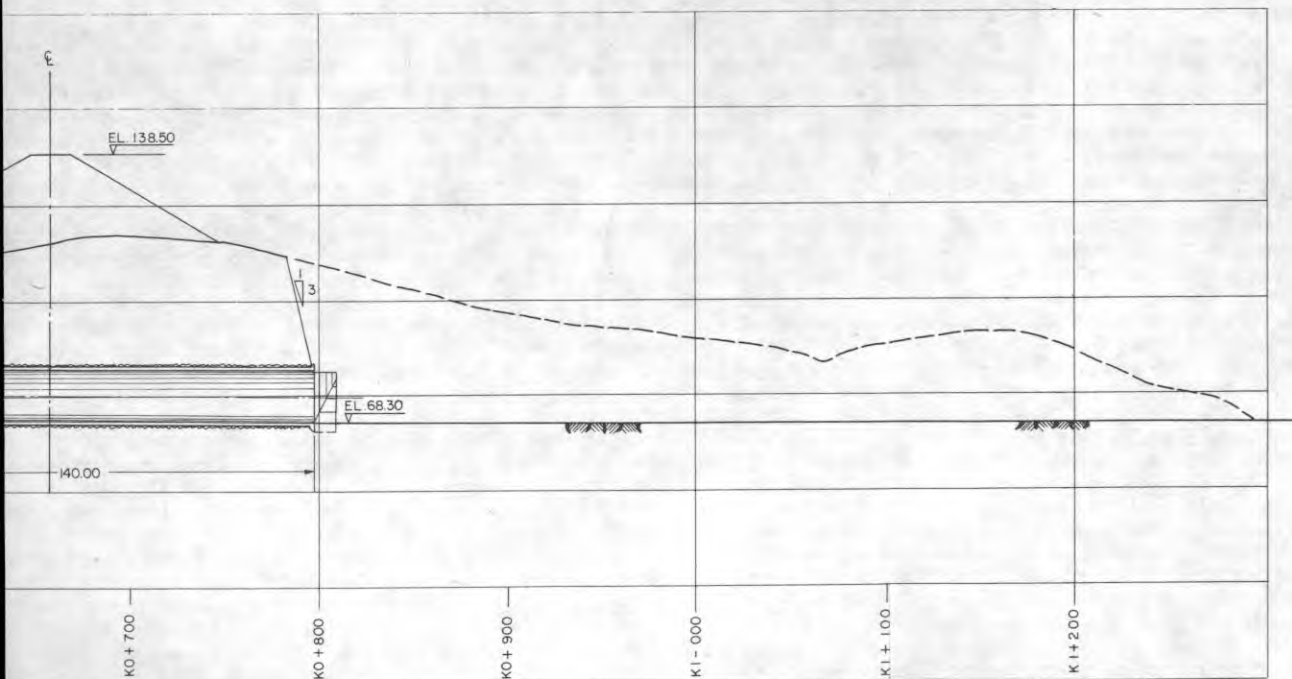
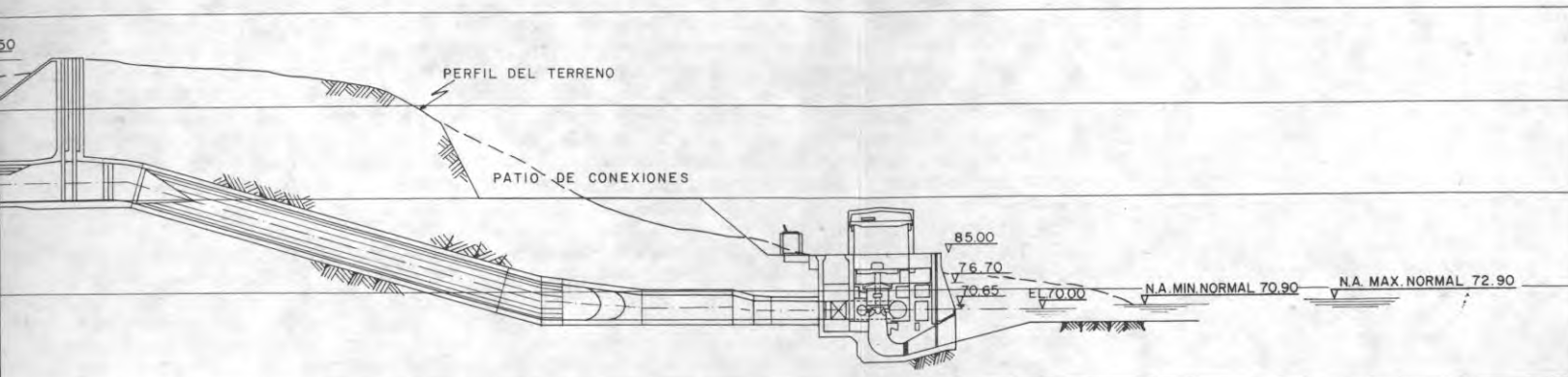



**CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA**  
**PROYECTO DEL ALTO SINU**  
**URRA I-135 ALTERNATIVA MANO VIEJA**  
**PLANTA GENERAL**

CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero-77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UE 6-442	FIGURA II 4-1
---	--	---------------------







CORPORACION ELECTRICA DE LA  
COSTA ATLANTICA

PROYECTO DEL ALTO SINU

URRA I - MANO VIEJA-135  
CORTES BOCATOMA, CONDUCCION,  
CASA DE MAQUINAS Y DESVIACION

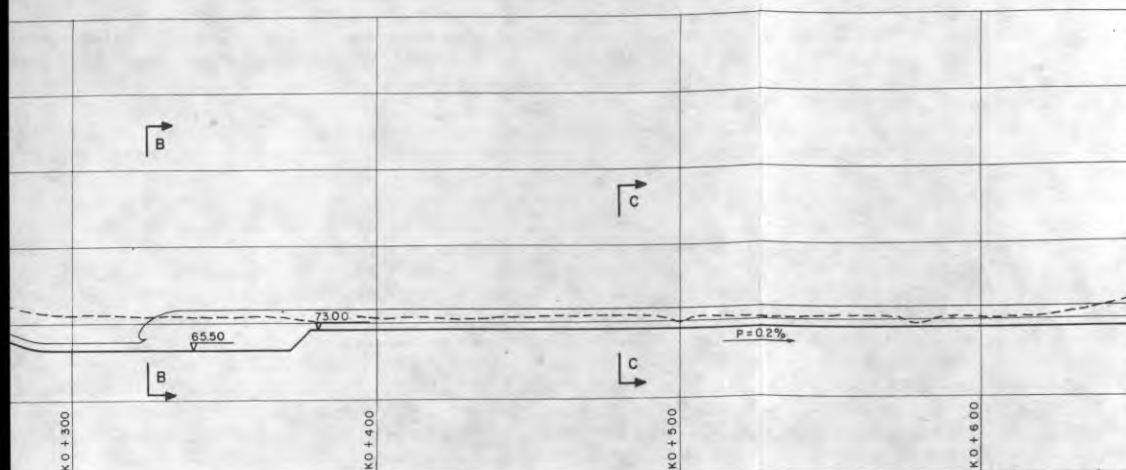
CONSORCIO ALTO SINU  
INTERDISEÑOS- SUELOS Y FUNDACIONES- GEOCOLOMBIA  
ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.

FECHA:  
Febrero - 77  
ESCALA:  
INDICADA  
ARCHIVO:

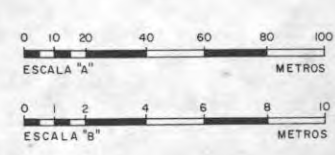
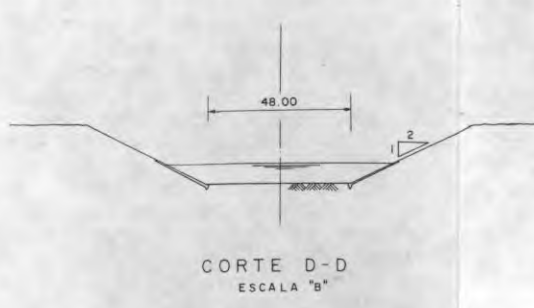
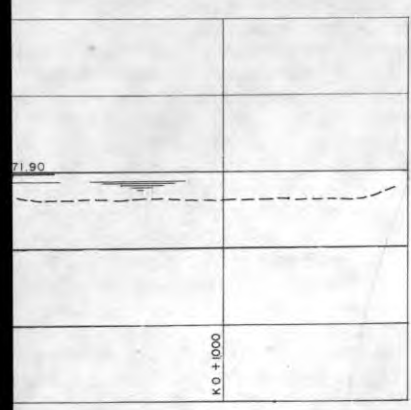
FIGURA

II

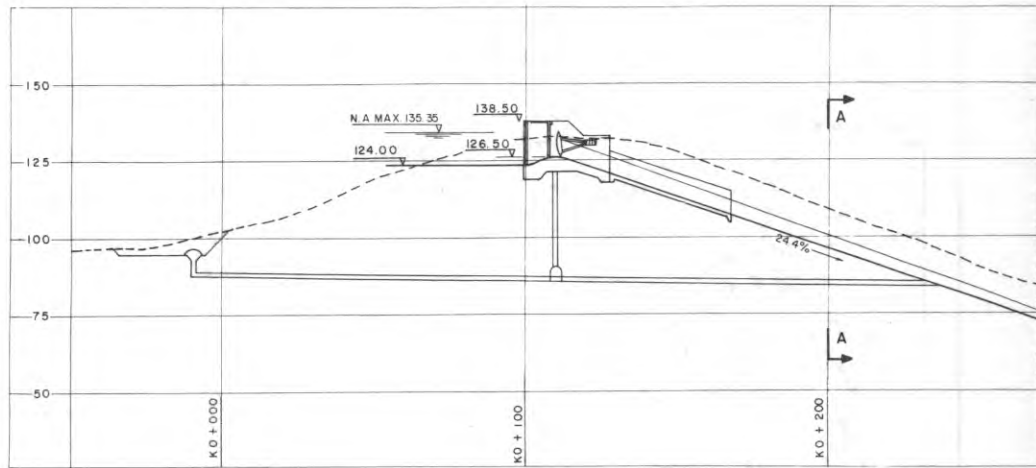
4 - 2



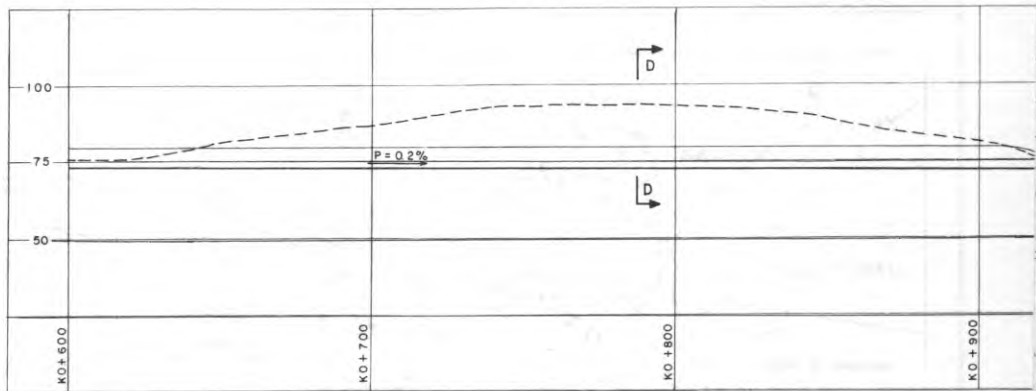
000 - KO+060  
 ALA: HORIZONTAL "A"  
 VERTICAL "B"



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA I - MANO VIEJA-135 REBOSADERO CORTES		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL, INC.	FECHA: Febrero - 77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: US-6-445	FIGURA II 4-3

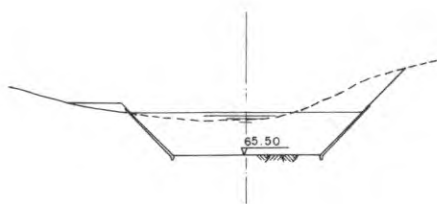


K

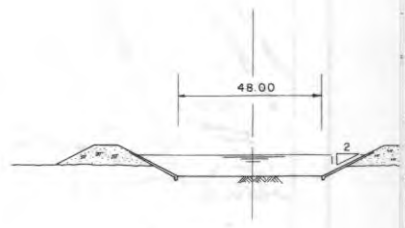


KO+060 - KO+100

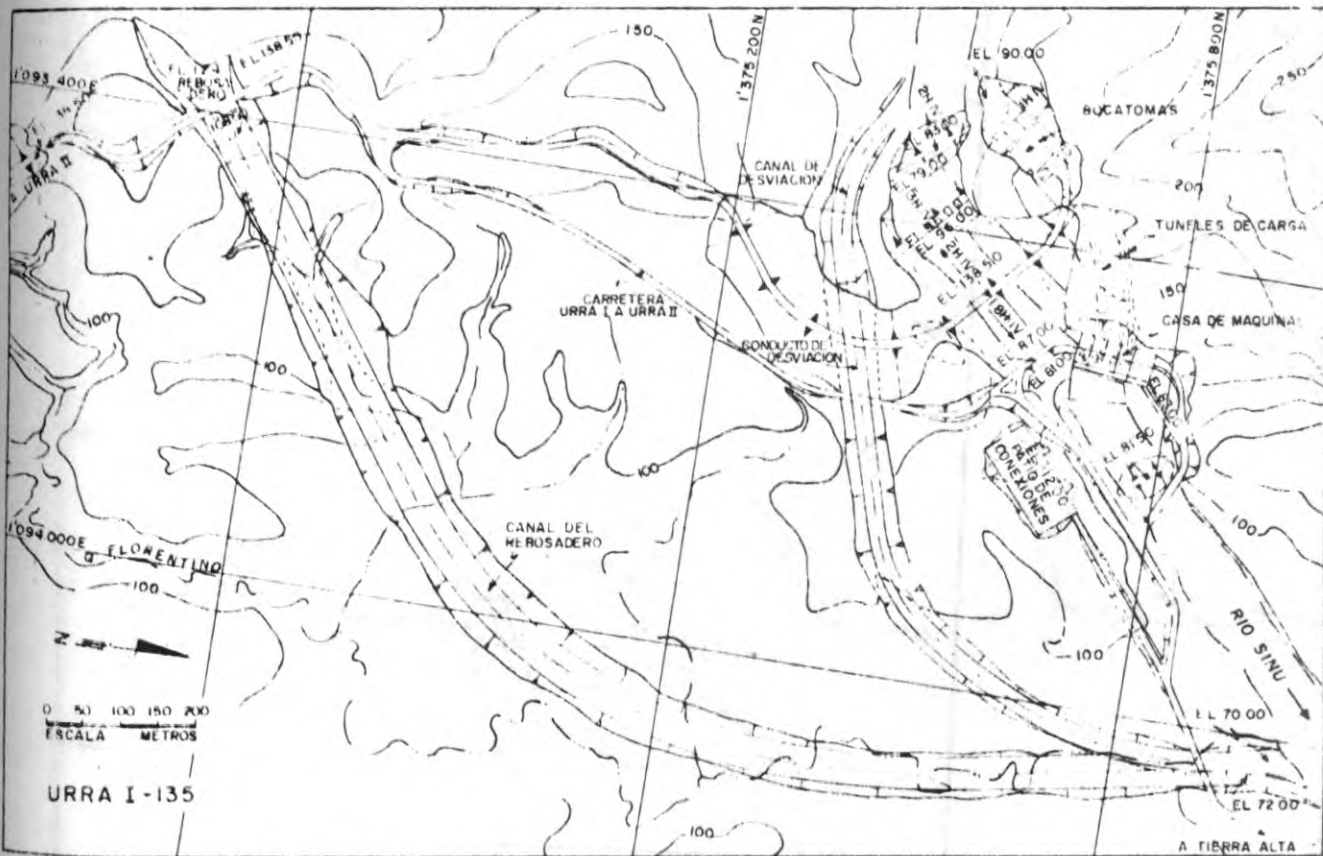
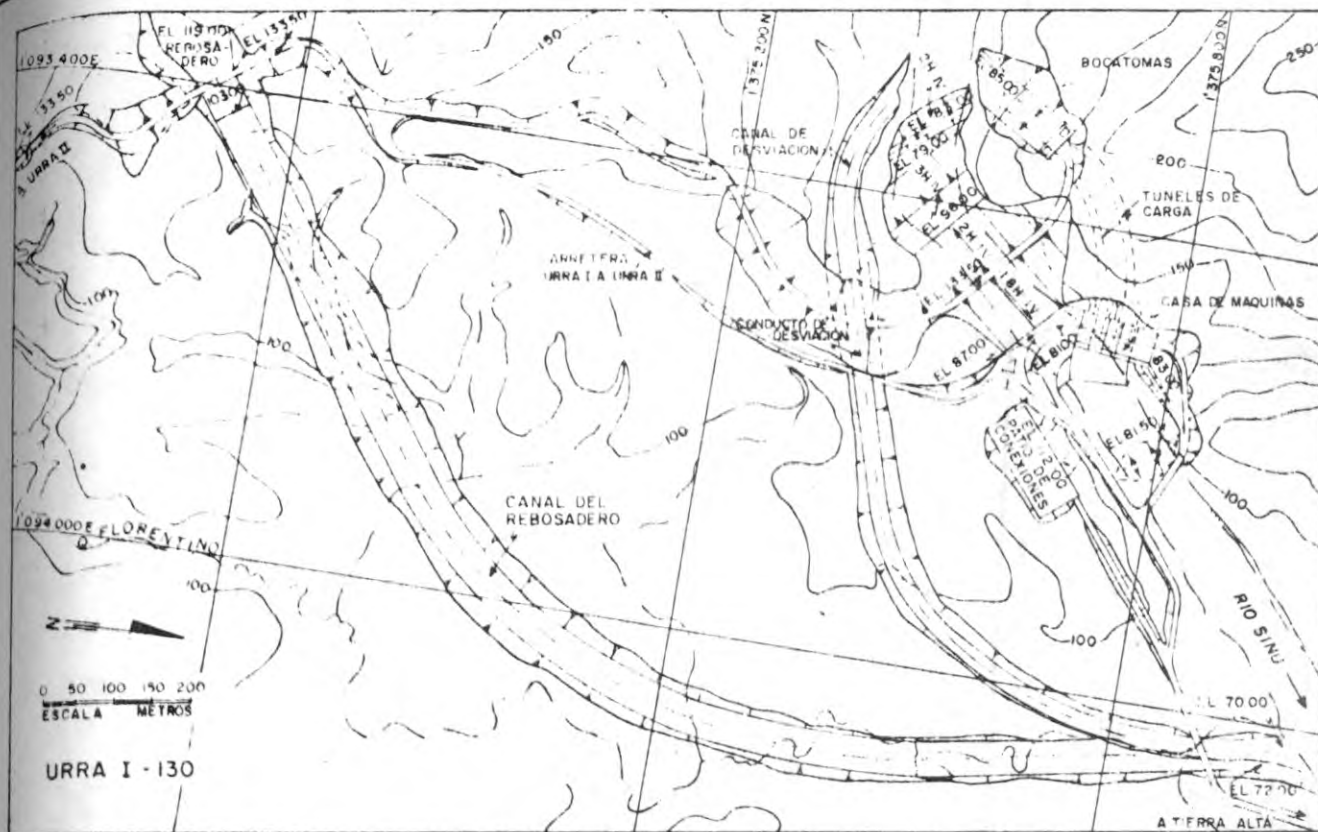
HORIZONTAL "A"  
ESCALA: VERTICAL "B"



CORTE B-B  
ESCALA "B"



CORTE C-C  
ESCALA "B"



CORPORACION ELECTRICA  
DE LA  
COSTA ATLANTICA

CONSORCIO ALTO SINU  
INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES- GEOCOLOMBIA  
ASESORES CHAST MAIN INT'L INC

URRA I  
ALTERNATIVAS TÍPICAS ESTUDIADAS

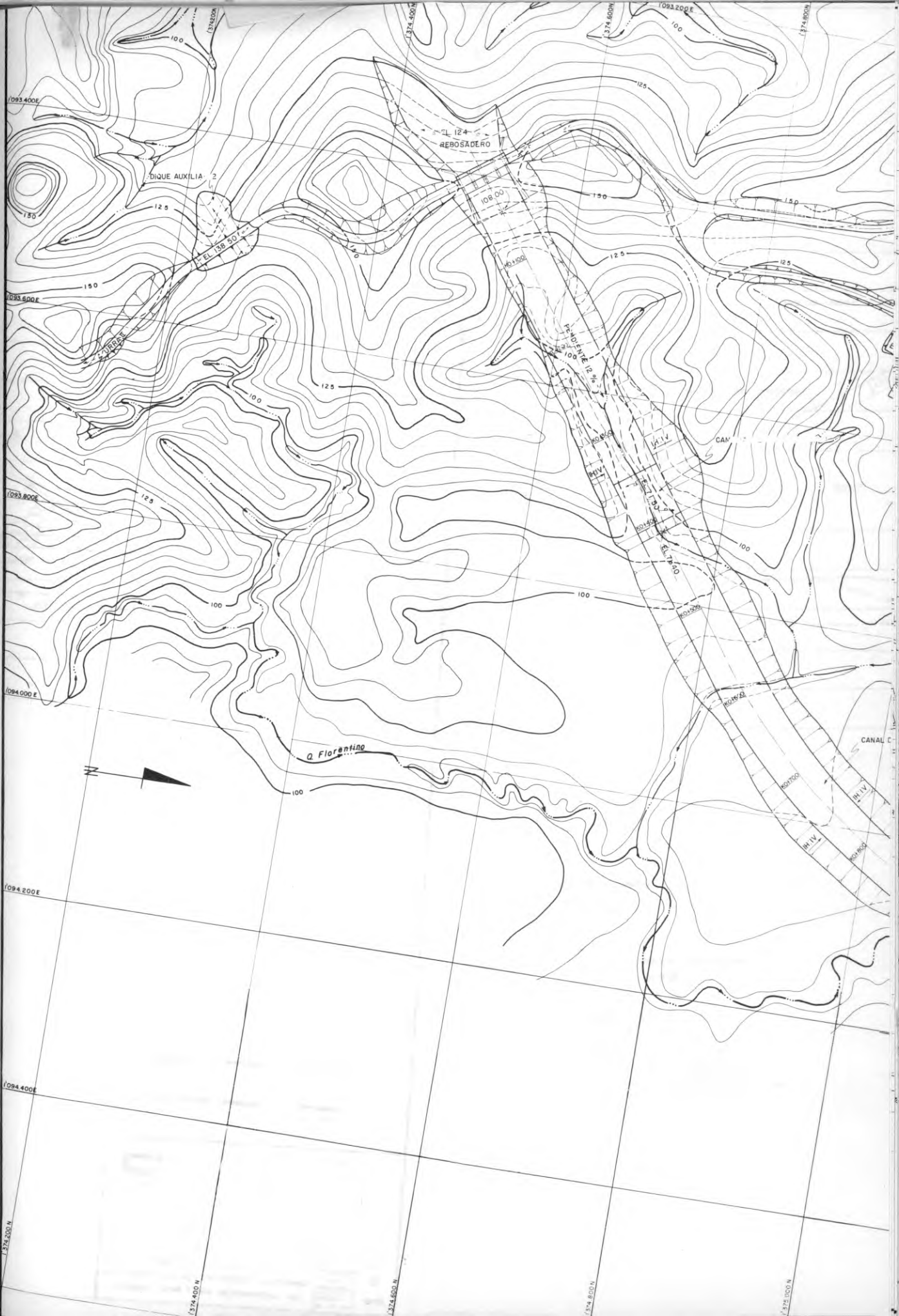
FECHA	FIGURA
ESCALA INDICADA	II
ARCHIVO	4 - 4
UI-G-446	

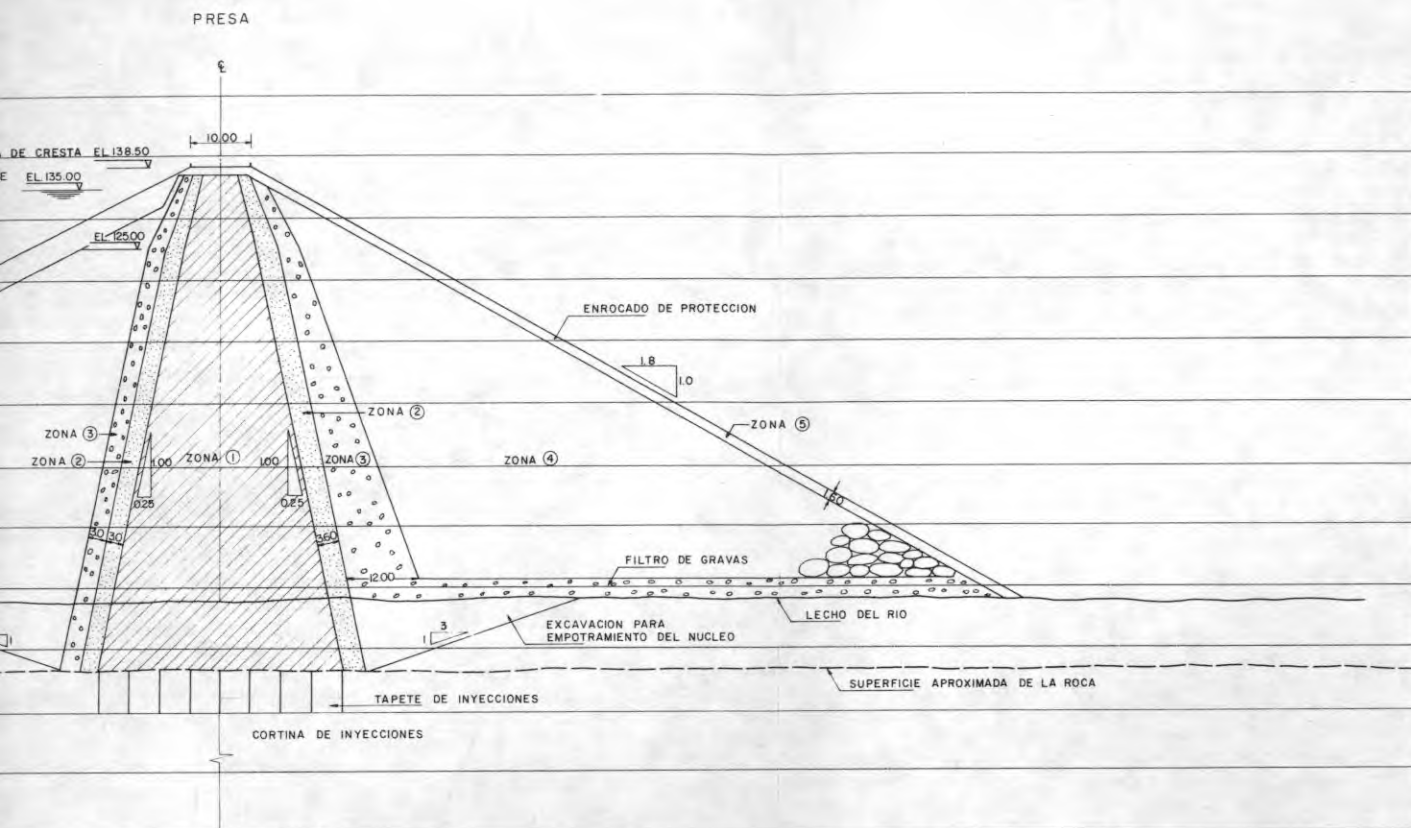


 CORELCA	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
IIRRA I - 135 PLANTA GENERAL		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC		FECHA: Diciembre-78 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UI-E-240
		FIGURA <b>II</b> 4-5



- NOTAS:
- 1- Se muestra localizar y ubicación de campamentos
  - 2- Se deberá estudiar la estructura de una estructura para paso de material, arboles y peces.

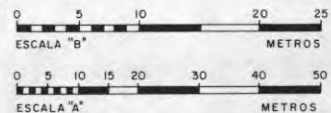




SECCION MAXIMA  
ESCALA "A"

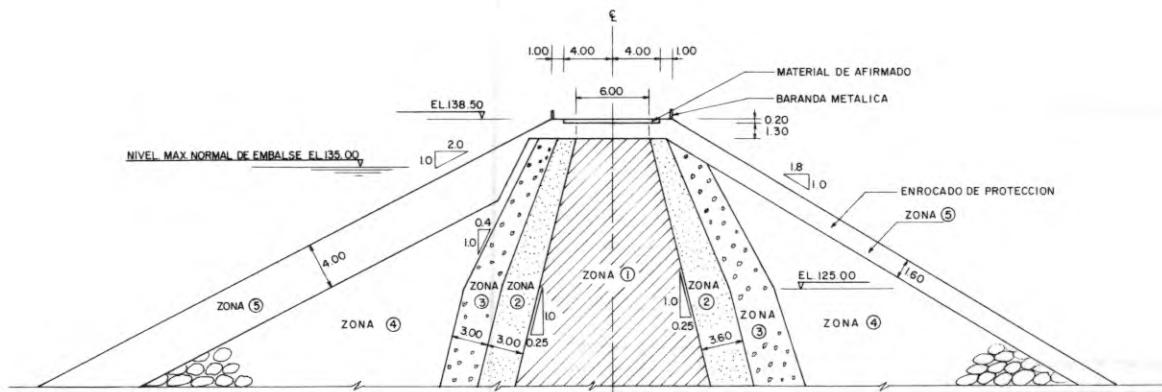
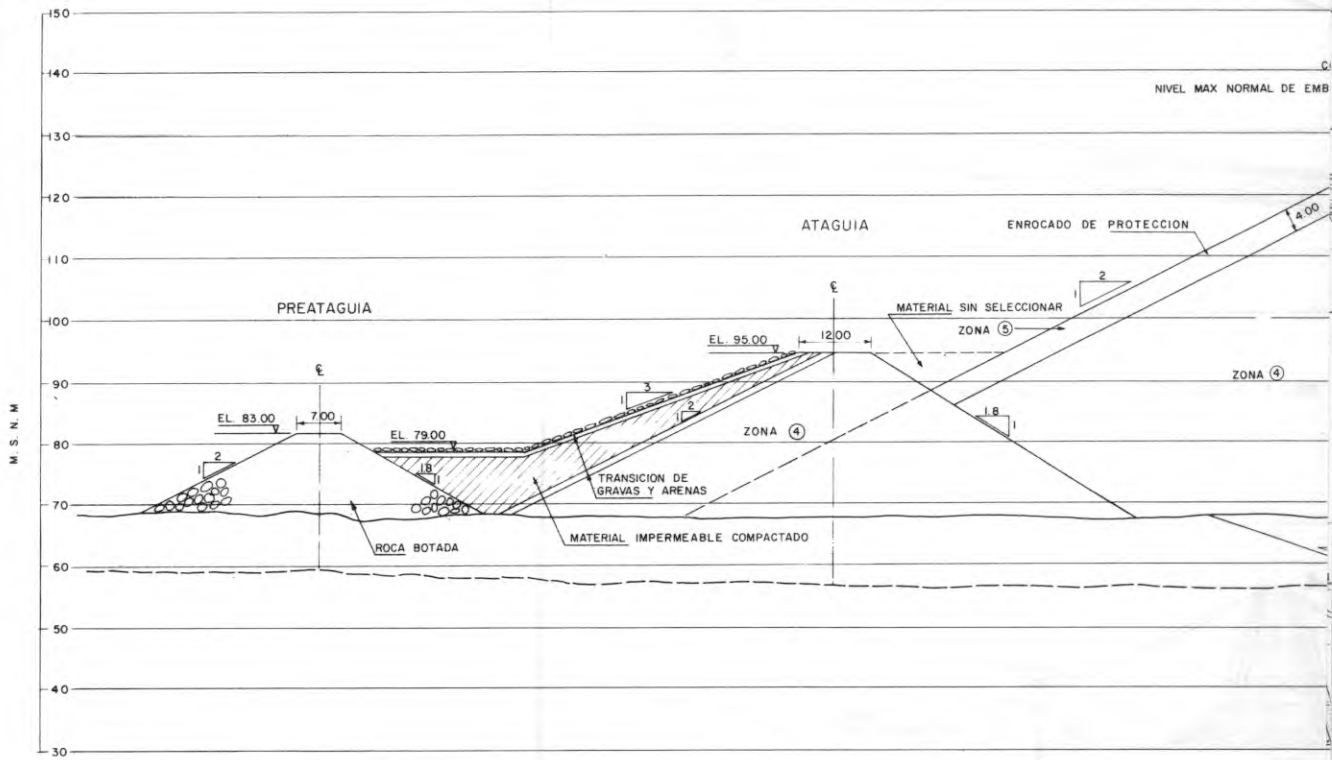
MATERIALES DE LA PRESA

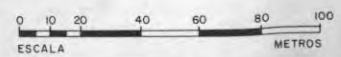
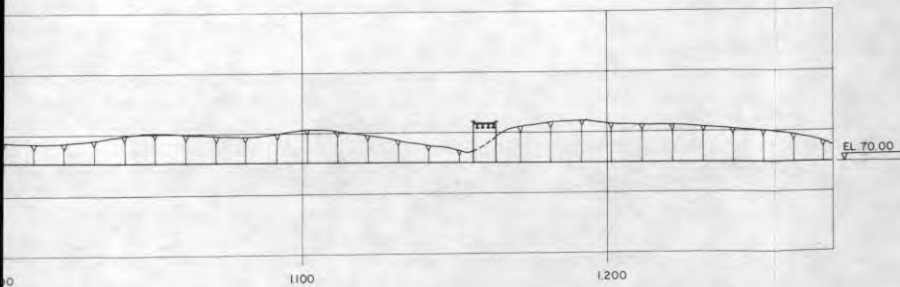
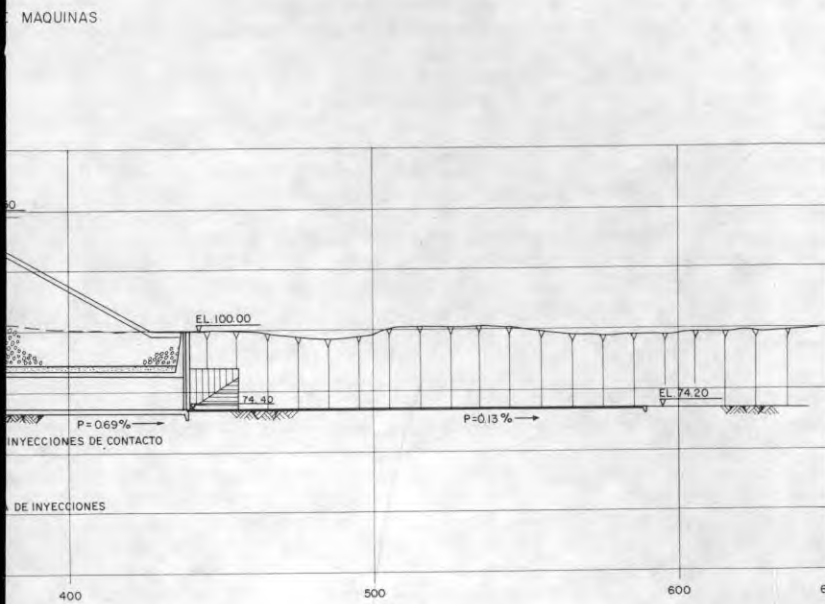
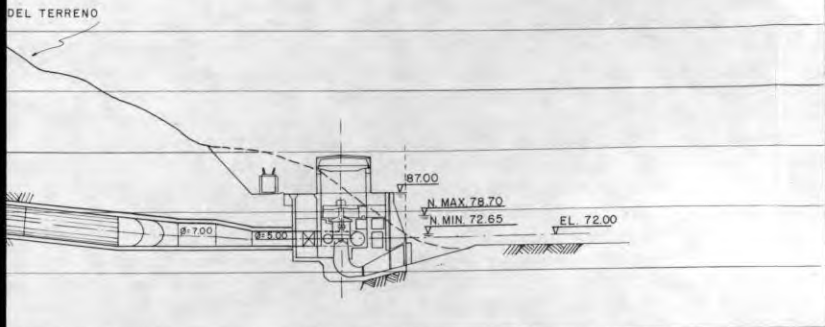
- ZONA ① NUCLEO DE ARCILLAS LIMOSAS
- ZONA ② ZONA DE TRANSICION Y FILTRO DE ARENAS SELECCIONADAS
- ZONA ③ ZONA DE TRANSICION Y FILTRO DE GRAVAS SELECCIONADAS
- ZONA ④ ESPALDONES DE GRAVA Y ARENAS CON ALGO DE LIMOS Y ARCILLAS
- ZONA ⑤ ENROCADO SELECCIONADO PARA PROTECCION DE LOS TALUDES.



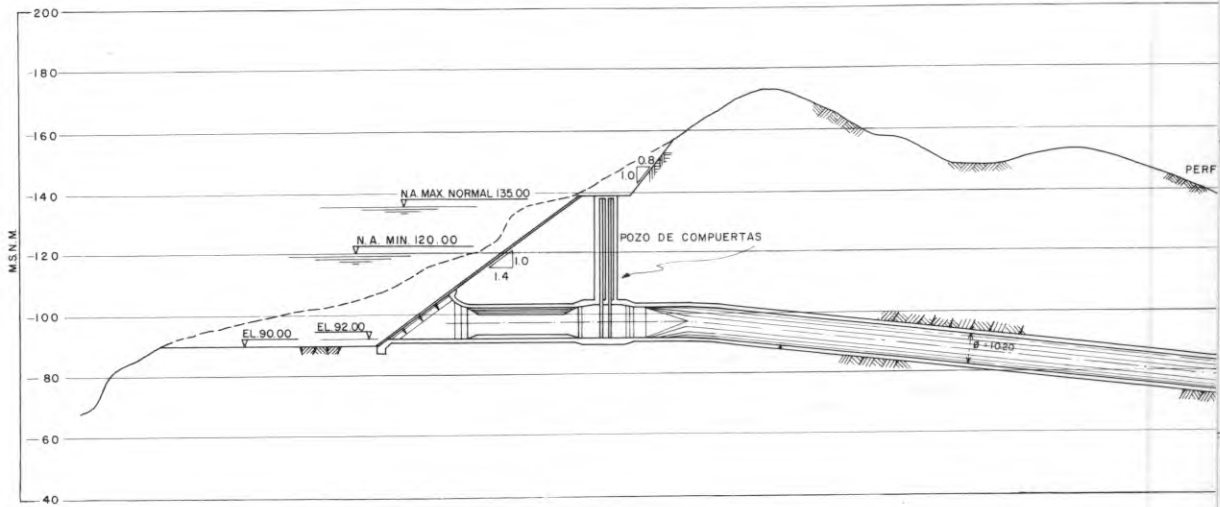
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA I - 135 PRESA CORTES TYPICOS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISENOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA Diciembre 76 ESCALA INDICADA ARCHIVO UI-E-241	FIGURA <b>II</b> <b>4-6</b>



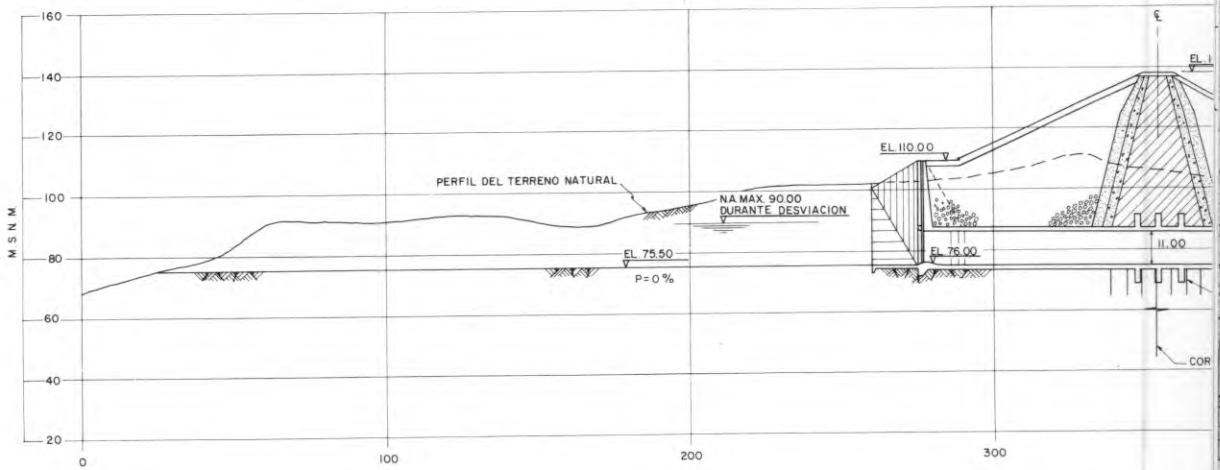




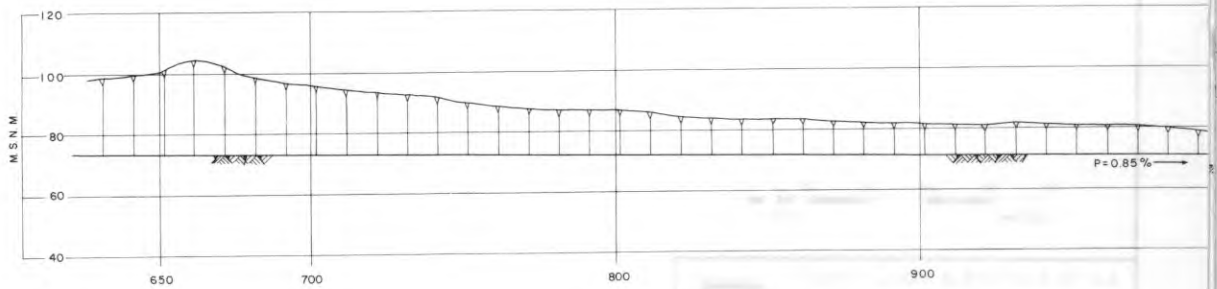
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA I - 135 CORTES BOCATOMA, CONDUCCION, CASA DE MAQUINAS Y DESVIACION		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre '96 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: U1-E-258
		FIGURA: II 4-7

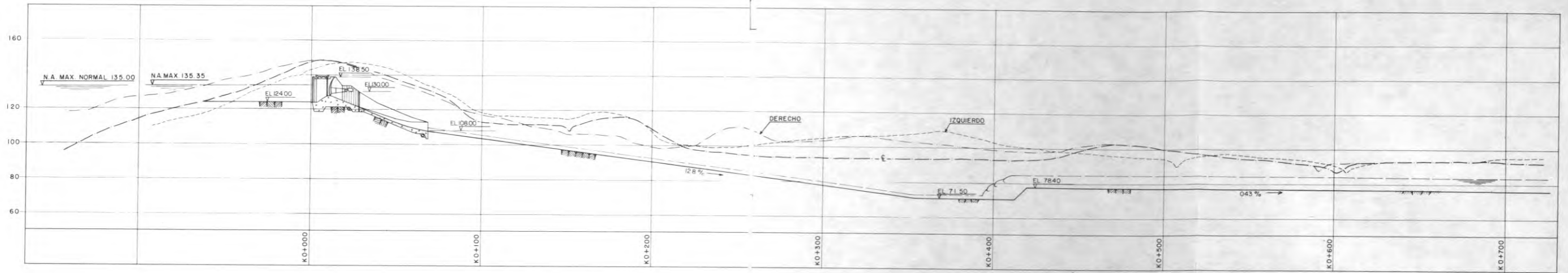


PERFIL LONGITUDINAL BOCATOMA CONDUCCION Y CASA

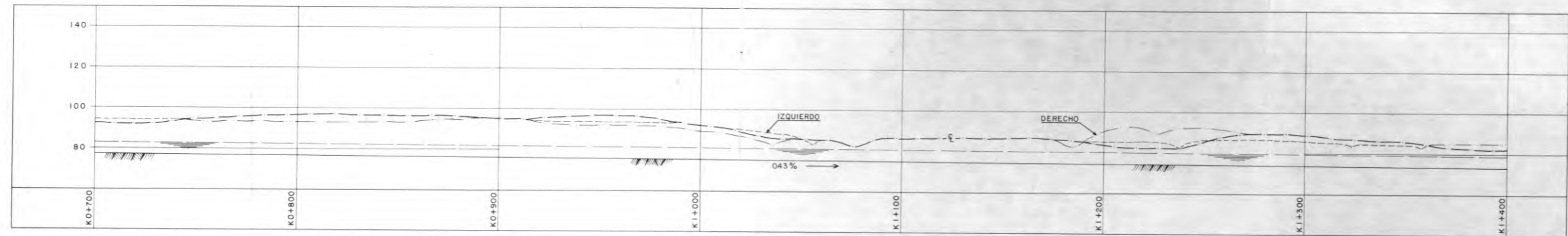


PERFIL LONGITUDINAL DESVIACION

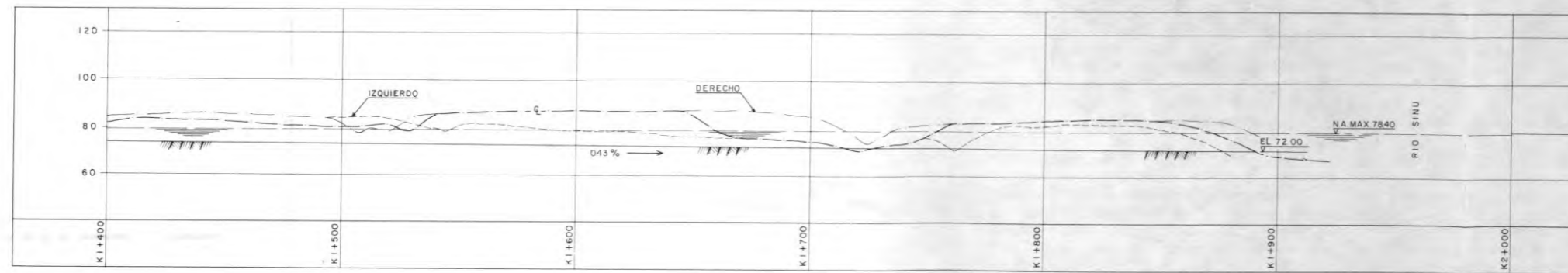




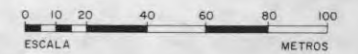
K0+000-K0+700



K0+700-K1+400



K1+400-K2+000



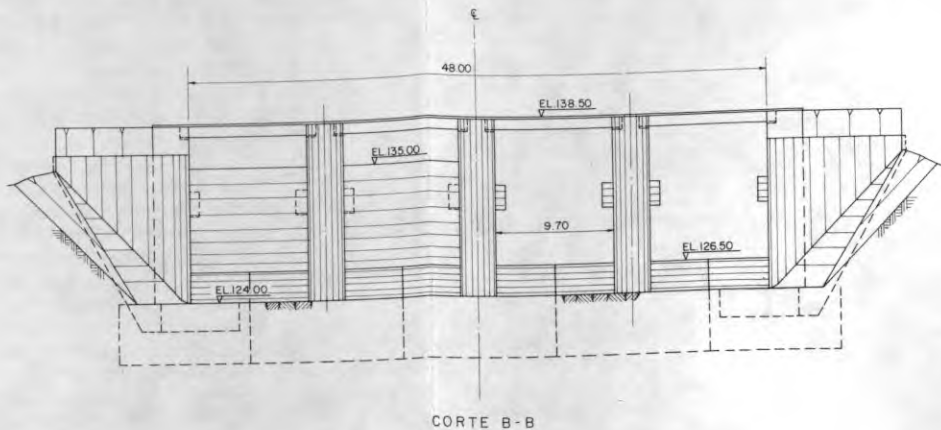
**C** CORELCA  
 CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA  
 PROYECTO DEL ALTO SINU

URRA I-135  
 REBOSADERO - CORTE TIPICO

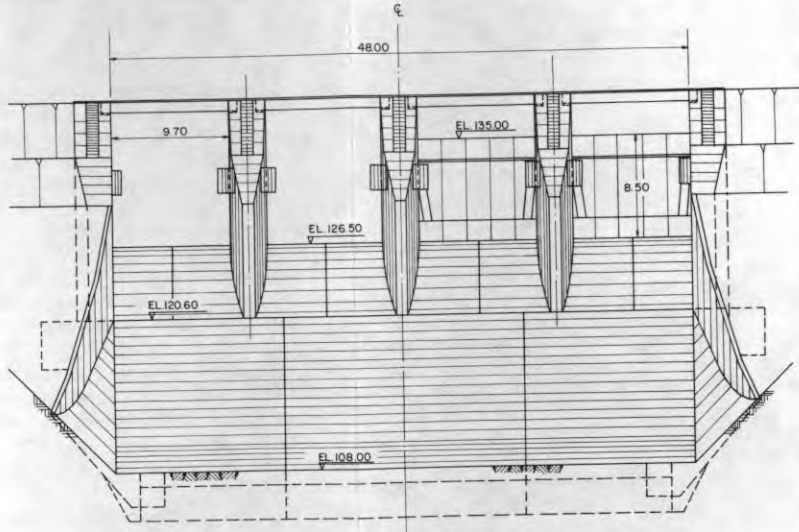
CONSORCIO ALTO SINU  
 INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA  
 ASESORES CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC

FECHA: DICIEMBRE 76  
 ESCALA INDICADA  
 ARCHIVO

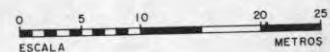
FIGURA: II  
 4-8



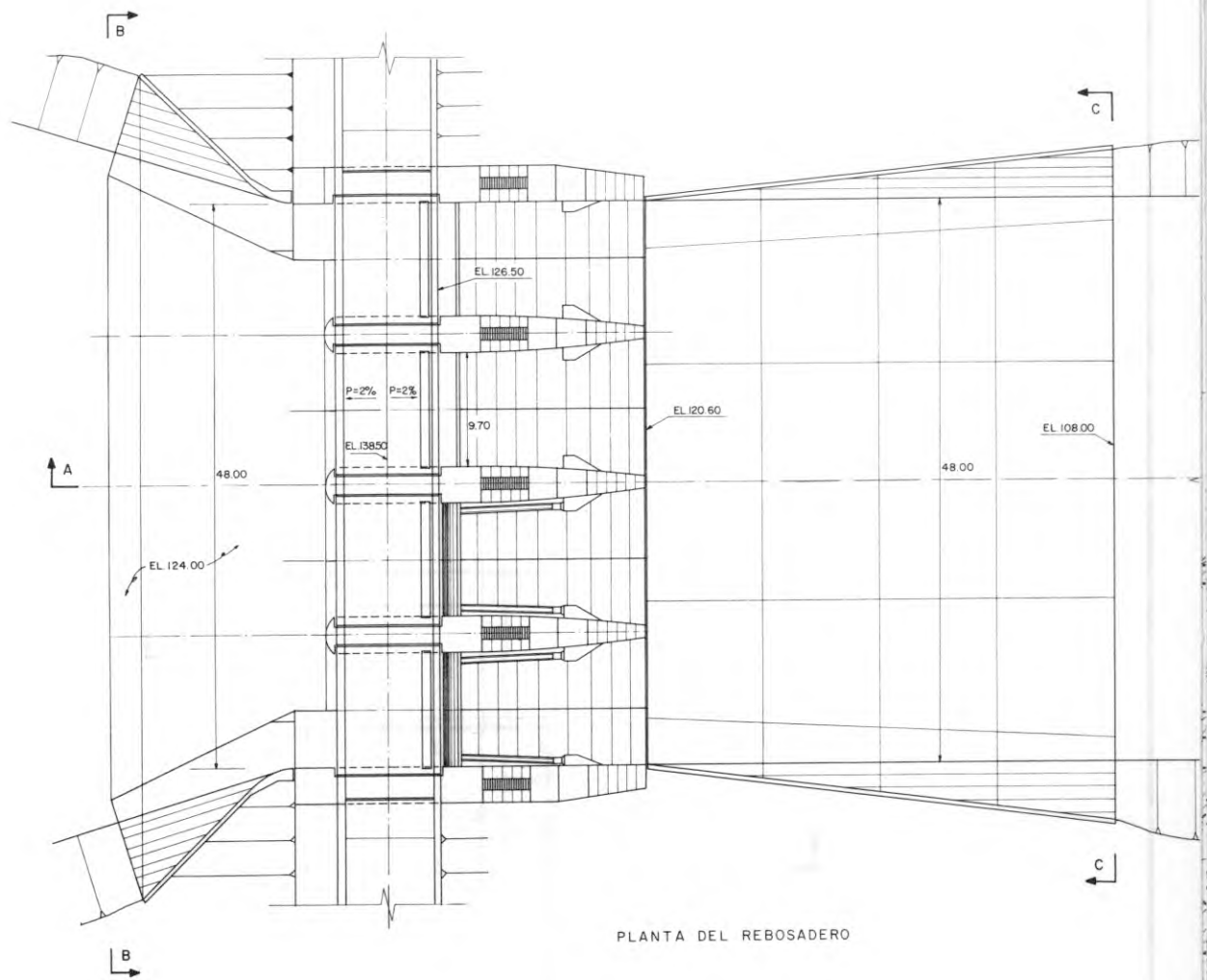
CORTE B-B



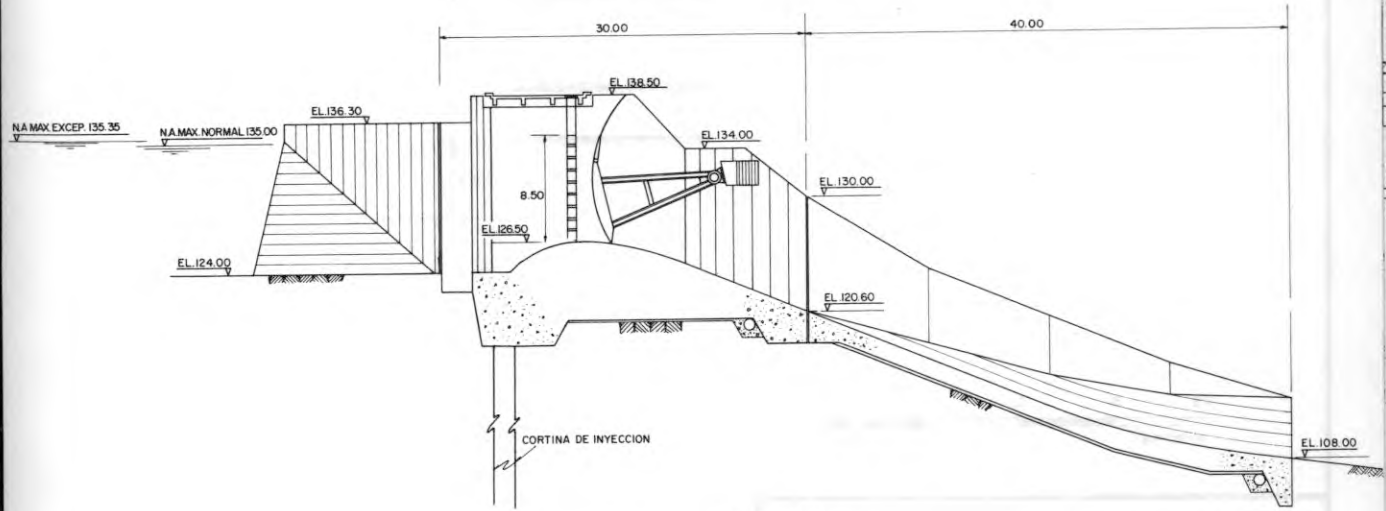
CORTE C-C



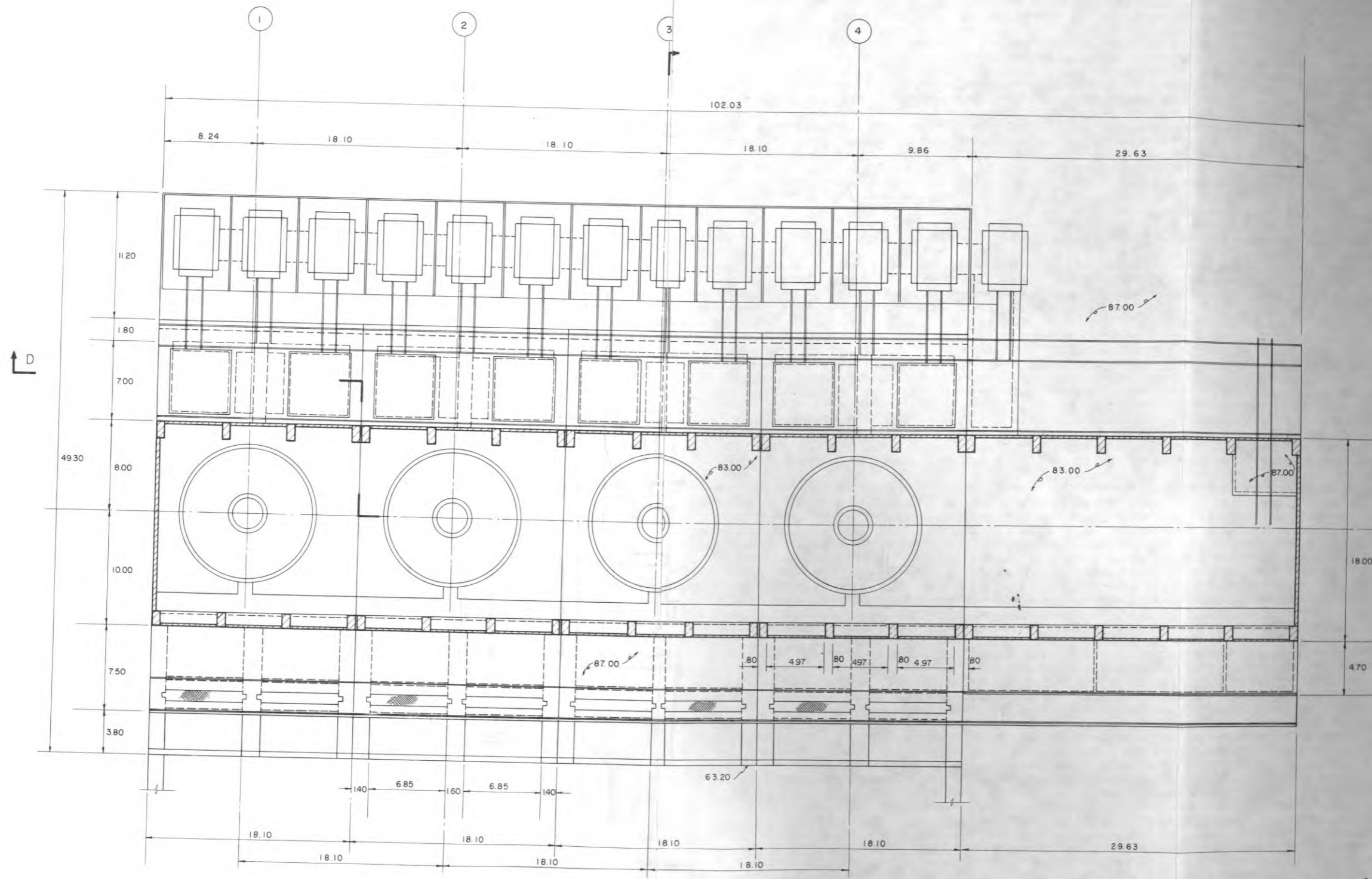
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRÁ I - 135 DETALLES DEL REBOSADERO		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Diciembre - 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UI-GE-296	FIGURA <b>I</b> 4-9



PLANTA DEL REBOSADERO




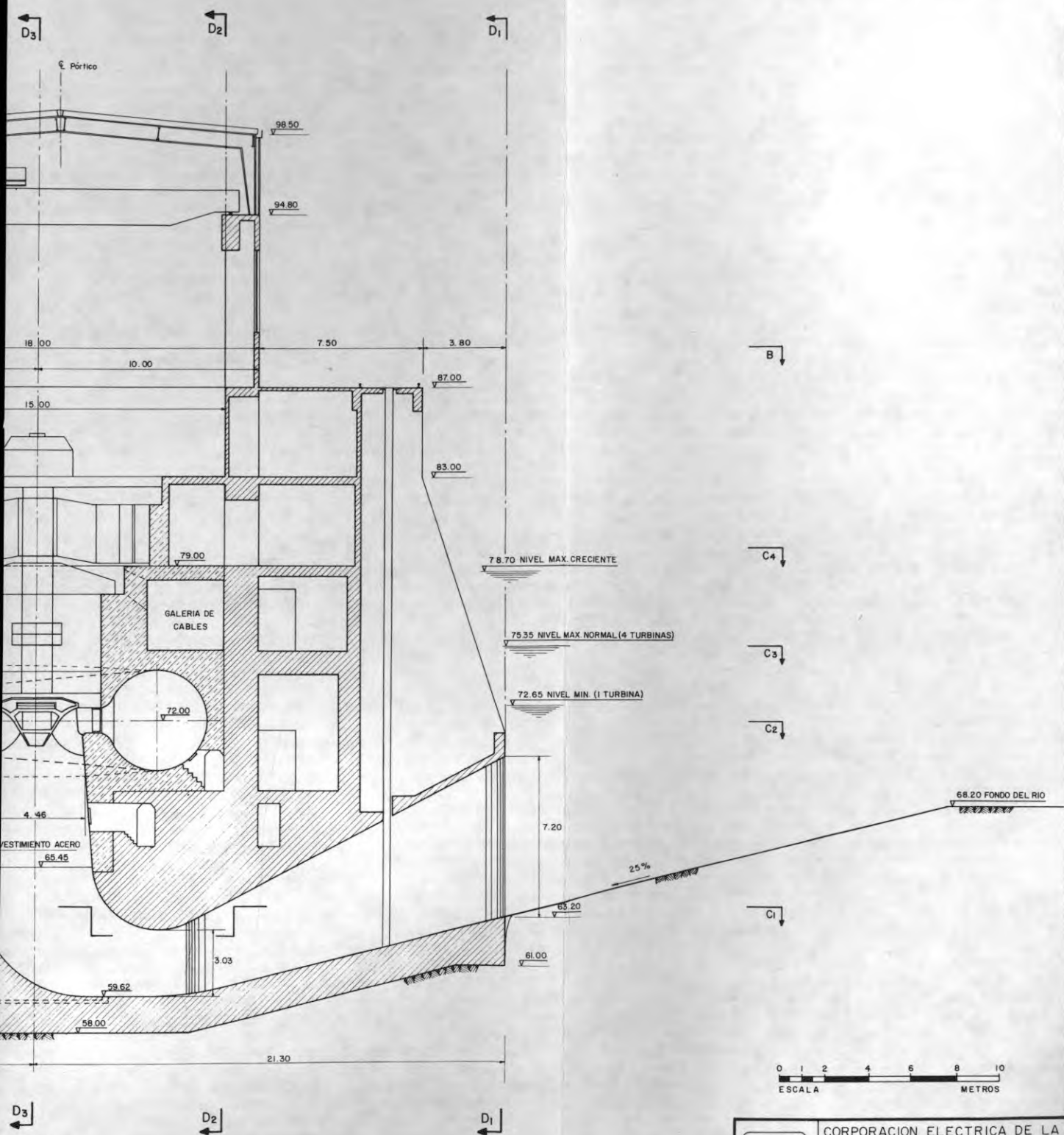
CORTE A-A



CORTE B - B



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA I-135 CASA DE MAQUINAS PLANTA		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS- SUELOS Y FUNDACIONES- GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero - 77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: IIT-6-443	FIGURA II 4-10

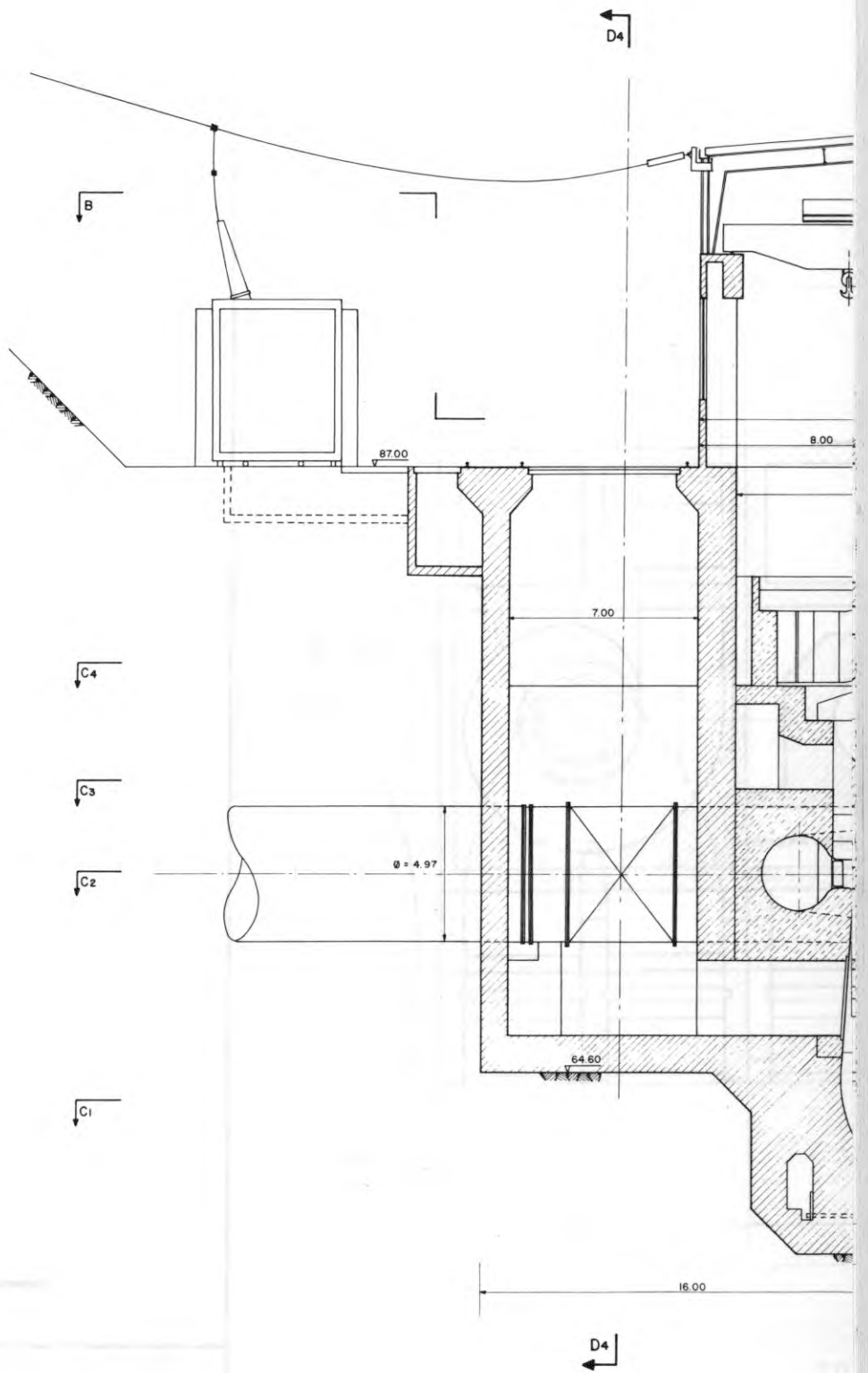


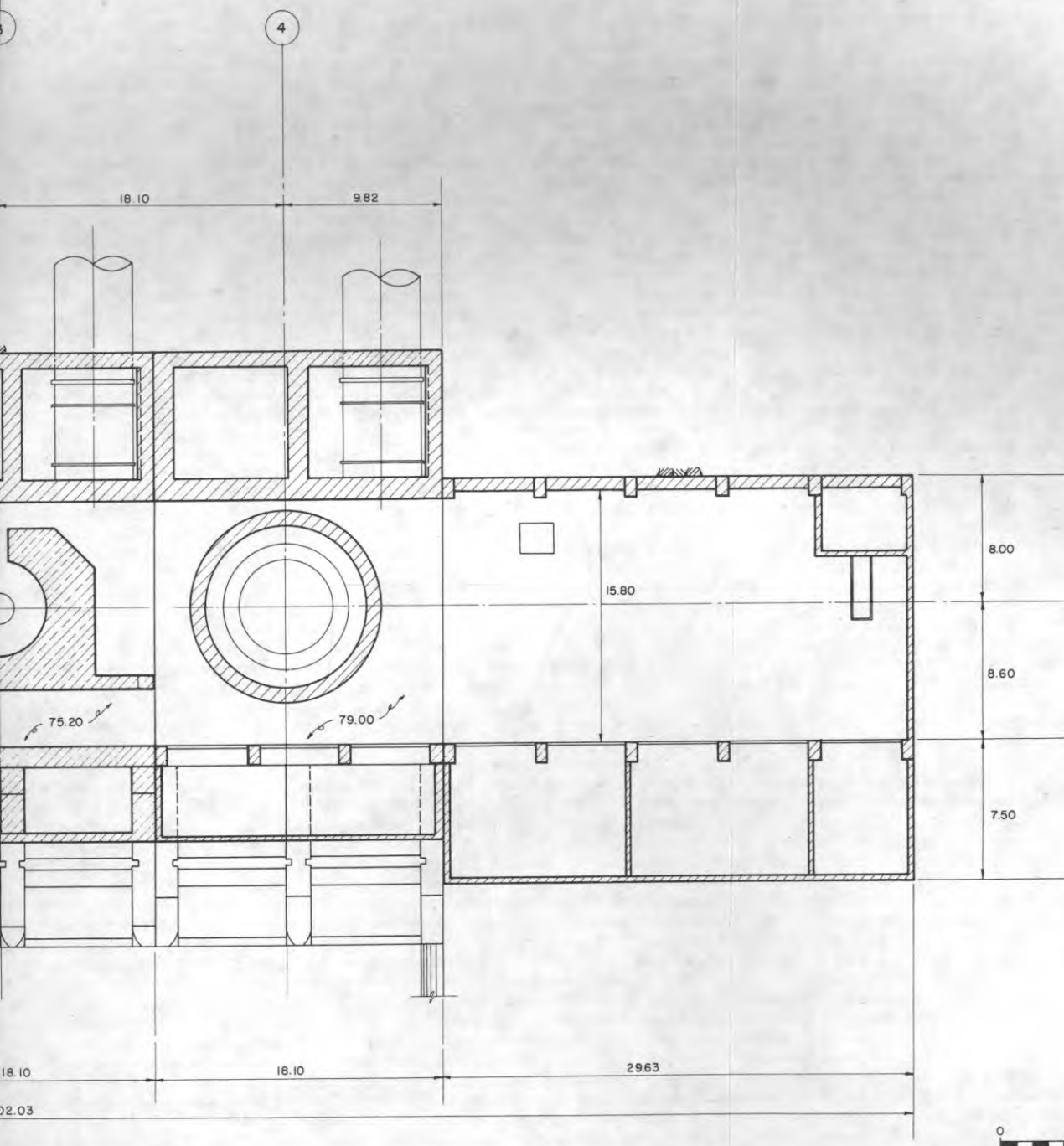
CORTE A - A




	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRÁ I - 135 CASA DE MAQUINAS CORTE TRANSVERSAL EN EL EJE (A-A)		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero-77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: U1-G-443	FIGURA II 4 - II

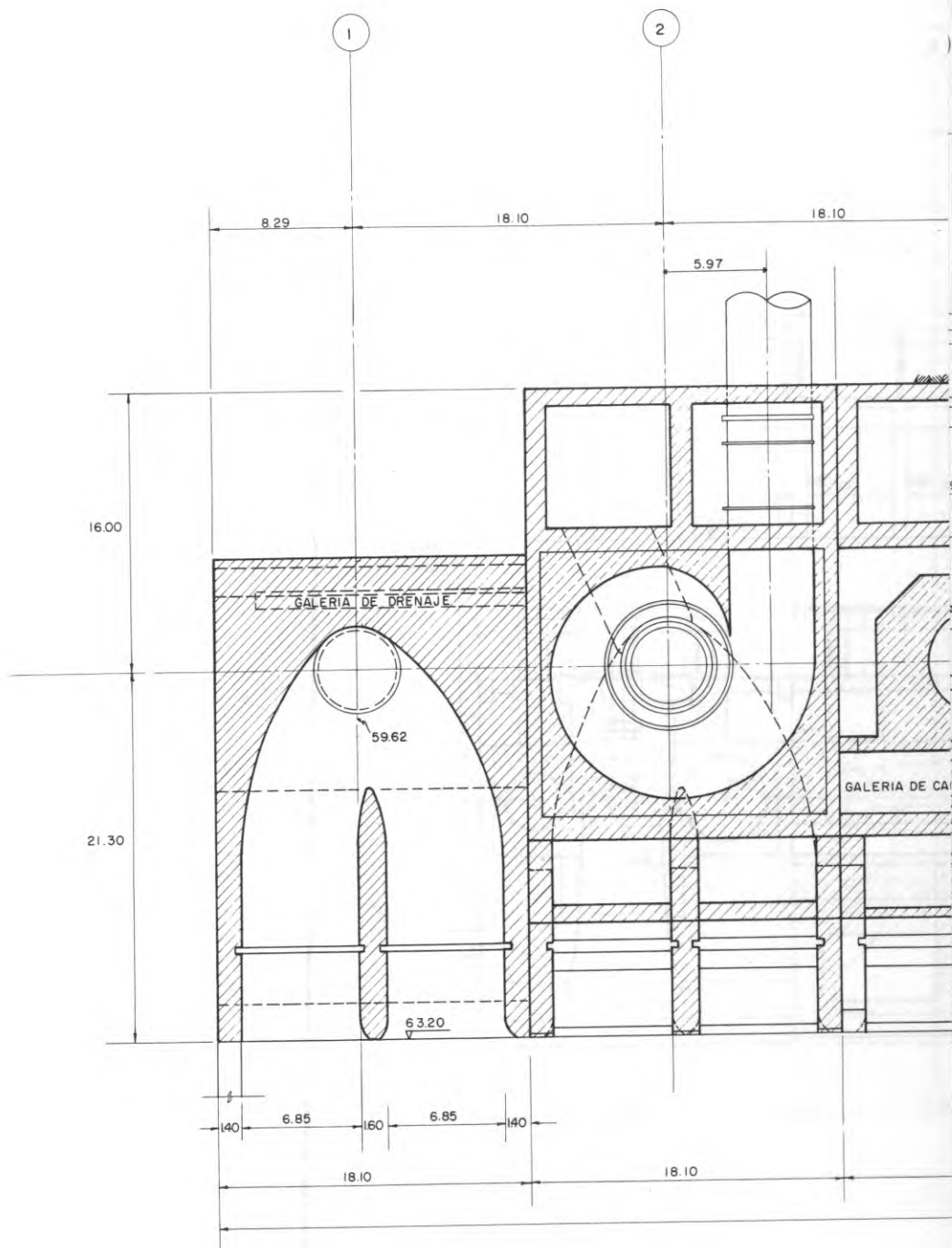


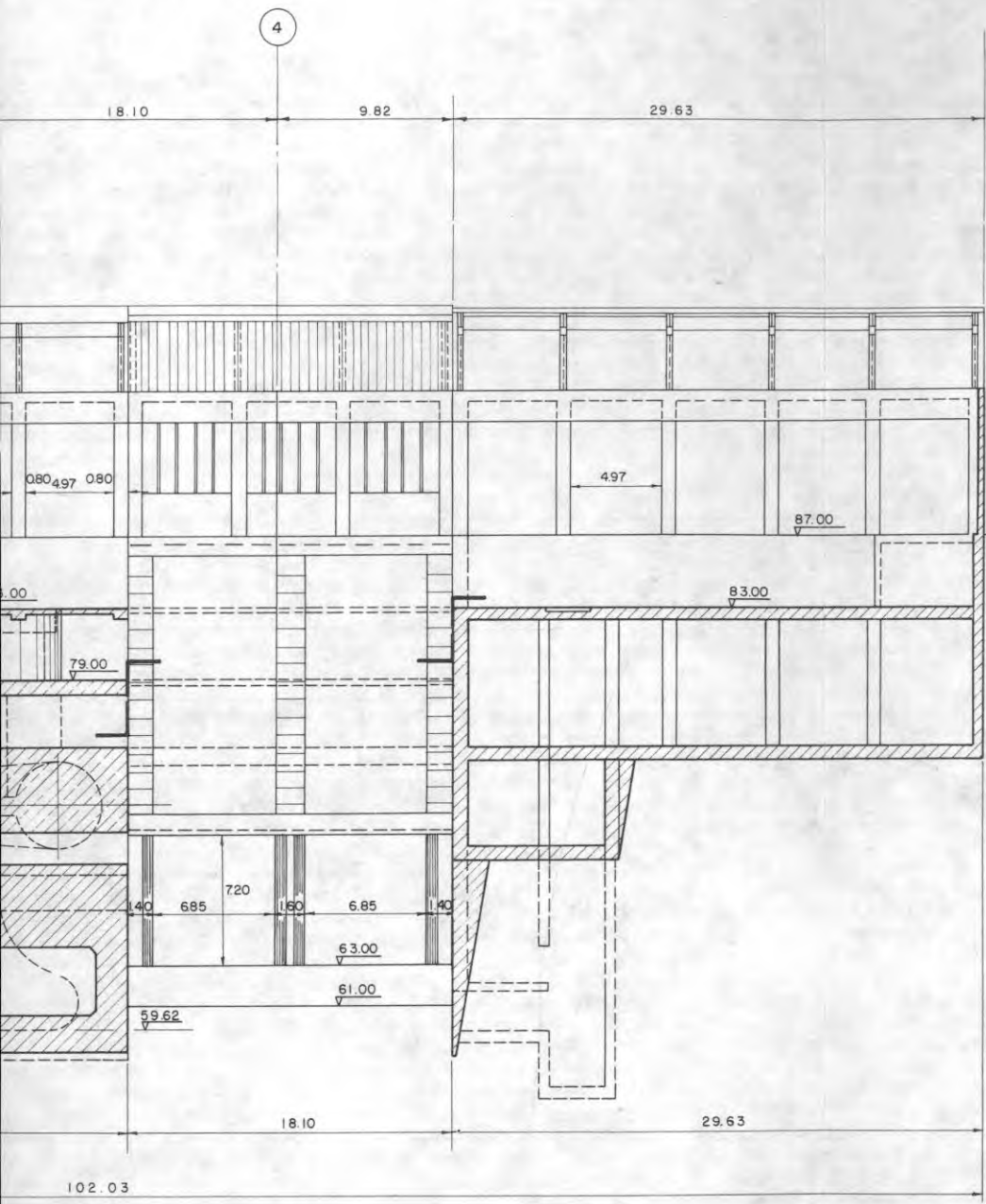





E C - C

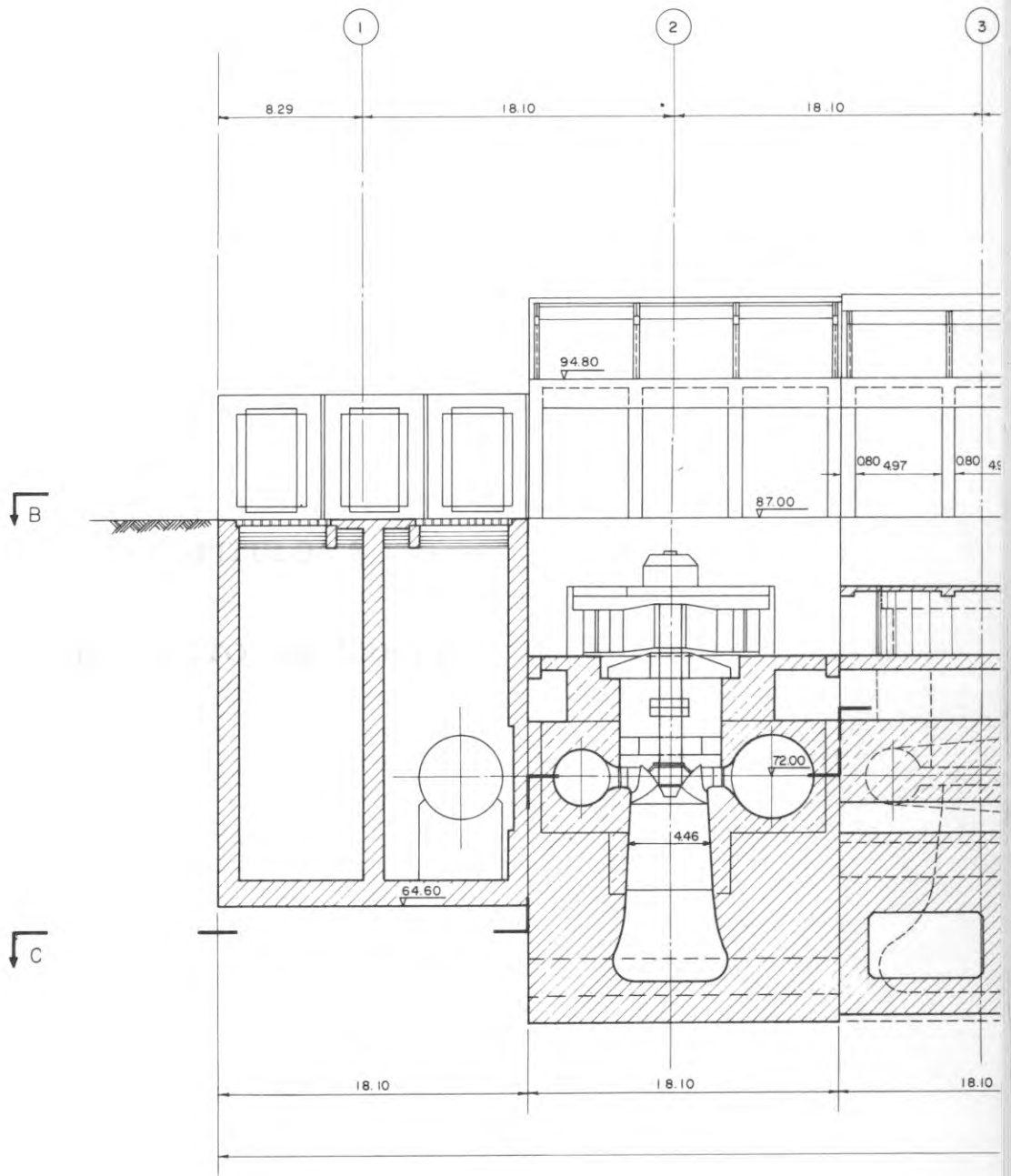
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRÁ I-135 CASA DE MAQUINAS CORTES HORIZONTALES (C-C)		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA ASESORES CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero - 77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UT-6-444	FIGURA II 4 - 12





D - D

	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRÁ I-135 CASA DE MAQUINAS CORTE LONGITUDINAL (D-D)		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-6 EOCOLOMBIA ASESORES CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: ESCALA: INDICADA: ARCHIVO: UI-6-443
		FIGURA: II 4 - 13



C O R T

CAPITULO 5

PROYECTO DE URRRA II

## CAPTULO 5

### PROYECTO DE URRÁ II

#### 5.1. INTRODUCCION

En este capítulo se describen los estudios efectuados en el sitio de Urrá II, el proceso de selección seguido para llegar al proyecto escogido, desde los desarrollos determinados en la primera etapa hasta su optimización durante la segunda etapa, así como las otras posibles alternativas en la zona.

#### 5.2. SITIOS ESTUDIADOS EN LA PRIMERA ETAPA

Los reconocimientos muestran que existe un cañón relativamente largo y estrecho en el río Sinú, desde la confluencia del Esmeralda hasta un sitio ligeramente aguas arriba de la desembocadura del Verde. Los reconocimientos aéreos revelaron la existencia de un gran valle aguas arriba de la confluencia del río Manso, apropiado para embalsar el Sinú.

Los estudios preliminares señalan que con un proyecto situado en el extremo superior del cañón, se puede regular un porcentaje alto del caudal anual de escorrentía estimado para el Sinú, permitiendo también la construcción de un proyecto en Urrá I. El gran efecto regulador de este extenso embalse mejora notoriamente la regulación en Urrá I.

Para el desarrollo hidroeléctrico es más conveniente un sitio en el extremo superior de un cañón, porque además de las ventajas topográficas se puede utilizar toda la cabeza disponible entre el Esmeralda y la Angostura de Urrá que se crearía con la construcción de los proyectos de Urrá II y Urrá I. La elección de un sitio más abajo para el proyecto Urrá II, implicaría una presa más costosa sin obtener en cambio, ninguna ventaja en la generación, desaprovechando parte de la caída entre el Esmeralda y la Angostura.

El sitio de Urrá II permite la construcción, económicamente rentable, de un proyecto con una presa hasta con cresta a la cota máxima 303. Se desarrollaron varios esquemas de las obras para tres distin

tos niveles máximos de embalse es decir a las cotas 300, 275 y 250. Para cada uno de estos niveles máximos de embalse se prepararon dos esquemas generales. También se efectuaron estudios de operación de embalse y generación para el proyecto de Urrá II como proyecto único y en combinación con el proyecto Urrá I, teniendo en cuenta la secuencia de construcción de estos proyectos. Con base en los resultados de estos estudios se escogió en la etapa de prefactibilidad el proyecto Urrá II a la cota 300 para operar con el proyecto Urrá I a la cota 135.

### 5.3. DESARROLLO DEL DISEÑO

A diferencia del sitio de Urrá I, en Urrá II el desarrollo se puede hacer a lo largo del cañón y no en zonas relativamente distantes entre sí.

Las características del cañón del río Sinú desde el río Verde hasta la desembocadura del río Esmeralda son favorables para la construcción de una presa; existen dentro de este trecho innumerables sitios que permiten construir desarrollos hasta la cota 300 aproximadamente.

Para determinar la zona más favorable para el proyecto, bajo el punto de vista topográfico se consideraron varios factores entre los cuales vale la pena destacar: la pendiente del río, 0.2% en la mayoría del trayecto, hace que para una cota de cresta dada el volumen de presa sea menor para los proyectos aguas arriba; el valle tiene tendencia a ensancharse hacia aguas abajo con el consiguiente aumento en volumen de presa; los proyectos aguas arriba aprovechan más eficientemente la caída disponible para el desarrollo conjunto. A unos dos kilómetros aguas abajo de la desembocadura del río Esmeralda se encontró un sitio donde se puede aprovechar una quebrada afluente de este río, La Platanal, para ubicar la bocaneta reduciendo considerablemente la longitud de los túneles de carga y por ende los costos del proyecto.

Se analizaron alturas de presa por encima de la cota 250 la cual permite la regulación total del río y hasta la cota 285 para determinar el proyecto más conveniente como se muestra en el Volumen IV de este informe.

En la zona determinada se estudiaron diversos esquemas en varios



ejes para obtener el más económico dentro de consideraciones de mayor seguridad.

Finalmente se diseñó el proyecto en un eje localizado unos 450 metros aguas abajo del seleccionado en el Informe Intermedio, para alejar la presa de dos derrumbes en la margen izquierda del lado de la Quebrada Platanal.

En el sitio escogido se optimizaron unas 36 alternativas para Urrá II primero en operación o como segundo proyecto con la cota de embalse 250, 260, 270 y 285 y el factor de planta aproximado de 0.3, 0.4 y 0.5 y caudales provenientes del río Sinú solo, con desviación del San Jorge y con desviaciones del San Jorge y del Verde.

Por ejemplo, para el caso de Urrá II con desviación del San Jorge se analizaron:

- Cota 250 con 639 mw, 472 mw y 376 mw.
- Cota 260 con 680 mw, 508 mw y 408 mw.
- Cota 270 con 726 mw, 544 mw y 436 mw.
- Cota 275 con 448 mw.
- Cota 285 con 810 mw, 608 mw y 484 mw.

En las Figuras II-5-1 y II-5-2 se muestran características de las alternativas típicas estudiadas.

Los estudios de sistemas indican que el proyecto que produce los mayores beneficios netos en combinación con Urrá I-135 y San Jorge se encuentran a las cotas 260 o 270 dependiendo de las tasas de descuento utilizadas. Por ventajas técnicas, rebosadero a tajo abierto y mayor altura para generación, se escogió la cota 270. Este proyecto fué optimizado como se explica en el numeral siguiente.

#### 5.4. DESCRIPCION DEL PROYECTO SELECCIONADO EN URRRA II

##### a. Generalidades

El esquema propuesto y optimizado es, a grandes rasgos, el siguiente: una presa de escollera en el cañón del Sinú, aguas abajo de la confluencia del río Esmeralda, con casa de máquinas sobre la margen izquierda de pie de presa y rebosadero en el filo de la margen izquierda aprovechando una depresión entre el cauce de dos quebradas.

b. Localización

El sitio del proyecto Urrá II está localizado sobre el río Sinú 30 km aguas arriba del proyecto Urrá I y 1.5 kilómetros aguas abajo de la confluencia con el río Esmeralda.

El sector del río donde se propone construir la presa es un tramo corto aguas abajo de la desembocadura del río Esmeralda que por sus características topográficas es favorable. El río corre por una cañada en forma de V con pendientes pronunciadas de 45° aproximadamente. Es un sitio natural perfecto para el emplazamiento de la presa; los estribos tienen altura suficiente para proyectar un cierre hasta la cota 303, es decir que la altura de presa máxima posible es de unos 185 metros aproximadamente.

Aguas arriba del sitio de presa y especialmente desde la confluencia con el río Manso, se encuentra un valle muy plano y amplio entre los ríos Sinú, Manso y Tigre que formaría un embalse de gran capacidad: 28.8 mil millones de metros cúbicos a la cota 270. Este embalse sería el más grande del país y regularía casi el 100% del caudal del río en el sitio de presa, también mejorando considerablemente la regulación para el proyecto Urrá I.

c. Nivel de Embalse

De acuerdo con los estudios de sistemas se fijó el nivel de embalse, en la cota 270.

d. Presa

En la zona seleccionada para localización del eje se optimizaron las presas correspondientes a las diferentes cotas máximas de embalse, buscando el mínimo costo posible, teniendo en cuenta las condiciones requeridas para los estribos y las ubicación de la casa de máquinas y de la bocatoma.

En las cercanías inmediatas de Urrá II, no se encuentran zonas de préstamo de aluviones aptas para los espaldones de una presa de esta importancia, por lo tanto una presa de escollera parece el tipo más adaptable y económico para el sitio. El material para los espaldones de la presa vendría de canteras que se pueden abrir en los sitios más convenientes, tanto por la calidad de los estratos arenisca como por las facilidades de acceso, en ambas márgenes del

río inmediatamente aguas abajo de la presa. Este material sería esencialmente enrocado de arenisca de la unidad K1a que ofrece características aptas para la construcción de una presa de 150 a 200 metros de altura, tal como se describe en el Volumen V de este informe.

Como en los espaldones de la presa se producirán asentamientos importantes se optó por un núcleo central de arcilla zonificado para tener en cuenta los materiales disponibles en el sitio. En la zona aguas arriba se debe colocar el material más impermeable, proveniente de zonas en el río Esmeralda, extensas pero de poco espesor; este material requiere almacenamiento pues las zonas serán inundadas con el embalse de la ataguía. También podrán utilizarse zonas de poca extensión sobre el río Sinú, aguas arriba del Esmeralda o en la Quebrada Platanal. La segunda zona del núcleo estaría formada por el conglomerado que se encuentra en zonas extensas entre el Esmeralda y el Verde. Este material, abundante y de fácil extracción, no reúne las condiciones de granulometría y permeabilidad para el núcleo por sí solo, razón por la cual se diseñó la zonificación mencionada.

La escogencia final de materiales deberá hacerse durante la etapa de diseño después de una cuidadosa investigación de campo y laboratorio valorando los costos de construcción inherentes a cada una de las zonas.

Los materiales para filtros pueden provenir de diferentes zonas y su escogencia se deberá hacer con base en un balance económico de costos de construcción y transporte, pero su consecución no presenta dificultades importantes.

El esquema final adoptado tiene las siguientes características:

La presa estará cimentada sobre arenisca dura con intercalación de lutitas y limolitas; estas rocas son adecuadas para soportar los esfuerzos impuestos.

El área de contacto del núcleo con los estribos se limpiará de toda la sobrecapa de suelos y roca suelta y se excavará la roca meteorizada hasta encontrar los niveles de roca sana adecuados para servir de contacto al núcleo impermeable.

La sección proyectada consta de:

- Un núcleo zonificado compuesto por una zona inclinada de material impermeable difícil de conseguir en el sitio y una parte central vertical de material semipermeable muy abundante en el área.
- El núcleo estará soportado por espaldones de enrocado de diferentes tamaños; los enrocados más finos estarán localizados en una zona central cerca al núcleo mientras que los sobretamaños se colocarán en las zonas exteriores.
- Entre el núcleo de arcilla y los espaldones de enrocado se han proyectado dos zonas de transición de arenas, gravas y fragmentos de roca. No se cree necesario incluir chimenea o filtros de drenaje ya que los materiales aguas abajo son completamente permeables.

En forma conservadora se han proyectado taludes 2.0H:1.0V para ambos taludes aguas arriba y aguas abajo. En la parte superior de la presa los taludes se empinan a 1.8H:1.0V y en el remate de la cresta a 1.6H:1.0V.

En la etapa de diseño se harán los análisis de estabilidad detallados una vez se determinen los parámetros de resistencia por medio de ensayos triaxiales.

Por otra parte para reducir la extensión de la presa y en consecuencia la longitud del túnel de desviación y el volumen del conjunto presa-ataguía, se prefirió incorporar parcialmente la ataguía aguas arriba de la presa con una preataguía únicamente para iniciar la desviación del río a través del túnel.

La roca en el sitio de la presa es una sucesión de estratos de arenisca, lutitas y limolitas predominando la arenisca. Los estratos de arenisca tienen un espesor que varía de 0.3 a 1 m; las lutitas y limolitas son más delgadas de 0.1 a 0.80 m. La dirección del buzamiento es alrededor de 35° hacia aguas arriba y los planos de estratificación son prácticamente perpendiculares al plano vertical pasando por el eje del río, en el sitio de la presa.

Esta dirección y este buzamiento son favorables para una buena estabilidad y estanqueidad del subsuelo abajo de la presa y favorecen el efecto de la cortina de inyección clásica de cemento, bajo el núcleo, para proveer una pantalla impermeable dentro de la roca que

evite infiltraciones especialmente a través de los estribos que se encontraron en algunos sitios hasta profundidades apreciables meteorizados.

En el estado actual de las informaciones de perforación se prevé una profundidad de inyección que varía de 0.3 a 0.5 de la altura de la presa según la cota y las características de los estratos.

En las Figuras II-5-3 y II-5-4 se muestran la planta y sección propuesta.

e. Obras de Desviación

La localización de la casa de máquinas hace más conveniente la desviación por túnel en la margen derecha, que en la mayor parte de su trayecto cruza perpendicularmente los estratos, condición relativamente favorable para su perforación.

Su dimensionamiento se hizo como para Urrá I minimizando el costo del conjunto; túnel de desviación-ataguías aguas arriba.

La desviación se diseñó con base en una creciente multiestacional , con un período de recurrencia de 25 años cuyo caudal máximo se determinó en  $1.485 \text{ m}^3/\text{s}$ . La ataguía aguas arriba produce un embalse bastante amplio, sobre todo en la parte inferior del río Esmeralda, pero por seguridad, solo se consideran las amortiguaciones de los últimos  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  del pico de la creciente.

La desviación adoptada consta de un túnel, en la margen derecha y dos ataguías, una aguas arriba complementada con una preataguía , y una aguas abajo. El túnel de desviación tendrá una longitud de 846 m, sección en herradura, con dimensión principal de 11.0m. En esta etapa de los estudios se ha calculado revestido en toda su longitud, con una capa de concreto de 0.70 m de espesor; se supuso también la utilización de soportes de acero y pernos de roca durante construcción.

El agua llega al túnel a través de un canal de entrada de 100 m de largo con un ancho promedio de 15 m, excavado a tajo abierto, que desemboca en una estructura para las compuertas de cierre, que forma la transición de sección rectangular a herradura. Se han previsto dos compuertas de cierre de 15 m x 7 m, operadas desde una plataforma a la cota 152.

El túnel de desviación desagua a un canal excavado a tajo abierto , con una longitud de 60 m y un ancho promedio de 17 m que entrega las aguas al río a la cota 118.5.

En las Figura II-5-5 se muestran detalles de la desviación.

f. Rebosadero

El caudal máximo de creciente en el sitio de Urrá II es de  $2.200 \text{ m}^3$  por segundo pero debido a la magnitud del embalse, del orden del 20% de área de drenaje, se puede obtener una regulación para el total de las crecientes. Sin embargo, por seguridad, no se quiso reducir demasiado la capacidad del rebosadero de Urrá II y se optó por un rebosadero de  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que implica solamente un aumento de 10 centímetros en el nivel del embalse máximo, para la creciente de  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este aumento de nivel es evidentemente muy reducido y por lo tanto la presa de Urrá II y sus obras anexas tienen un gran margen de seguridad frente a una creciente excepcional.

Durante la primera etapa del estudio se analizaron dos tipos de rebosaderos: para cotas bajas en túnel desembocando a la galería de desviación y para cotas altas en canal en una zona relativamente baja, aledaña a la presa, en la divisoria de aguas de la Quebrada Platanal, aprovechando esta quebrada que desemboca en el río Esmeralda y la Quebrada Nagua que desemboca en el Sinú, unos 6 kilómetros aguas abajo de la casa de máquinas.

Para evitar los problemas de erosión que se presentan en los codos de los rebosaderos combinados con galería de desviación y alejar su descarga de la casa de máquinas, se decidió en esta etapa, localizar el rebosadero en la segunda ubicación, por túnel o por canal dependiendo de la altura de la presa.

El sitio escogido está relativamente cerca de la falla de Tucurá, que marca el límite entre la arenisca y el conglomerado; el trazado es cogido se encuentra en arenisca apta para excavación profunda y de túneles. Sin embargo, durante la etapa de diseño se deberá constatar la presencia de la roca por medio de perforaciones.

Los rebosaderos estudiados constan de un canal de acceso en las cabeceras de la Quebrada Platanal y un canal de salida en las cabeceras de la Quebrada Nagua.

Para las cotas altas (270 en adelante) todo el rebosadero es en canal abierto con una estructura con dos compuertas radiales que se consideran suficientes, dada la magnitud del embalse y su gran capacidad de amortiguación. Para las cotas bajas (250 y 260) los canales de aproximación y salida se unen por medio de un túnel; las dos compuertas se encuentran en su entrada. No se consideró necesario revestir el cauce de las quebradas.

La alternativa seleccionada permite la construcción de un rebosadero por canal abierto aprovechando la divisoria de aguas de las quebradas Nagua y Platanal localizada a unos 2 km de la presa. Esta localización permite que su descarga no interfiera el funcionamiento de las turbinas.

El rebosadero proyectado consiste en una estructura de concreto con dos compuertas radiales de 9.10 de alto por 9.0 de ancho; y un sistema auxiliar de tabloneros para mantenimiento y reparación.

El canal de aproximación aprovecha el cauce de la Quebrada Platanal y tiene una longitud de 840 m con un ancho de 24 m y es horizontal a la cota 258.0; la cresta está a la cota 260.9.

El rebosadero descarga a un canal de 755 m de longitud y 26 m de ancho con pendiente mayor a la crítica y un valor de  $n$  de 0.4 y vierte sobre el cañón formado por la quebrada Nagua, siguiendo su curso para desaguar finalmente en el río Sinú.

En las Figuras II-5-6 y II-5-7 se muestran detalles del rebosadero propuesto.

#### g. Bocatoma y Conducto de Carga

Durante la primera etapa de estudios se analizaron distintas bocatomas y túneles de carga y una sobre la Quebrada Platanal con conducción recta en proyección horizontal. Los costos comparativos mostraron que esta última era más económica y por lo tanto más atractiva. A pesar que esta bocatoma tiene una mayor excavación a tajo abierto, por la longitud del túnel, no requiere almenara con la consiguiente reducción en los costos. En esta etapa se buscó la optimización de su costo; para la etapa de diseño deberá explorarse cuidadosamente la zona para determinar el trazado final del túnel.

Por facilidad y economía de construcción y para reducir las longitudes de blindaje se optó por un solo distribuidor para las cuatro tuberías con dos bifurcaciones en serie, cuya incidencia en aumento por pérdida de carga es muy pequeña.

La bocatoma es ancha con relación a su altura para evitar atrapamiento de aire con embalse bajo; se diseñó en plano inclinado para facilitar la labor del limpiarejas.

La bocatoma finalmente adoptada se localizó aprovechando la depresión de la Quebrada Platanal, en la vertiente oeste del estribo izquierdo en una zona de arenisca dura y compacta. La bocatoma es un plano inclinado con pendientes 1 a 1, con dos entradas rectangulares de 18 m de ancho por 20 de alto medidos sobre el plano inclinado, separadas por una pila central y protegidas por una reja con equipo de limpieza.

El túnel se inicia con sección rectangular, dividido por una pared continua hasta el pozo de compuertas, en este se alojan dos compuertas deslizantes de 6.0 x 12.60 para operación y dos para cierre de emergencia. El pozo tiene dos galerías de succión. Las compuertas se operan desde una plataforma a la cota 275. El agua llega a la bocatoma por un canal de acceso de 375 m de largo por 38 m de ancho excavado en suelo residual y roca meteorizada.

Después del pozo, el túnel pasa a sección circular de 12 m de diámetro, revestido en concreto reforzado; el primer tramo es inclinado con una pendiente de 50° hasta el nivel del caracol, donde sigue horizontal hasta el distribuidor.

Se diseñó un solo distribuidor en forma de dos túneles troncónicos, que arrancan del túnel principal con un ángulo de 60°. Del distribuidor se separan cuatro conductos circulares con diámetro de 5 m que se reduce a 4.7 m poco antes de la casa de máquinas.

Debido a las condiciones geológicas el túnel se diseñó con revestimiento de 1.4 m en concreto, y blindado en los últimos 30 m. Para presupuesto se supuso soportado en arcos de acero y pernos de roca.

En la Figura II-5-8 se muestran detalles de estas estructuras.

#### h. Casa de Máquinas

El valle del Sinú en el sitio es estrecho, con fuertes pendientes; las



cañadas de las quebradas son los únicos sitios aptos para alojar la casa de máquinas, pero requieren un volumen de excavación importante; sin embargo, su costo, según los estimativos efectuados es menor que una casa de máquinas subterránea, por lo tanto se estudió la casa de máquinas en un corte a tajo abierto perpendicular a la conducción, alejada del lecho del río para evitar problemas hidráulicos a la salida de las turbinas. La estructura debe ser masiva para contrarrestar el efecto de flotación impuesto por el embalse de Urrá I.

El dimensionamiento preliminar de turbinas, caracol en las 36 alternativas analizadas se hicieron con los mismos métodos que para Urrá I.

La casa de máquinas finalmente adoptada está localizada en la margen izquierda aprovechando una depresión creada por una pequeña quebrada para reducir excavación.

El conjunto hace un ángulo de  $30^\circ$  con la dirección general del río y es perpendicular al eje de la conducción.

El eje de turbinas se fijó a la cota 119 y el fondo de los tubos de aspiración a la cota 105.10.

La estructura tiene cuatro bloques de 49.00 x 19.00 m que alojan cada uno una turbina Francis de eje vertical acoplada directamente a un generador de 178 mw, y un bloque de montaje de 42.0 x 32.30 m. El patio de transformadores se localizó en la parte posterior sobre la galería de compuertas.

El acceso principal a la casa de máquinas se hace por el bloque de montaje a la cota 131.20 con acceso auxiliar al patio de transformadores a la cota 141.0.

Se previeron dos puente grúas, uno en la zona de válvulas y el principal en la casa de máquinas propia. Además un pórtico para transportar de la sala de montaje al patio de transformadores. En las Figuras II-5-9 a II-5-12 se muestran la planta y los cortes de la casa de máquinas.

El canal de salida se diseñó en curva progresiva para empatar con el cauce del río.

El patio de conexiones está localizado en la ladera posterior, a la

cota 185, a corta distancia de los transformadores.

i. Equipos Eléctricos y Mecánicos

1. Equipo Mecánico de Generación

La capacidad instalada de generación se fijó en 710 mw incluyendo la desviación del San Jorge la cual implica la utilización de 4 unidades de 178 mw. Las primeras turbinas serán del tipo Francis con una velocidad de 150 rpm.

El voltaje de generación es de 13.8 kv y se subirá a un voltaje de transmisión de 220 kv. Dentro de la casa de máquinas se instalarán los siguientes equipos eléctricos y mecánicos: válvulas de mariposa, equipos de regulación y control, equipos de corriente directa, tableros de control y protección, equipos de comunicaciones, etc. Se tendrán igualmente dos puente-grúas: uno en la sala principal y otro en la sala de válvulas.

2. Otros Equipos Electromecánicos

Los equipos mecánicos del rebosadero y de la bocatoma, se accionarán por medio de motores eléctricos. Se construirán las líneas de 13.2 kv desde la central y se instalarán los transformadores de 13.200/440 voltios para el accionamiento de estos motores. Se incluirán naturalmente los tableros de protección, control y sistemas auxiliares.

Para los equipos de iluminación y fuerza a 208/120 v se tendrán sistemas completamente independientes del sistema de fuerza a 440 v.

3. Patio de Conexiones

Se deberán construir dos patios de conexiones a 220 kv. Uno en la central para elevar el voltaje de transmisión y el otro en Cerromatoso para elevar el voltaje de transmisión de 220 kv al voltaje de la línea de interconexión 500 kv.

En el patio de la Central se tendrán cuatro módulos para los generadores y los módulos para las líneas que llevan la energía a Cerromatoso. Se prevé igualmente el módulo de auxiliares y el de transferencia. La capacidad de interrupción de los disyuntores a 220 kv se estima en 10.000 mva y la corriente nominal en 1600 amp. Se agregarán los módulos para las líneas que vienen de Urrá I.

En Cerromatoso además de los módulos a 500 kv en la subestación a 220 kv se deberán instalar los transformadores elevadores y los módulos para las líneas que llegan de Urrá II.

j. Líneas de Transmisión y Transformadores

1. Energía para la Construcción

Por estar Urrá II aproximadamente treinta (30) kilómetros al sur de Urrá I, es más conveniente prolongar la línea a 115 kv desde Apartadó hasta Urrá II y desde allí hasta Urrá I. La distancia desde Apartadó al sitio de presa es de 45 kilómetros, es decir, esta ciudad está equidistante de ambos proyectos. No se descarta la posibilidad de utilizar máquinas Diesel durante la construcción, en el caso de que la Electrificadora de Antioquia posponga la construcción de la línea a 115 kv Frontino-Apartadó, o construir una línea más larga a 115kv desde Cerromatoso.

2. Líneas a Cerromatoso

Se determinó que serán necesarias dos líneas de doble circuito a 220 kv desde la Central hasta la subcentral Cerromatoso. Estas líneas transportarán el total de la energía proveniente de Urrá I y Urrá II.

Las líneas utilizan torres metálicas autoportadas con dos hilos de guarda y conductores de aluminio con alma de acero de aproximadamente 1033 MCM.

3. Equipo en Cerromatoso

Como se dijo anteriormente, además de los tres módulos a 500 kv previstos por CORELCA, será necesario construir una subestación a 220 kv. En esta subestación se instalarán los transformadores elevadores 220 kv/500 kv y los demás equipos del patio como son interruptores, transformadores de corriente, seccionadores, etc. Si las condiciones los permiten, estos equipos se controlarán desde la misma subcentral a 500 kv.

4. Transformadores Principales

Los transformadores para elevar el voltaje de generación al voltaje de transmisión de la central, serán monofásicos de 60 mva de potencia y con una relación de transformación de 13.8 kv/220 kv.

Para los transformadores elevadores en Cerromatoso se concluyó que serán monofásicos con una capacidad aproximada de 120 mw cada uno, formándose tres bancos con 360 mw por banco, lo cual implica la necesidad de un módulo adicional para un total de tres, en Cerromatoso a 500 kv. La capacidad total de los tres bancos será de 1080 mw.

5. Transformadores Auxiliares

Los transformadores auxiliares de cada máquina serán del orden de 300 kva. Se prevé igualmente la necesidad de transformadores para las subestaciones secundarias en el rebosadero, la bocatoma, y los campamentos.

k. Líneas de Transmisión y Subestaciones - Consideraciones Adicionales

1. Líneas de Transmisión

El equipo de generación de esta central comprende cuatro máquinas de 178 mw. En el patio de conexiones se tienen por lo tanto los siguientes módulos a 220 kw:

- Cuatro para los generadores.
- Cuatro para las líneas hacia Cerromatoso.
- Uno para el transformador de auxiliares.
- Uno para el barraje de transferencia (opcional depende del diseño definitivo)
- Uno o dos para las líneas que vienen de Urrá I.

En total se estima que se necesitarán diez o doce módulos. Como se detalla más adelante en este mismo volumen, no es conveniente tener una subestación 220 kv/500 kv en Urrá II para transmitir a 500 kv directamente hacia Cerromatoso. Se construirán líneas a 220 kv. Se ha pensado en principio tener dos líneas de doble circuito, es decir cuatro circuitos en total, teniendo en cuenta que deberán transportar la energía de ambos desarrollos.

El cable propuesto es el mismo descrito para la línea Urrá I-Urrá II es decir 1033 MCM. Este cable a una temperatura de 85°C (45°C por encima de un ambiente de 40°C) puede transportar 342 mw por circuito es decir un total de 1368 mw en los cuatro circuitos. Además, en caso de que un circuito quedara fuera de servicio por cualquier motivo, la capacidad de los tres restantes es suficiente para transportar

la capacidad total de generación. En el caso de que trabajen permanentemente los cuatro circuitos la corriente en el conductor es del orden de 760 amperios con lo que la temperatura de trabajo del conductor con ambiente de 40°C es de solo 65°C.

## 2. Cerromatoso

Como se mencionó en el Volumen I del informe es necesario construir una subestación en Cerromatoso que eleve el voltaje de 220 kv a 500 kv. Se planeó en principio que esta subestación fuera similar a las de Urrá I y Urrá II, sin embargo, por ser la subestación de 500 kv en Cerromatoso del tipo interruptor y medio, CORELCA solicitó se considerara como alternativa una subestación a 220 kv del mismo tipo. Como es natural la subestación del tipo interruptor y medio conlleva mayores costos que se resumen a continuación:

- Nueve módulos a 220 kv (líneas)	US\$ 2.250.000
- Cinco módulos a 220 kv (transformadores)	<u>1.000.000</u>
	US\$ 3.250.000
 Menos costo de subestación con barraje de transferencia	 <u>1.800.000</u>
	US\$ 1.450.000

Es decir que en el caso de tener subestación del tipo interruptor y medio en Cerromatoso a 220 kv se tendría un costo adicional de aproximadamente 1.5 millones de dólares, que con las obras civiles adicionales podría llegar a 1.7 millones de dólares.

No se considera diferencia económica para 500 kv ya que cualquiera que sea el tipo de subestación a 220 kv, deberá entrar a la subestación de 500 kv que está definida como del tipo interruptor y medio.

5.5.

## RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL PROYECTO URRÁ II - 270

A continuación se resumen las características principales del proyecto con desviación del San Jorge. Estas podrán variar en la etapa de diseño.

Localización : Sobre el río Sinú, 1.5 km aguas abajo de la desembocadura del río Esmeralda

Acceso Requerido : Por una carretera que deberá construirse desde Urrá I.

Presa y Obras Anexas:

### Presa

- Tipo : Escollera con núcleo central

- Talud aguas arriba : 2H:1V; 1.8H:1V; 1.6H:1V parte sup.

- Talud aguas abajo : 2H:1V; 1.8H:1V; 1.6H:1V parte sup.

- Altura máxima : 157 m

- Cota de la cresta : 275.0 msnm

- Nivel máximo normal : 270.0 msnm

- Borde libre : 5.0 m

- Longitud de la cresta : 685 m

- Volumen de relleno : 11'115.000 m<sup>3</sup>

### Obras de Desviación

- Tipo : Túnel por la margen derecha

- Longitud del túnel : 846 m

- Sección : Herradura de 11.0 m

- Pendiente : 0.18%

- Revestimiento : Concreto reforzado en toda su longitud

Compuertas:

- Tipo : Tablones de cierre

- Número : Dos

- Dimensiones : 15 m x 7.0 m

- Caudal efluente de diseño con atagüa a la cota 152 : 1375 m<sup>3</sup>/s

- Período de recurrencia de la creciente de diseño : 25 años

### Embalse

- Volumen máximo cota 270,10 : 28.800 millones m<sup>3</sup>
- Volumen útil : 14.300 millones m<sup>3</sup>
- Volumen muerto : 14.500 millones m<sup>3</sup>
- Volumen para amortiguación de crecientes : 400 millones m<sup>3</sup>
- Area inundada : 550 km<sup>2</sup>

### Rebosadero

- Localización : Sobre divisoria izquierda a 2 km de la presa
- Tipo : Canal abierto y estructura con compuertas
- Longitud : 800 m canal de entrada y 775 m canal de entrega
- Sección : Trapezoidal con 24 m (canal de entrada) y 26 m (canal de salida en la base y taludes 1/2H:1V
- Cabeza de energía máxima : 9.2 m
- Revestimiento : Corte en roca sin revestir

### Compuertas:

- Tipo : Radial
- Número : Dos
- Dimensiones : 9 m x 9.30 m
- Control de entrada : Gola a la cota 260.9
- Caudal pico de afluente : 2200 m<sup>3</sup>/s
- Caudal pico de descarga : 1000 m<sup>3</sup>/s

### Bocatoma y Conductos de Carga

- Caudal de Diseño : 721 m<sup>3</sup>/s

### Túnel de Carga

- Longitud : 425 m

- Diámetro interior : 12 m
- Pendiente : 50° en tramo inclinado
- Sección : Circular
- Revestimiento : Concreto reforzado

Compuertas:

- Tipo : Deslizantes a través de pozo
- Dimensiones : 6 m x 12.6 m
- Número : Cuatro (dos de seguridad)

Blindaje de Acero:

- Diámetro : 5 m
- Espesor : 3 cm

Distribuidor:

- Número de Salidas : Cuatro
- Diámetro (salidas) : 5 m
- Longitud (salidas) : 32 m y 40 m

Casa de Máquinas

- Localización : Al pie de la presa sobre margen izquierda
- Factor de Planta : 0.38 con Urrá I y San Jorge

Turbinas

- Tipo : Francis
- Número de unidades : Cuatro
- Cota de los ejes de las Turbinas : 119.00 msnm
- Caudal de diseño c/u : 180.25 m<sup>3</sup>/s
- Velocidad nominal : 150 rpm
- Eficiencia máxima : 92%
- Potencia nominal por unidad : 242.000 hp
- Altura máxima de operación : 148.15 m
- Altura promedio de operación : 135.21 m
- Altura mínima de operación : 105.00 m
- Velocidad específica : 154.94 rpm



### Generadores

- Tipo : Verticales con dos cojinetes de guía.
- Número de Unidades : Cuatro
- Velocidad nominal : 150 rpm
- Frecuencia : 60 Hz
- Voltaje : 13.8 kv
- Eficiencia máxima : 98%
- Potencia nominal por unidad : 178 mw

### Transformadores

- Tipo : Monofásicos
- Número : Dos
- Enfriamiento : Aceite refrigerado por aire
- Voltaje : 13.8/220 kv

### Válvulas

- Tipo : Mariposa
- Número : Cuatro

### Puente Grúa

- : Uno en casa de máquinas, uno en sala de válvulas, un pórtico en la sala de montaje

### Patio de Conexiones

- Localización : Margen izquierda detrás de casa de máquinas
- Tipo : Barraje sencillo con transferencia
- Voltaje : 220 kv
- Número de módulos : Diez (cuatro para las máquinas 6 para las líneas)

### Líneas de Transmisión

- Tipo : Dos líneas de doble circuito
- Longitud : 80 km
- Voltaje : 220 kv
- Calibre del conductor (ACSR) : 1033 MCM aproximadamente

### Carreteras

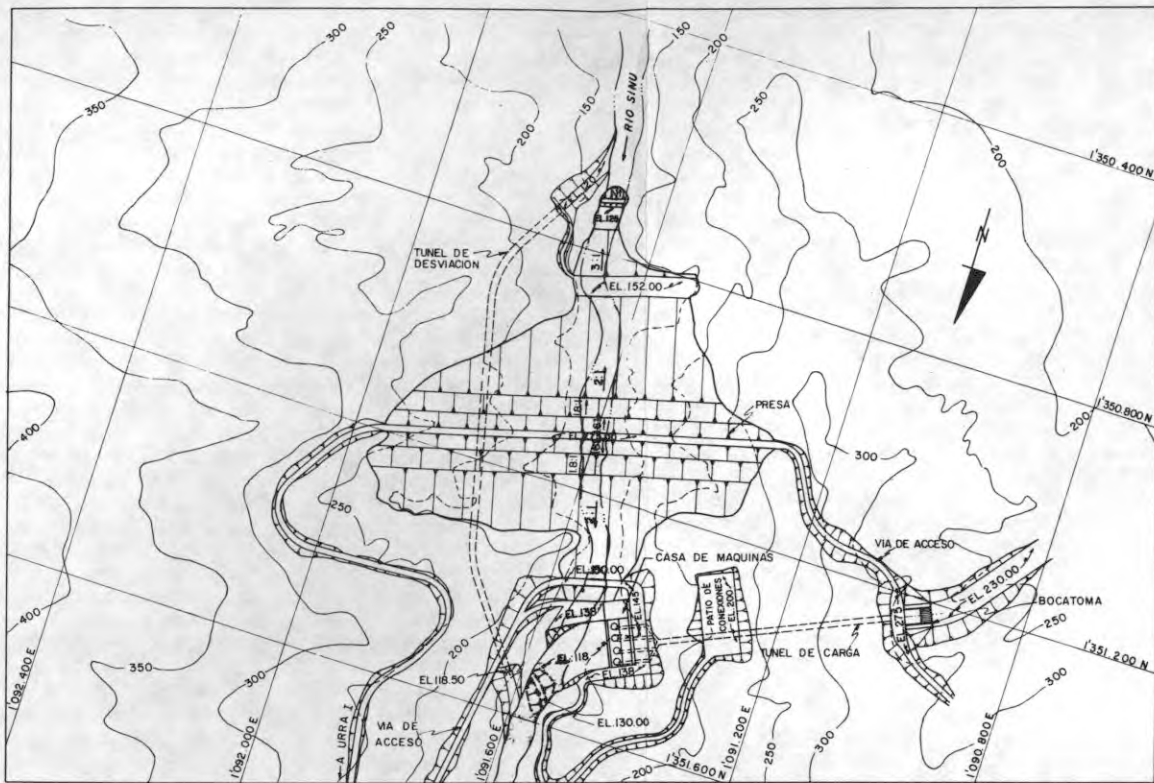
- Longitud : 67 km desde Urrá I
- Ancho : 6 m

### Generación y Costos

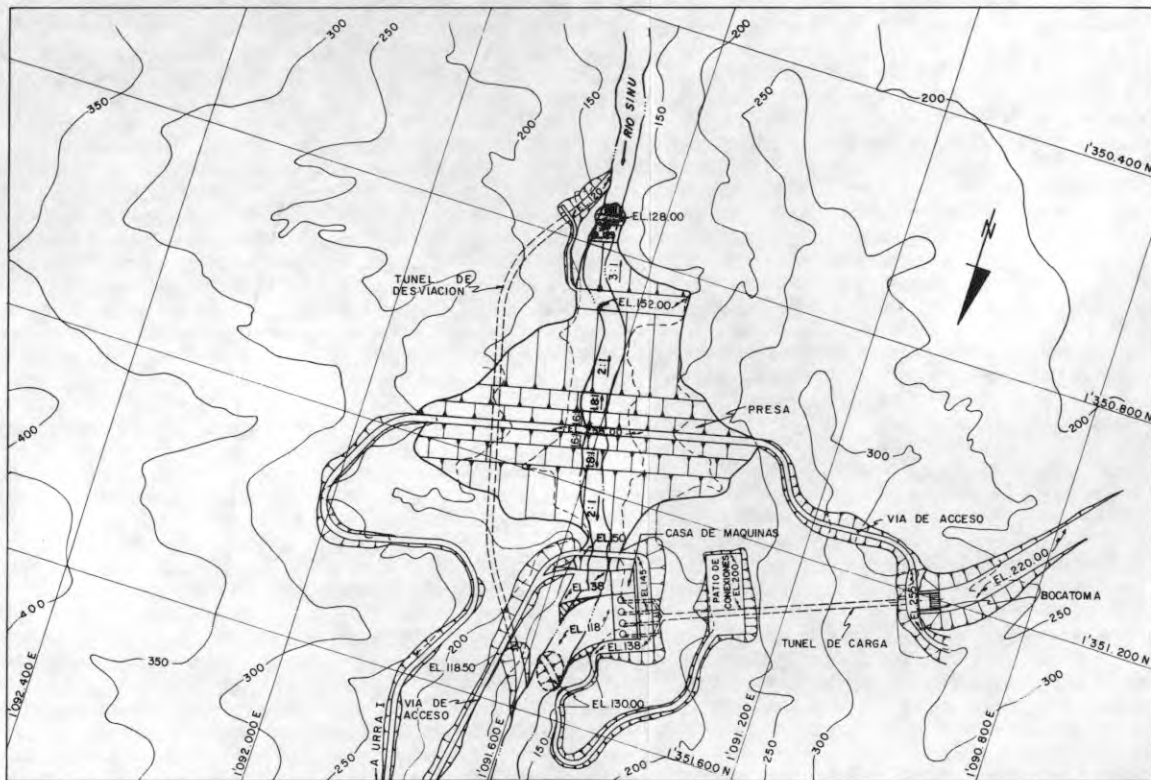
- Capacidad Instalada : 710 mw
- Factor de Planta : 0.38 con Urrá I y San Jorge.
- Generación Firme anual : 2350 gwh/h con Urrá I y San Jorge
- Costo total de construcción : US\$ 266.163.000
- Costo por kw instalado (sin escalación ni intereses) : US\$ 375.00

Las cifras anteriores corresponden al proyecto de Urrá II-270 construido simultáneo con Urrá I-135 y San Jorge. Pueden sufrir variaciones dependiendo de la configuración que finalmente se adopte, y los factores de planta y capacidad instaladas.

Así mismo las características del proyecto pueden sufrir modificaciones de acuerdo con el que finalmente sea escogido por CORELCA y las entidades encargadas del planeamiento eléctrico.

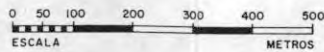



URRA II - 270  
CRESTA 275

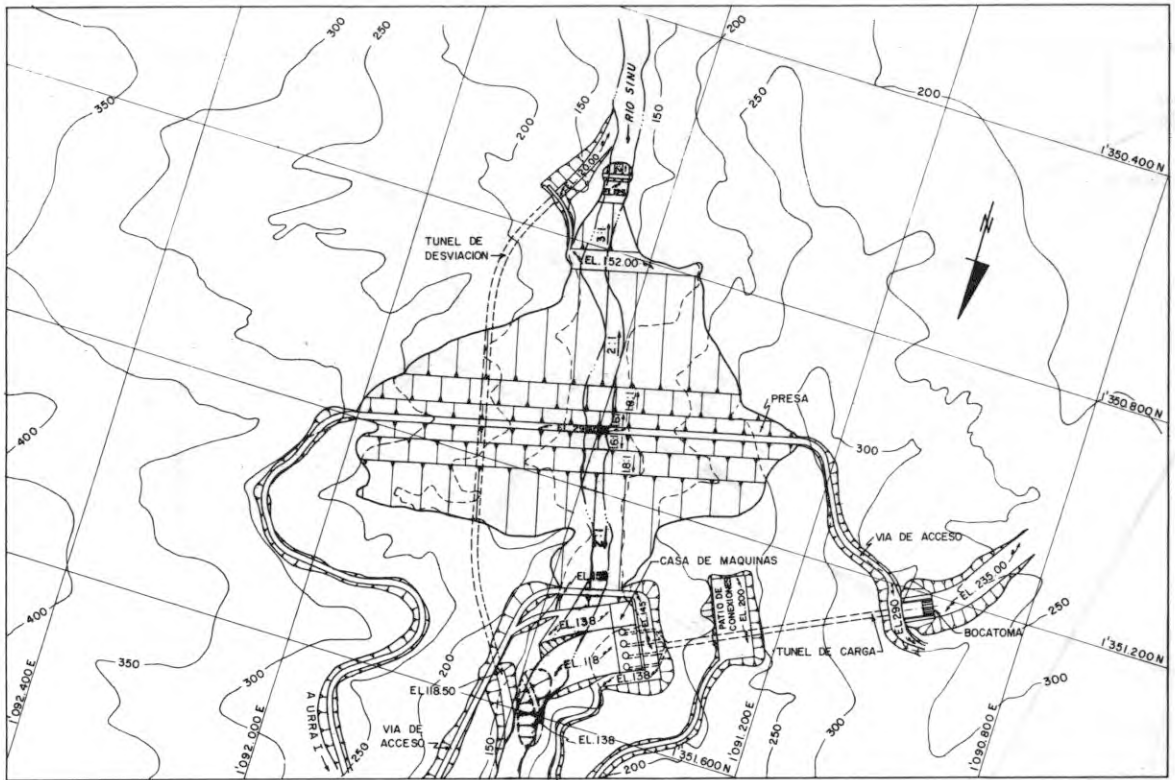


URRA II - 250  
CRESTA 255

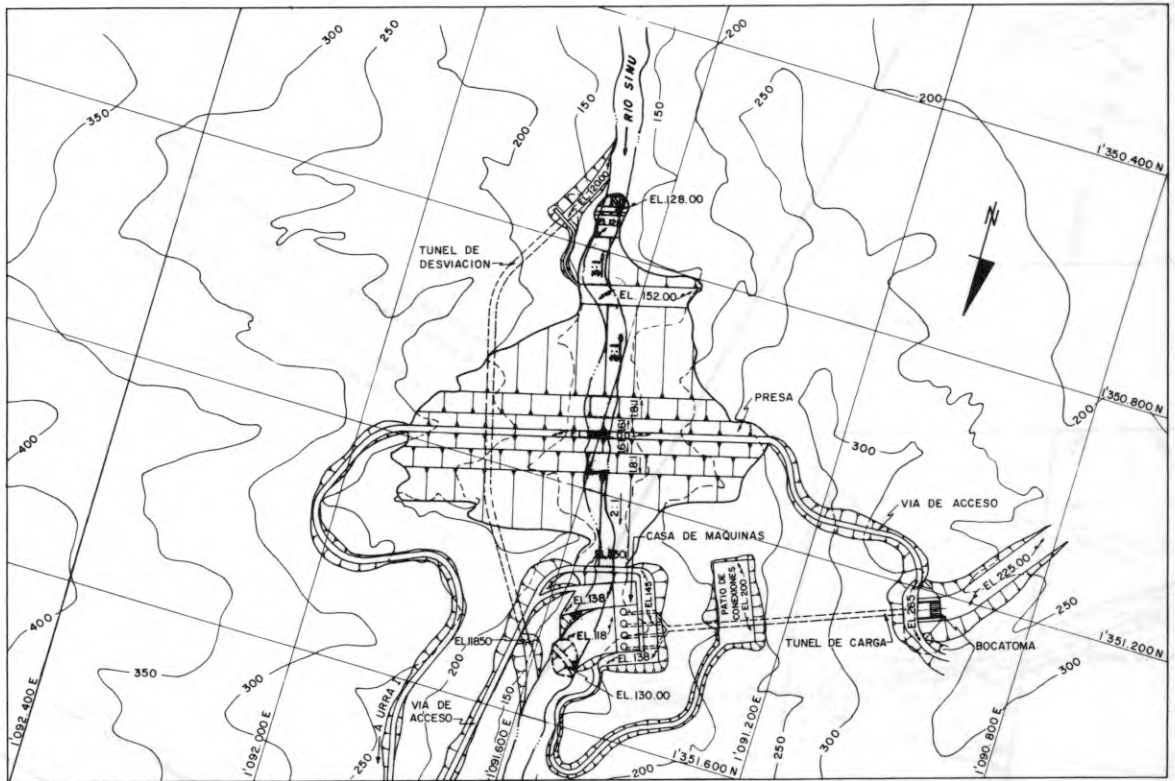
ALTERNATIVAS DE URRA II SE ESTUDIARON PARA  
DE CAPACIDAD DE 0.50, 0.40 Y 0.30.



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II ALTERNATIVAS TÍPICAS ESTUDIADAS PRESA Y OBRAS ANEXAS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre-76 ESCALA INDICADA ARCHIVO U E - E - 233
		FIGURA <b>II</b> 5 - 1

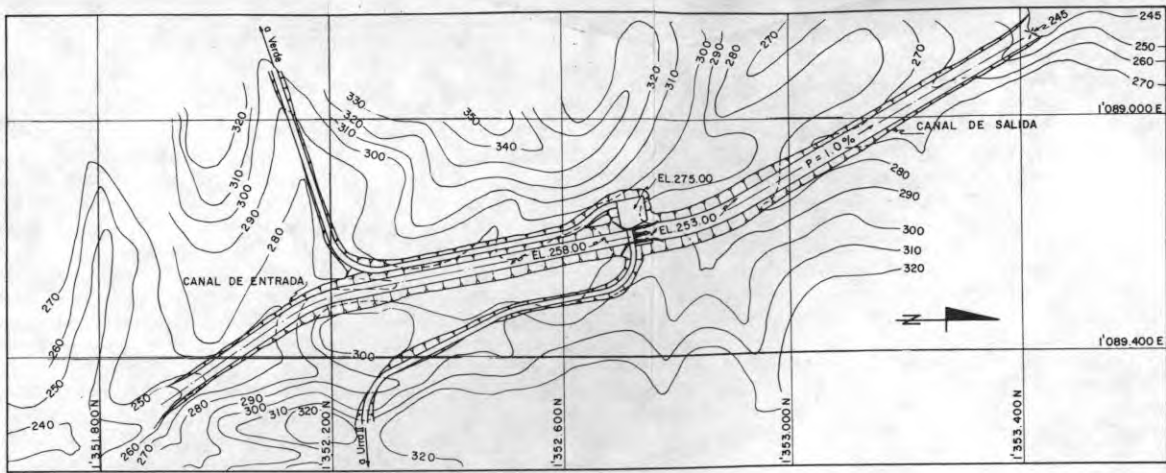


URRA II - 285  
CRESTA 290



URRA II - 260  
CRESTA 265

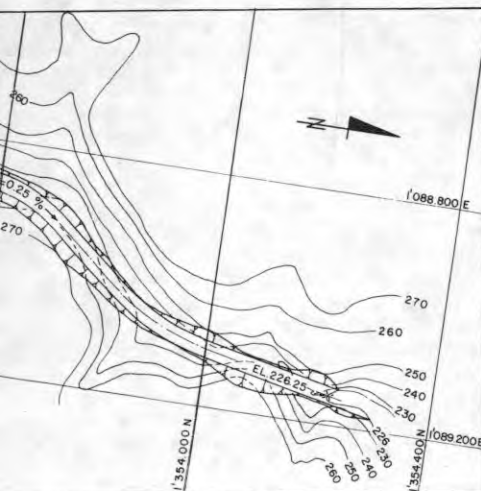
NOTA:  
LAS  
FACT



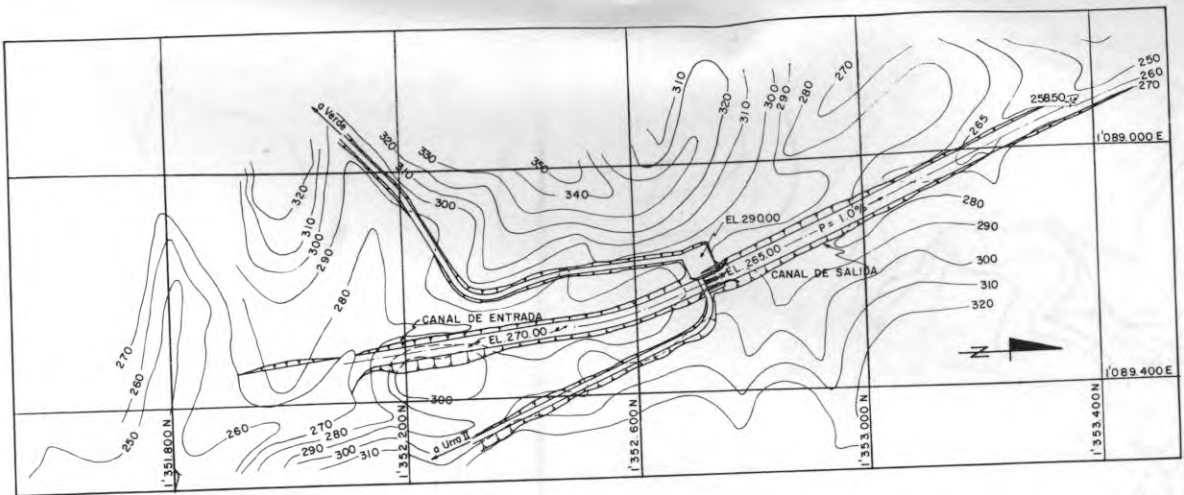
URRA II - 270  
REBOSADERO



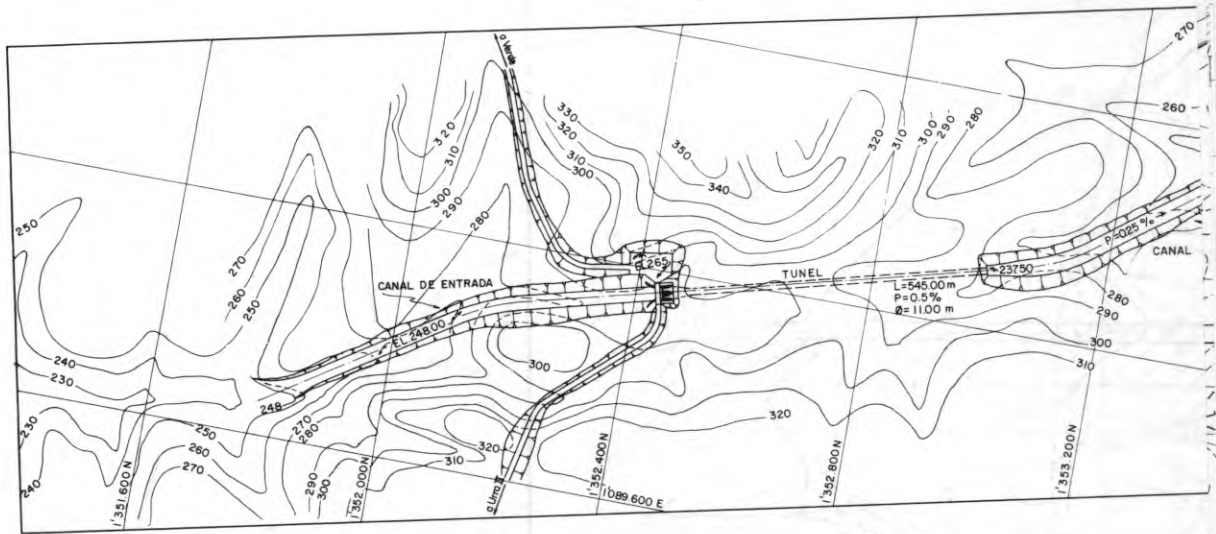
NOTA:  
LOS REBOSADEROS DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS  
ESTAN LOCALIZADOS SOBRE LA DIVISORIA DE AGUAS DE  
LAS QUEBRADAS NAGUA Y PLATANAL.  
LA DISTANCIA ENTRE EL SITIO DE LOS REBOSADEROS Y LA  
PRESA ES DE 3.5 KMTS. APROXIMADAMENTE.



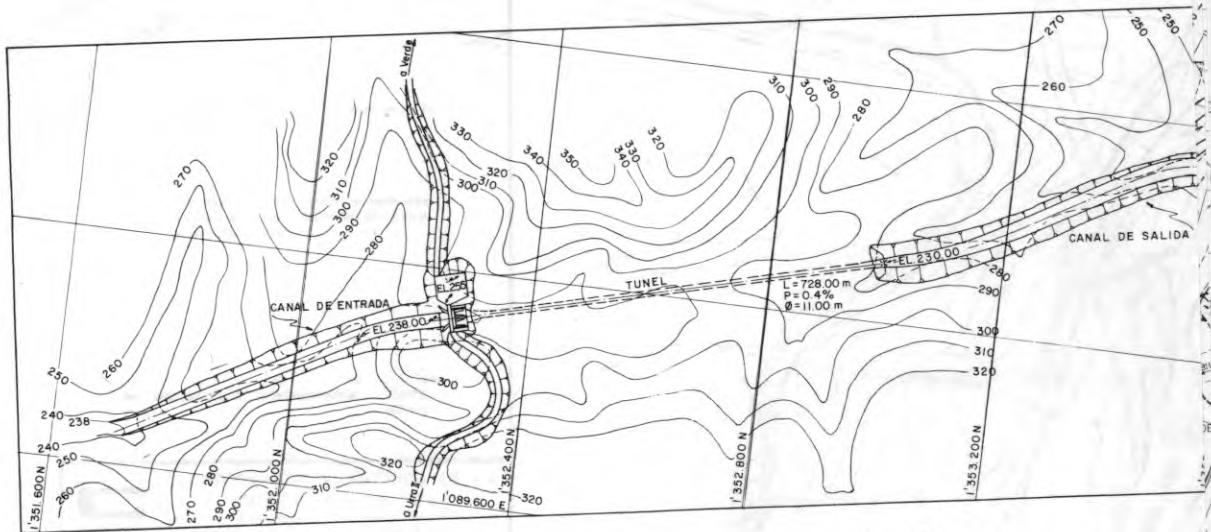
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II ALTERNATIVAS TÍPICAS ESTUDIADAS REBOSADERO		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UB - E - 289
		FIGURA <b>II</b> <b>5 - 2</b>



URRA II - 285  
REBOSADERO



URRA II - 260  
REBOSADERO

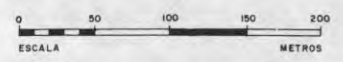


URRA II - 250  
REBOSADERO



Derrumbe, las flechas indican la dirección del deslizamiento

NOTAS  
 1- Plano ligado al sistema nacional de coordenadas con origen en el vertice Esmeralda IF-12 de Ingeniería Fotogramétrica Ltda.



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II 270		
PLANTA GENERAL		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: 76 ESCALA: ARCHIVO: UZ - E - 249
		FIGURA <b>II</b> 5 - 3



CAMPAMENTO  
CORRELA E  
INTERVENTOR

CAMPAMENTO CONTRATISTA

TUNEL DE DESVIO

CRESTA DE L...

PORTAL DE SALIDA  
RIO SINU

SEMPRE CON LA VIA

1'350.800 N

1'351.000 N

1'351.200 N

1'351.400 N

1'351.600 N

1'351.800 N

1'092.400 E

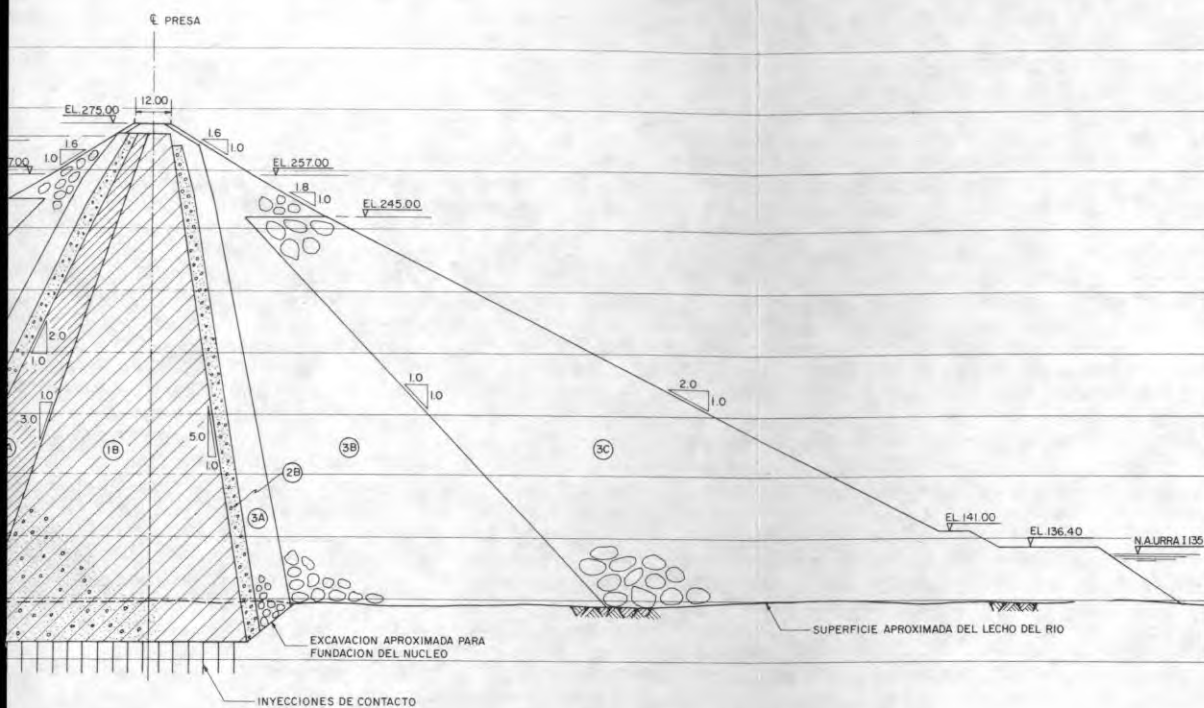
1'092.200 E

1'092.600 E

1'092.800 E

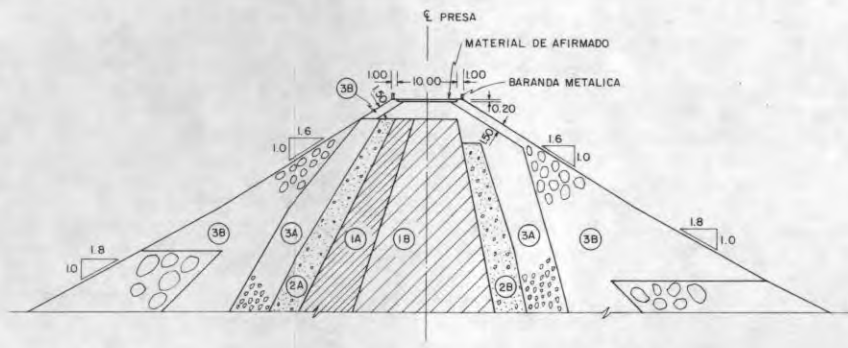
1'091.800 E





CORTINAS DE INYECCIONES

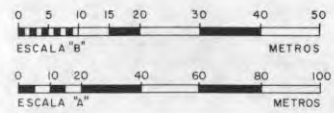
ON MAXIMA  
ESCALA 1/4"



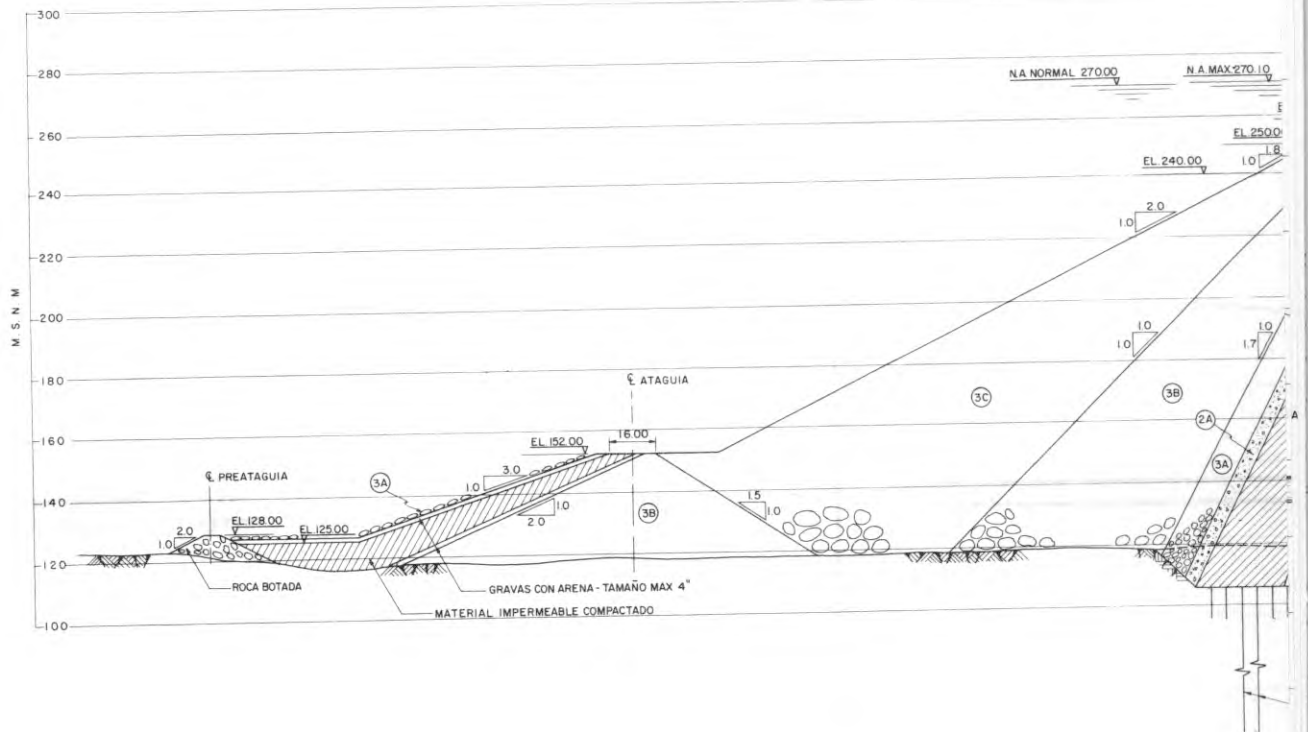
DETALLE CRESTA DE LA PRESA  
ESCALA "B"

CONVENCIONES

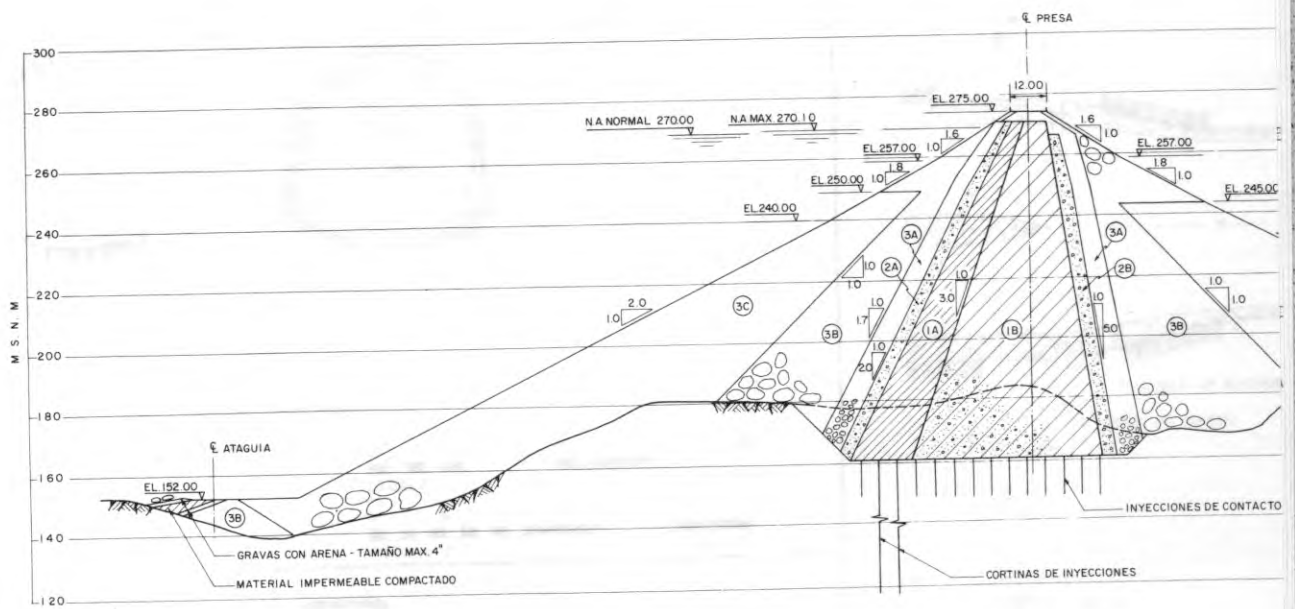
- (1A) NUCLEO IMPERMEABLE - ARCILLA
- (1B) MATERIAL IMPERMEABLE - ARENA LIMO ARCILLOSA CON ALGO DE GRAVA - TAMAÑO MAX 4"
- (2A) ARENA CON GRAVA - TAMAÑO MAX 2"
- (2B) GRAVAS CON ARENA - TAMAÑO MAX 4"
- (3A) ENROCADO - TAMAÑO MAX 12"
- (3B) ENROCADO - TAMAÑO MAX 36"
- (3C) ENROCADO - TAMAÑO MAX 72"



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II - 270 PRESA CORTES TÍPICOS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC	FECHA Diciembre-76	FIGURA II
	ARCHIVO UE - E-249	5-4



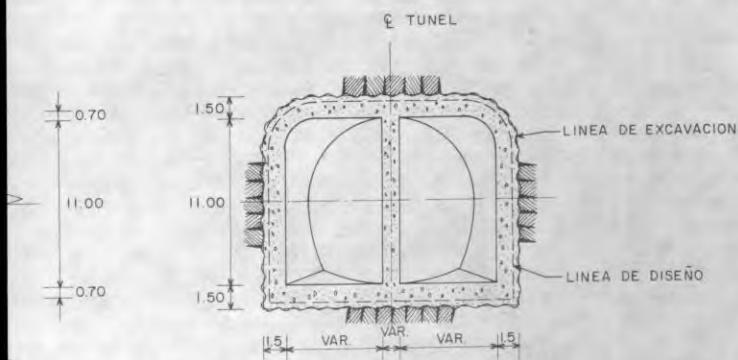
SE



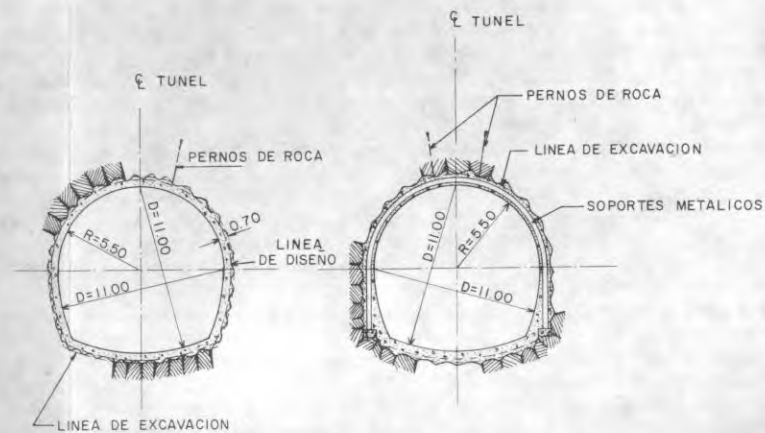
SECCION POR EL ESTRIBO IZQUIERDO  
ESCALA "A"



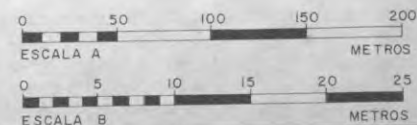
CORTE POR EL EJE  
ESCALA A



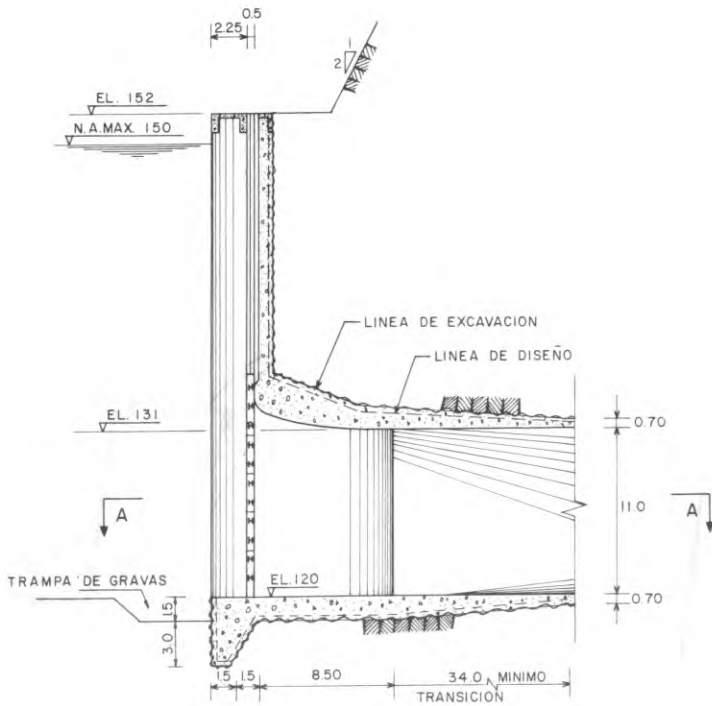
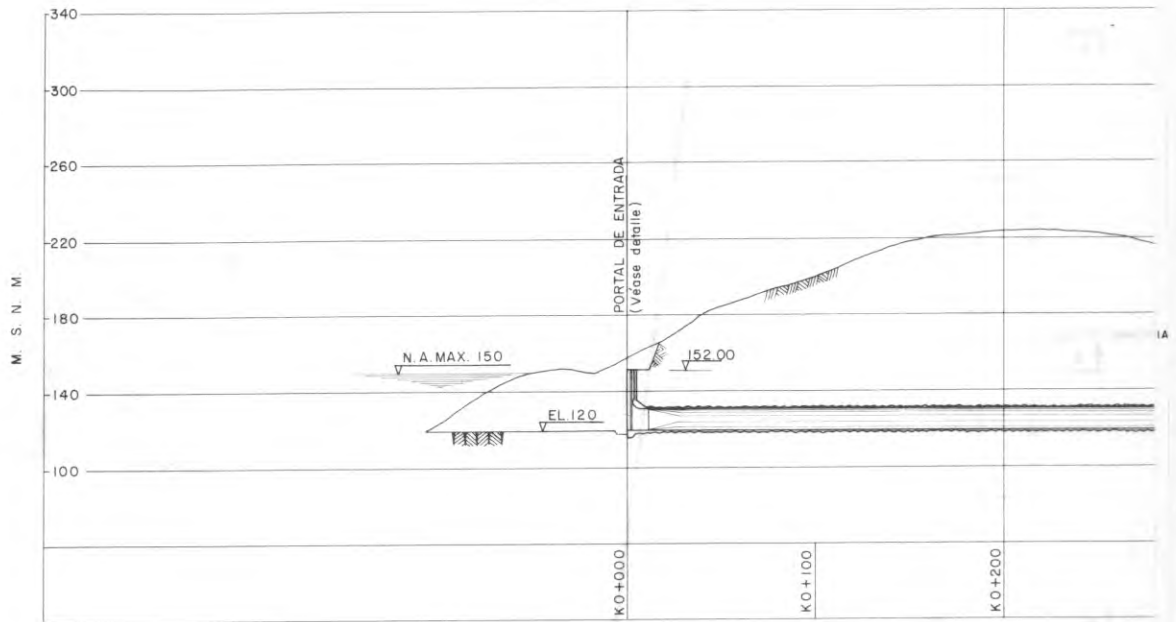
CORTE B-B  
ESCALA B



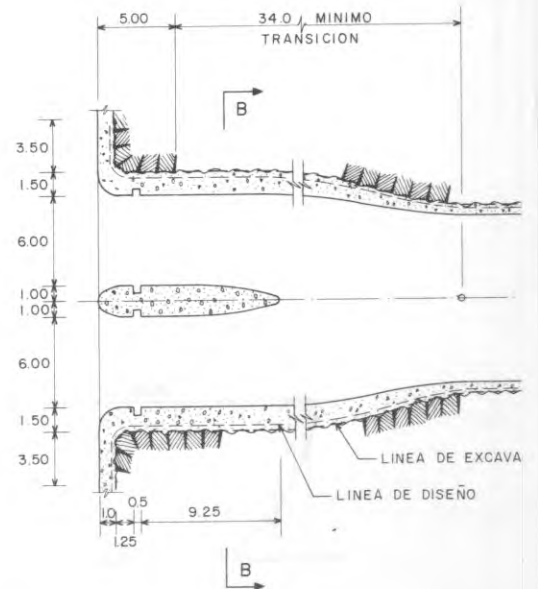
CORTE C-C  
SECCIONES TICAS  
ESCALA B



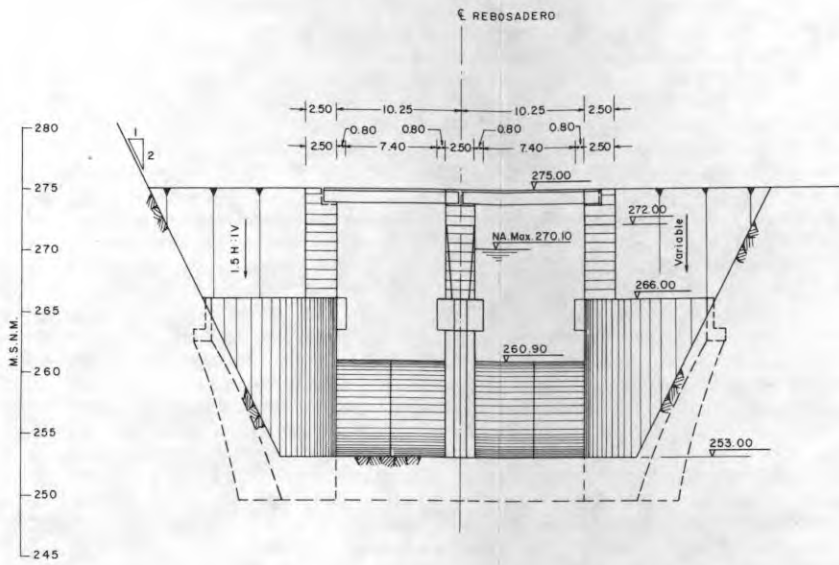
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II - 270 TUNEL DE DESVIACION CORTES TICOS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEROS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC	FECHA Diciembre-76 ESCALA INDICADA ARCHIVO VE- E-253	FIGURA <b>II</b> <b>5-5</b>



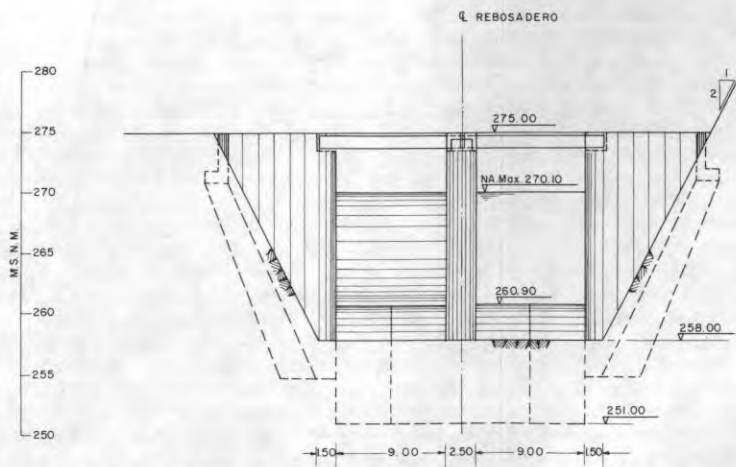
PORTAL DE ENTRADA  
ESCALA B



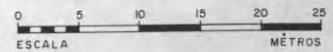
CORTE A-A  
SIN ESCALA



VISTA B-B



VISTA C-C

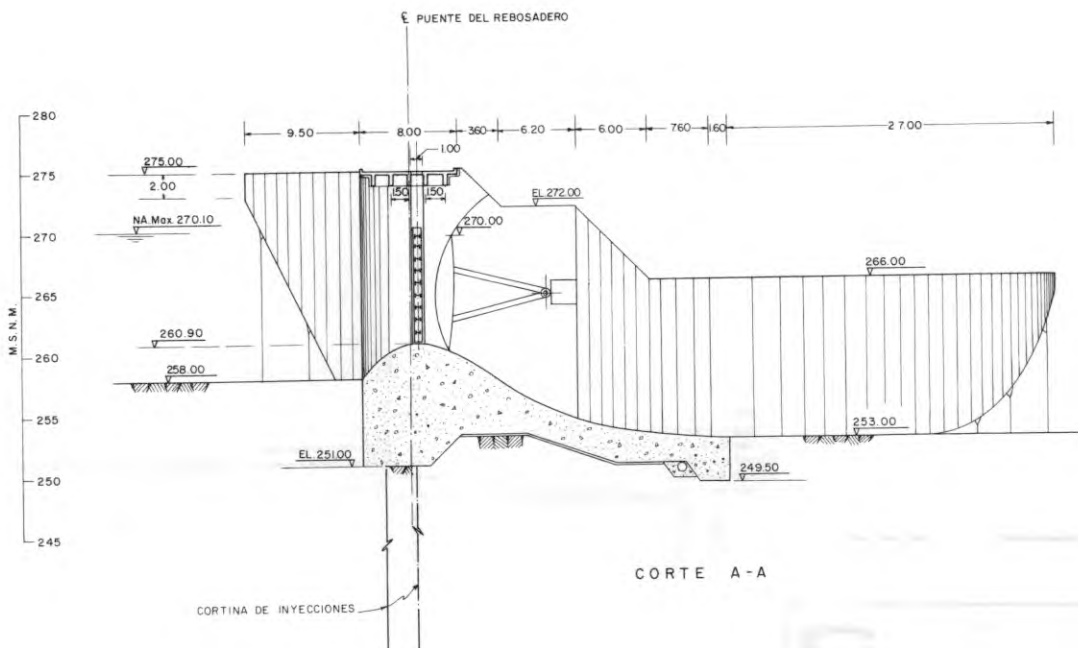
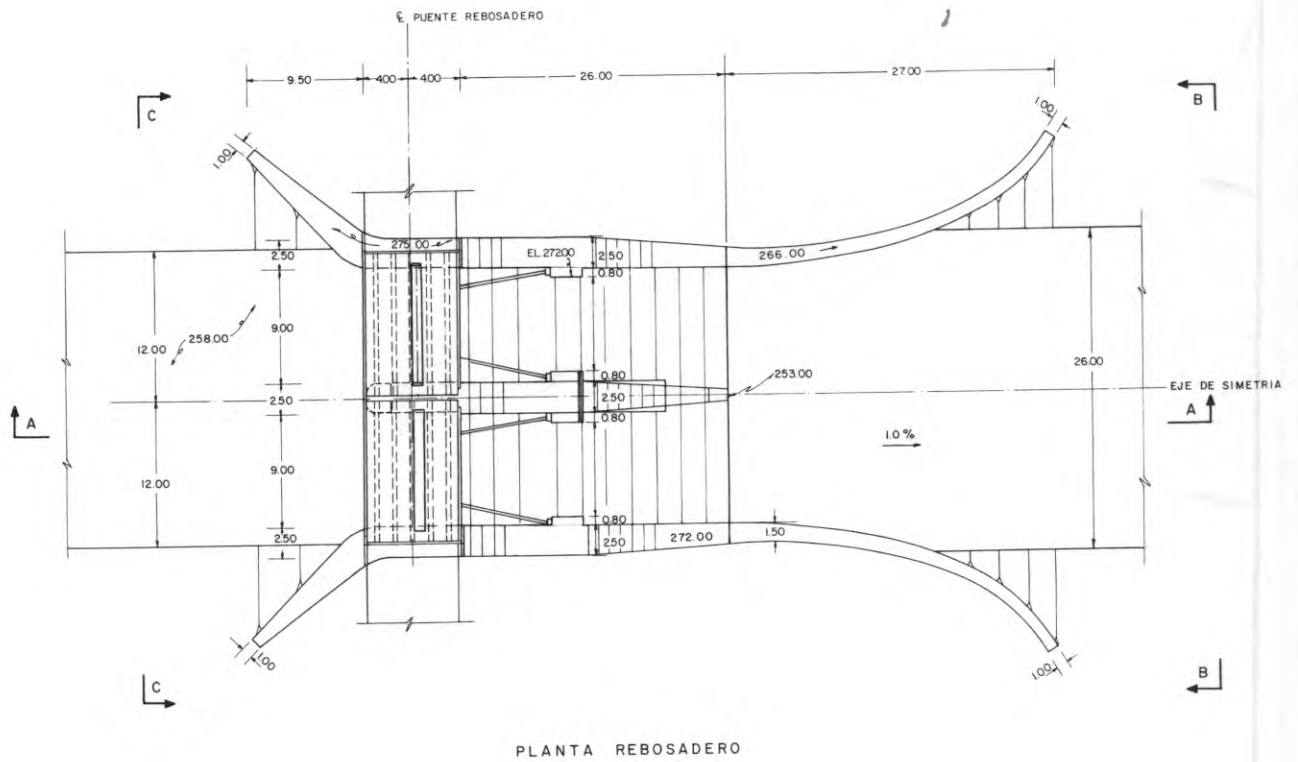


CORPORACION ELECTRICA DE LA  
COSTA ATLANTICA  
PROYECTO DEL ALTO SINU

URRA II - 270  
REBOSADERO  
PLANTA - CORTE - DETALLES

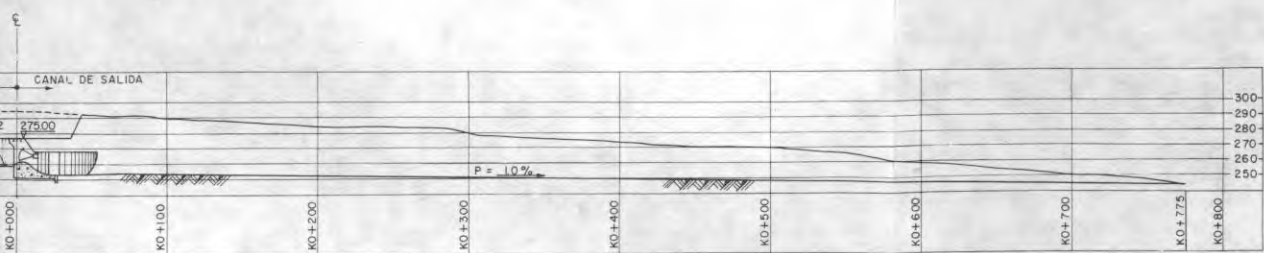
CONSORCIO ALTO SINU  
INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA  
ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNACIONAL INC.

FECHA: Diciembre-76  
ESCALA: INDICADA  
ARCHIVO: U.E.-250  
FIGURA: II  
5-6





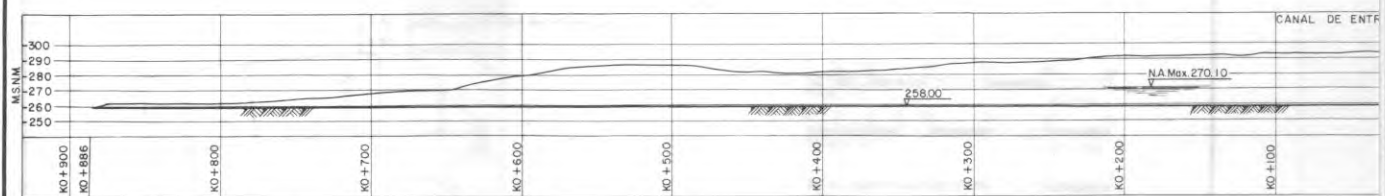
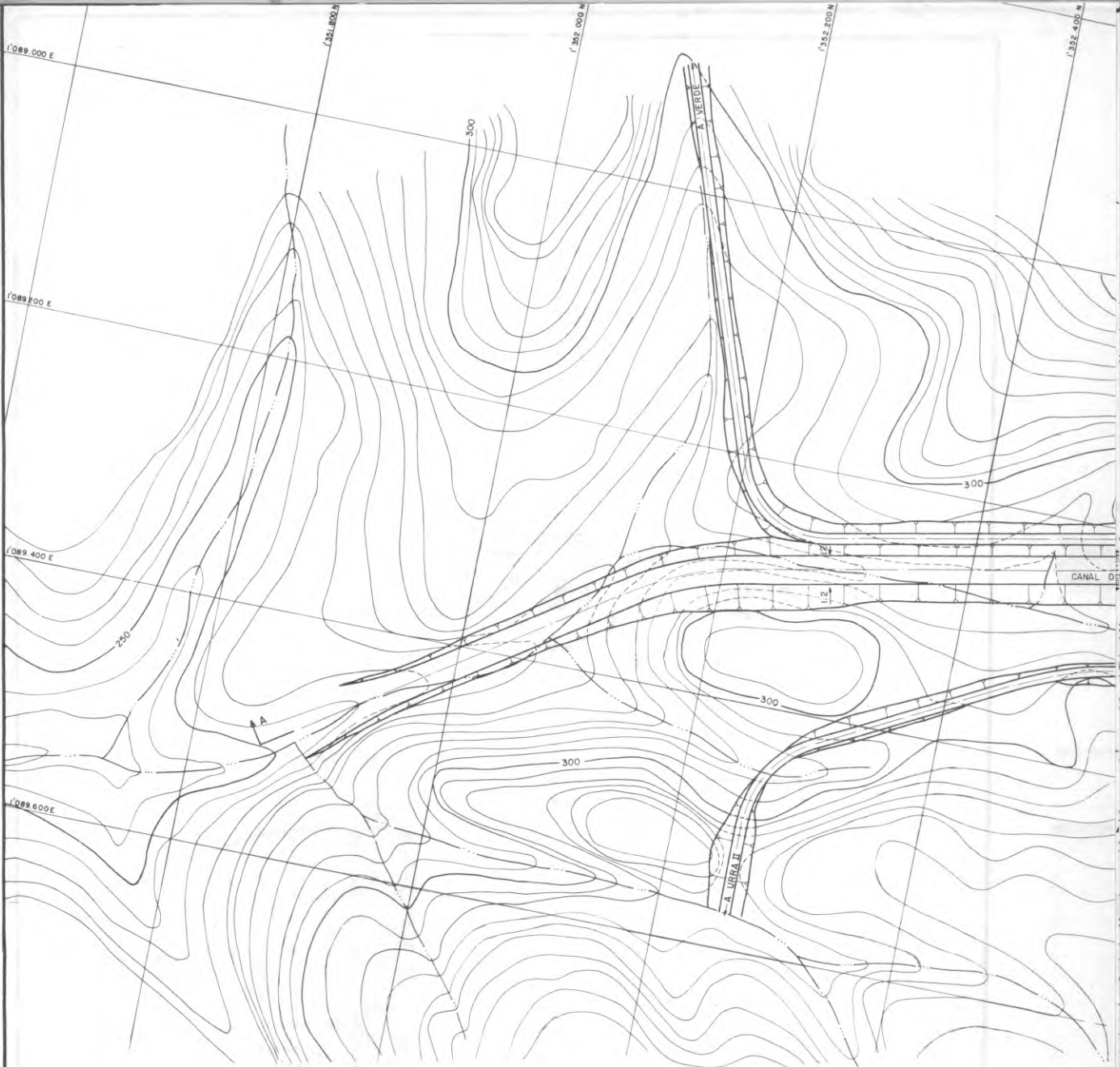
PLANTA GENERAL REBOSADERO



CORTE A-A

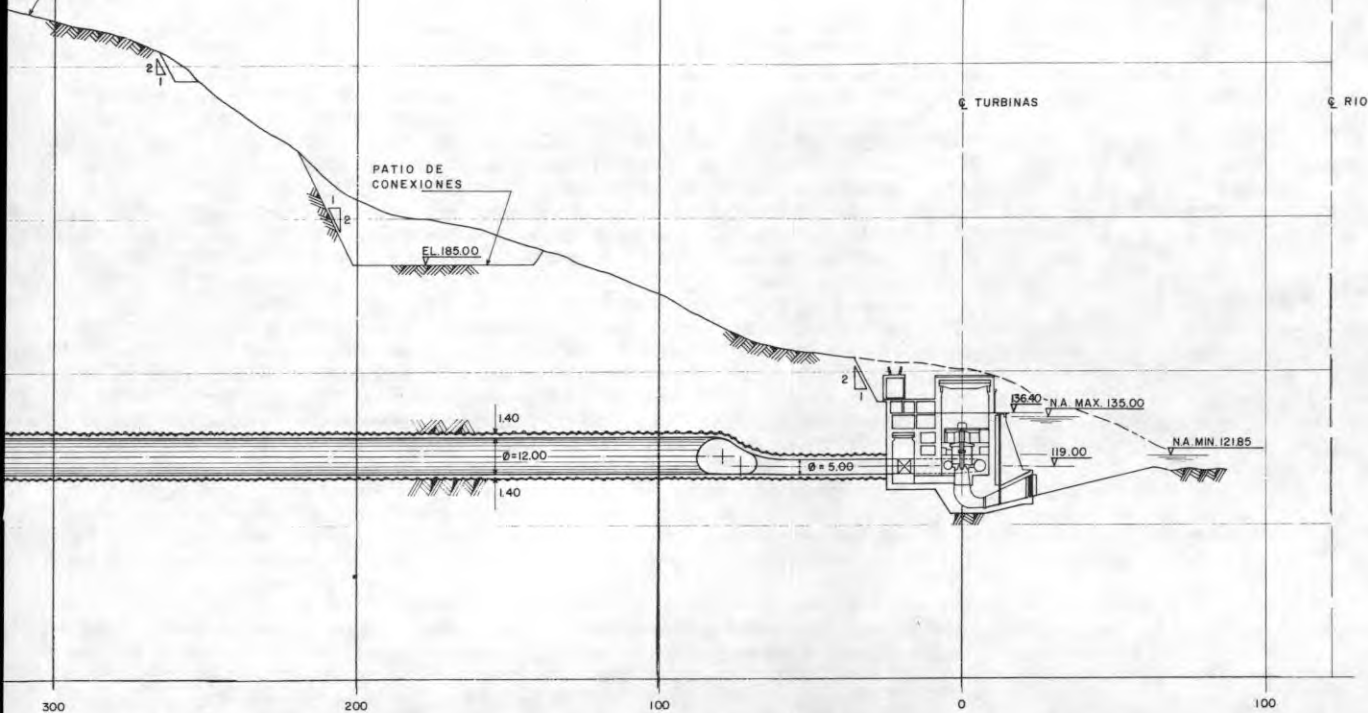


	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II - 270 REBOSADERO PLANTA Y CORTE		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNACIONAL INC.	FECHA: Diciembre - 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UE - E - 250	FIGURA <b>II</b> 5 - 7



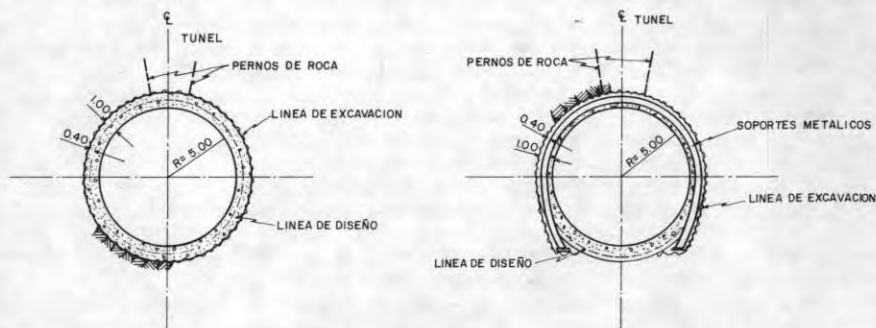


PERFIL DEL TERRENO

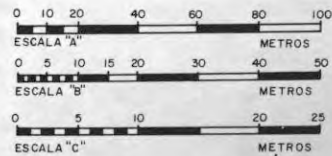


TUNEL DE CARGA Y CASA DE MAQUINAS

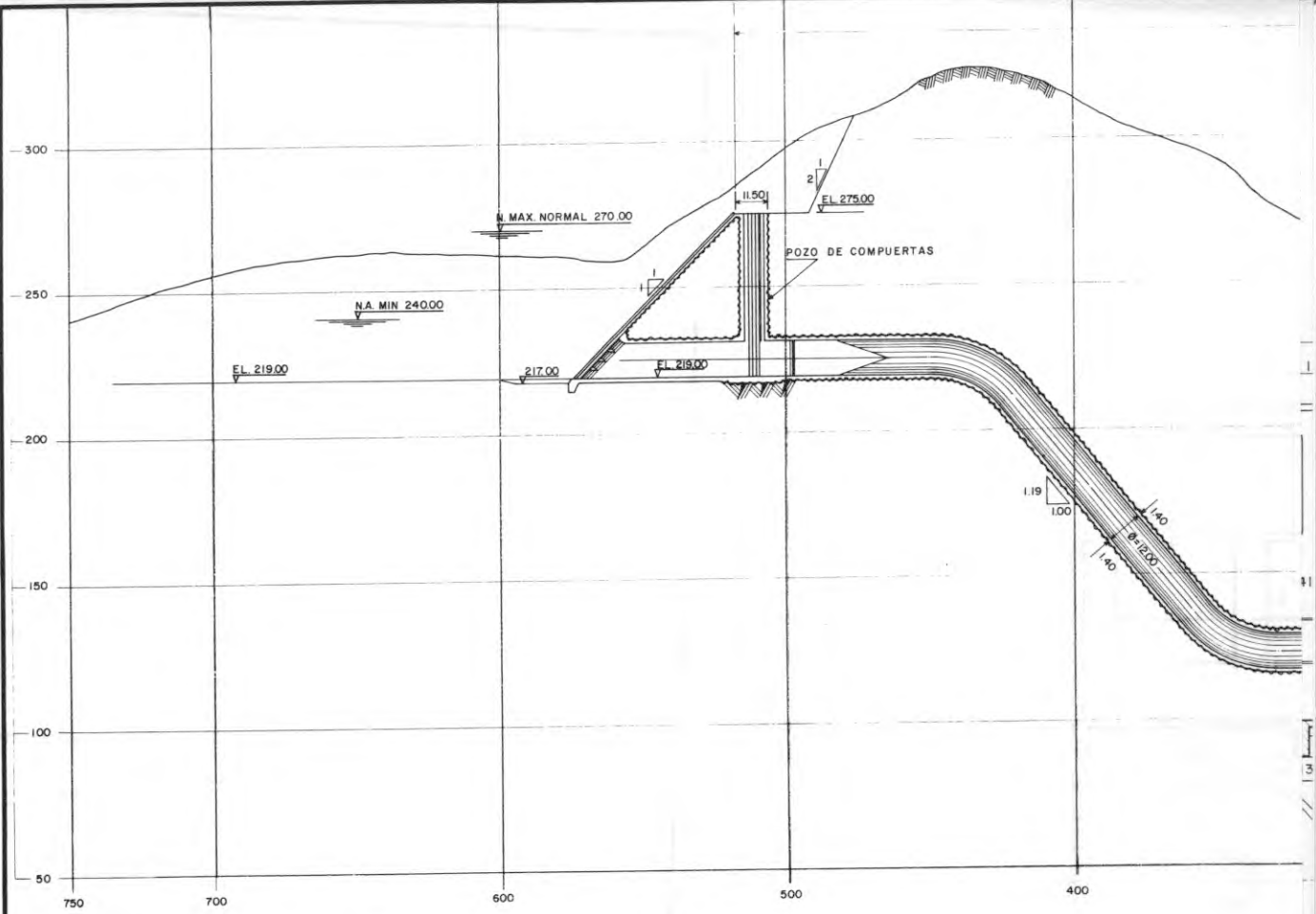
ESCALA "A"



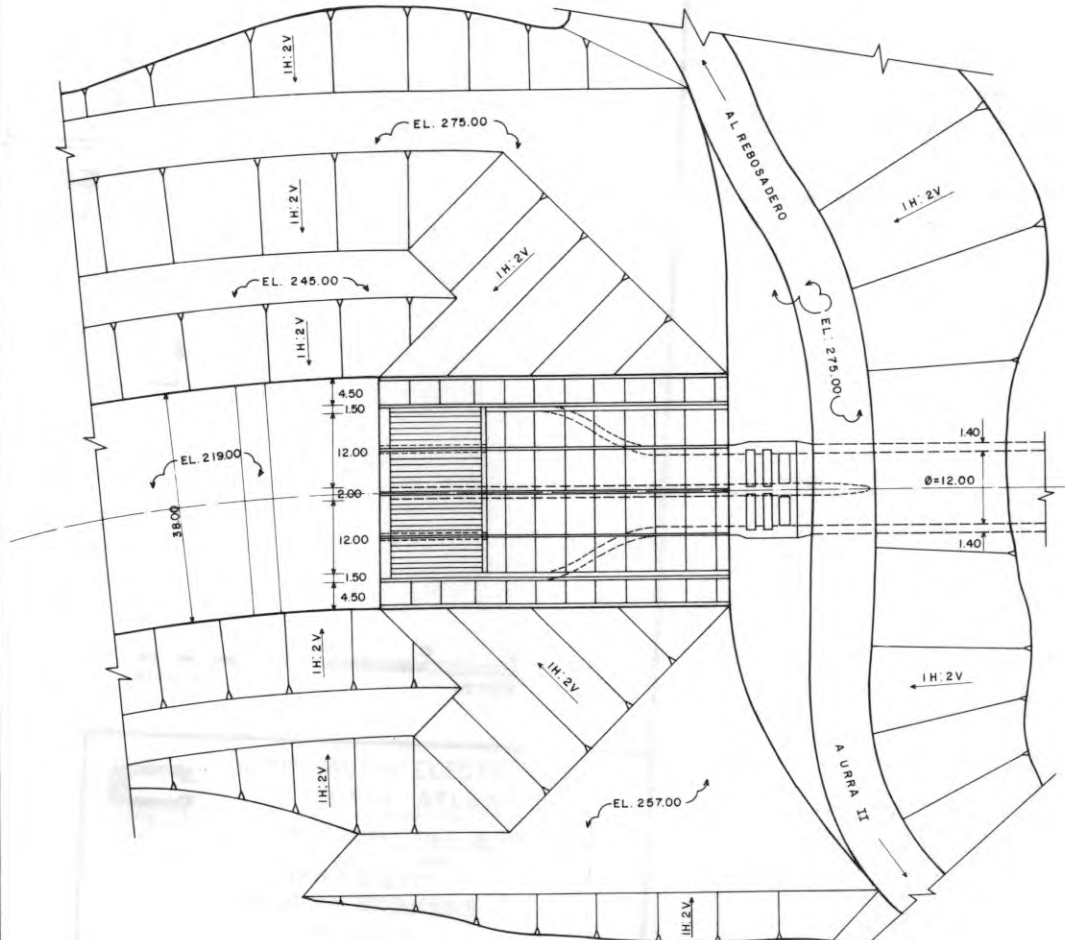
SECCIONES TÍPICAS  
TUNEL DE CARGA  
ESCALA "C"



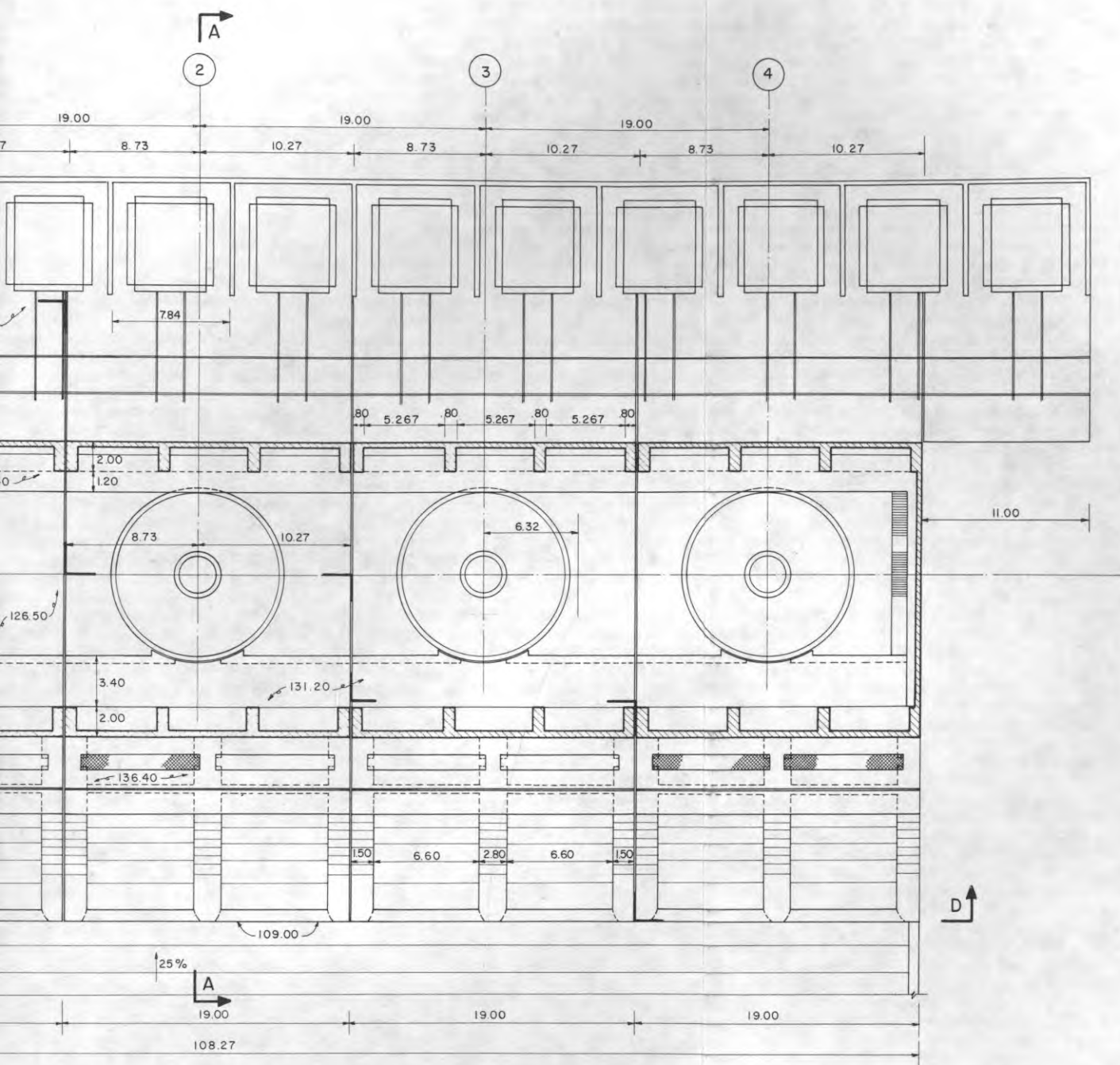
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II - 270 TUNEL DE CARGA PLANTA-CORTES		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS- SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre-76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: U.S.-E-252
		FIGURA <b>II</b> 5-8



CORTE BOCATOM



PLANTA BOCATOM  
ESCALA "B"

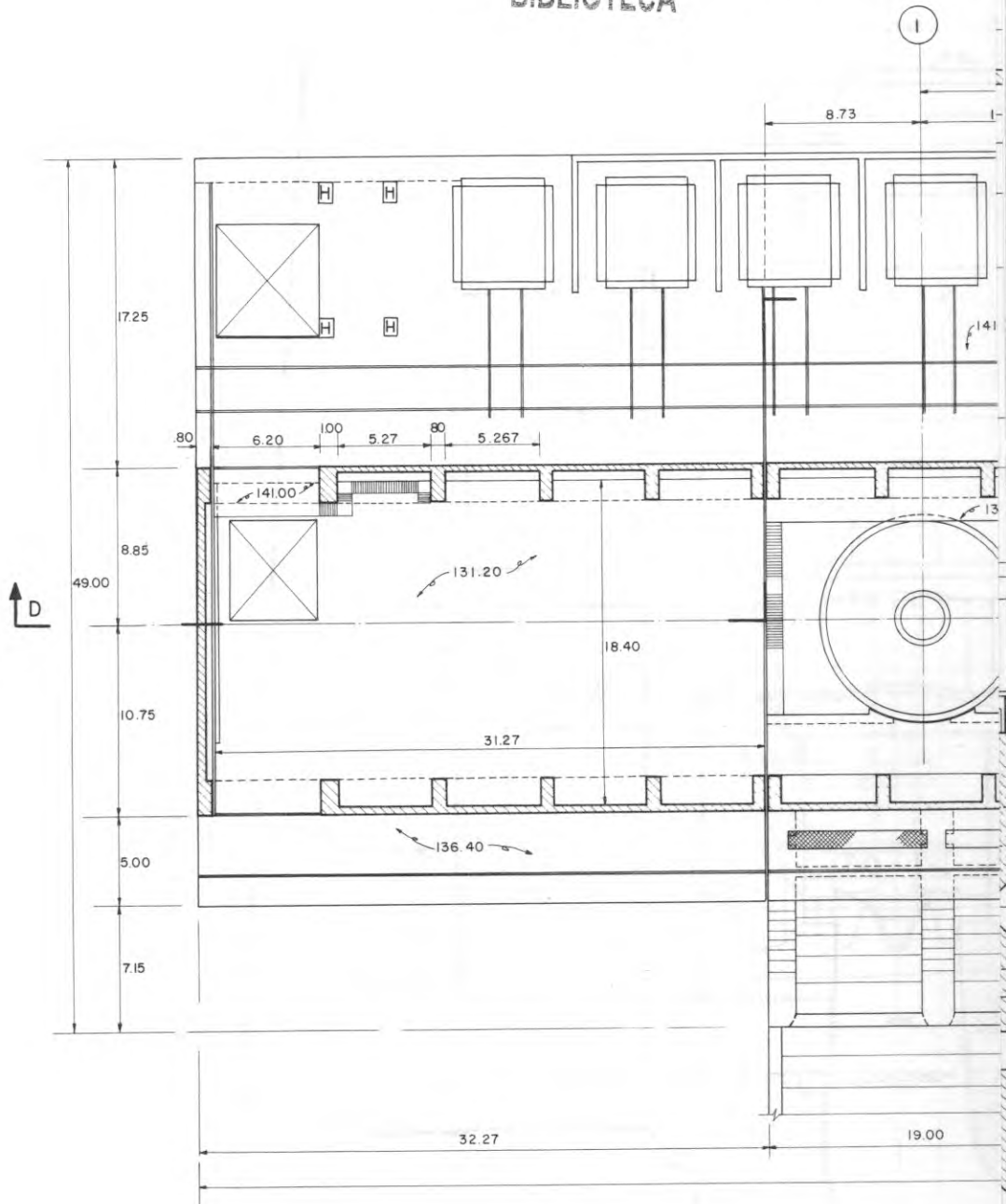


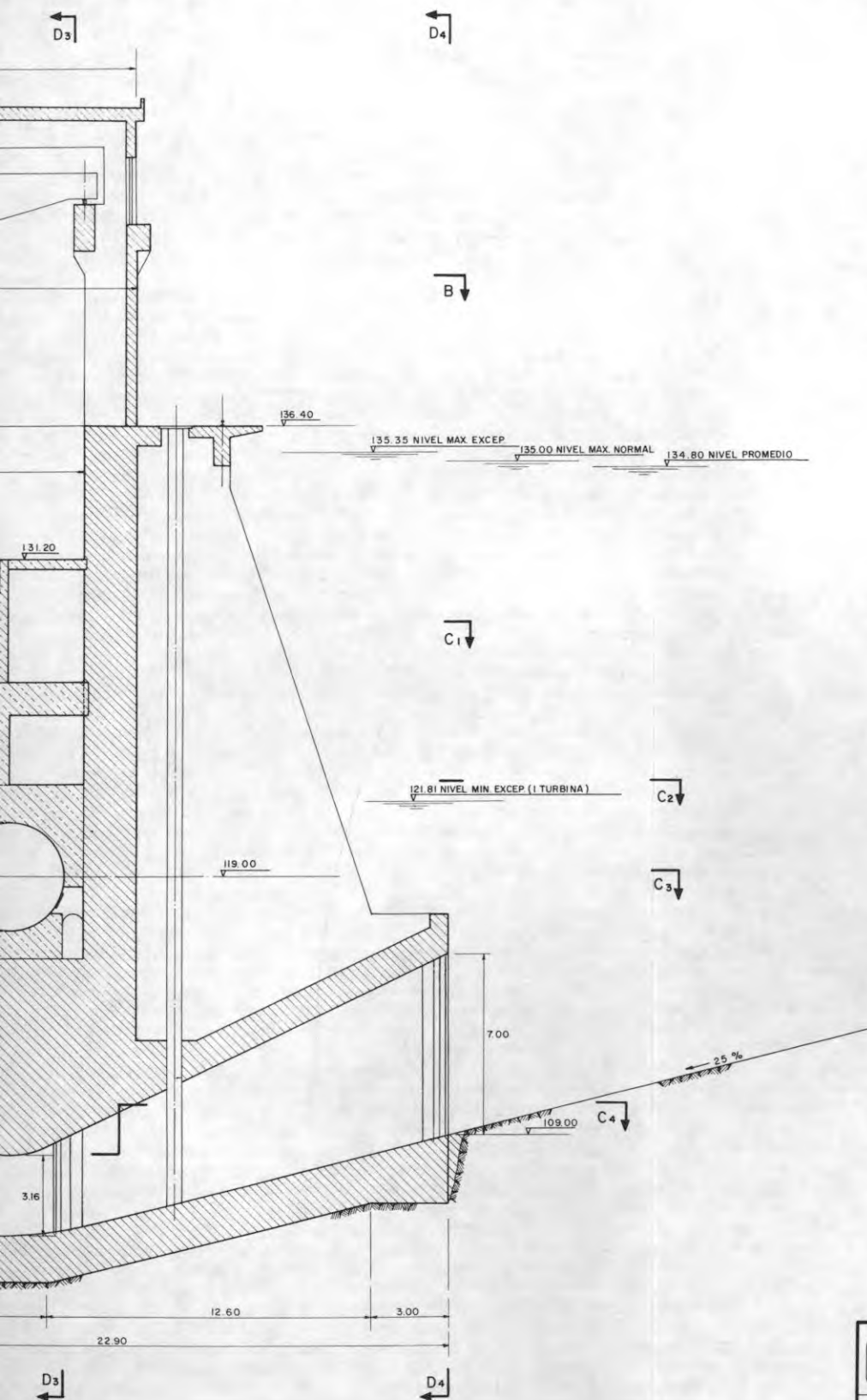
CORTE B-B



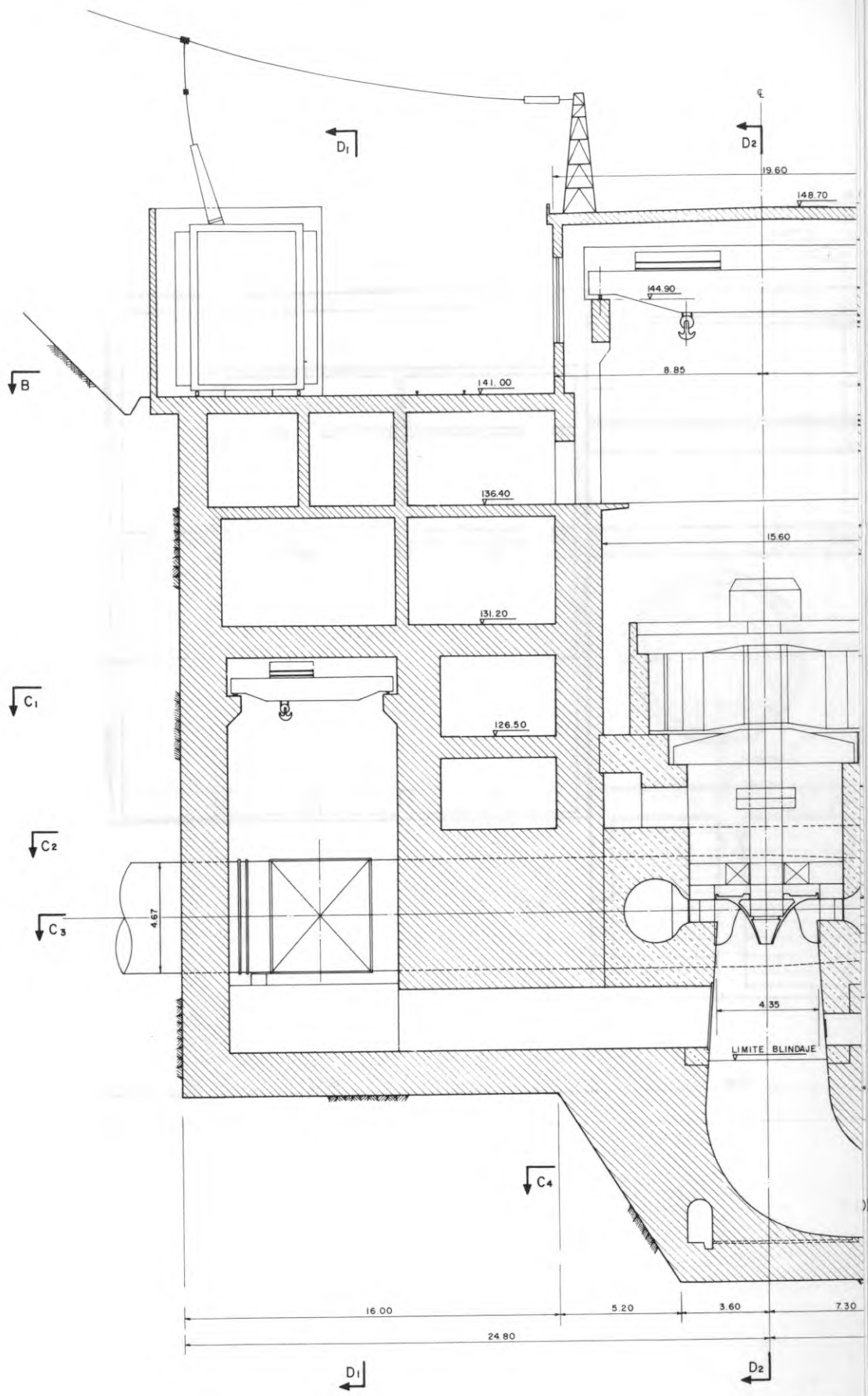
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRRA II 270 CASA DE MAQUINAS PLANTA		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero - 77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UII - G - 441	FIGURA: II 5 - 9

Ministerio de Minas y Energía  
BIBLIOTECA

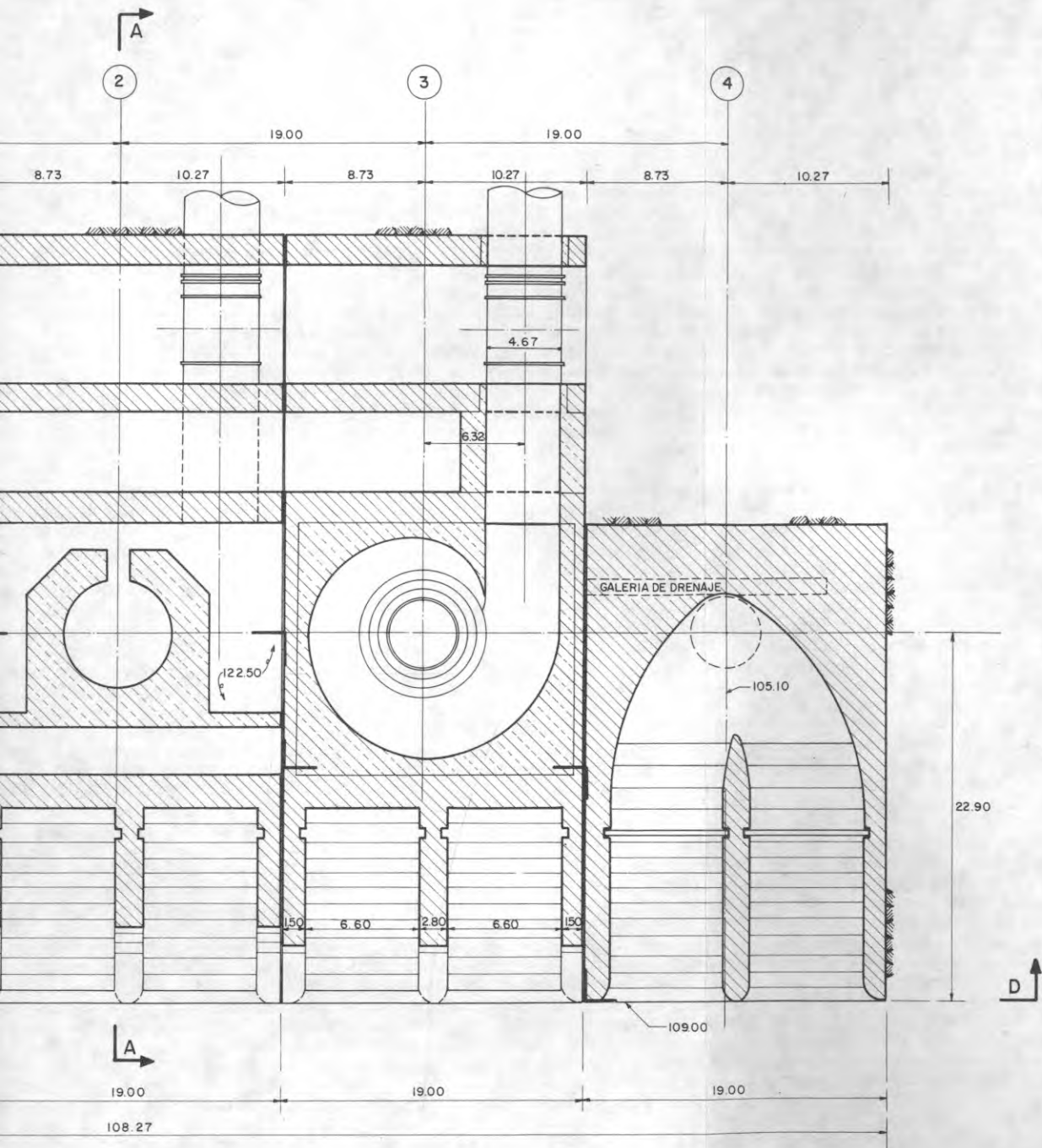




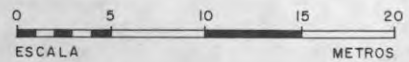
 CORELCA	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
URRA II 270 CASA DE MAQUINAS CORTE TRANSVERSAL EN EL EJE (A-A)		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA:	FIGURA: II 5-10
	ESCALA:	
	INDICADA:	
	ARCHIVO:	
	FE-6-439	




CORTE A

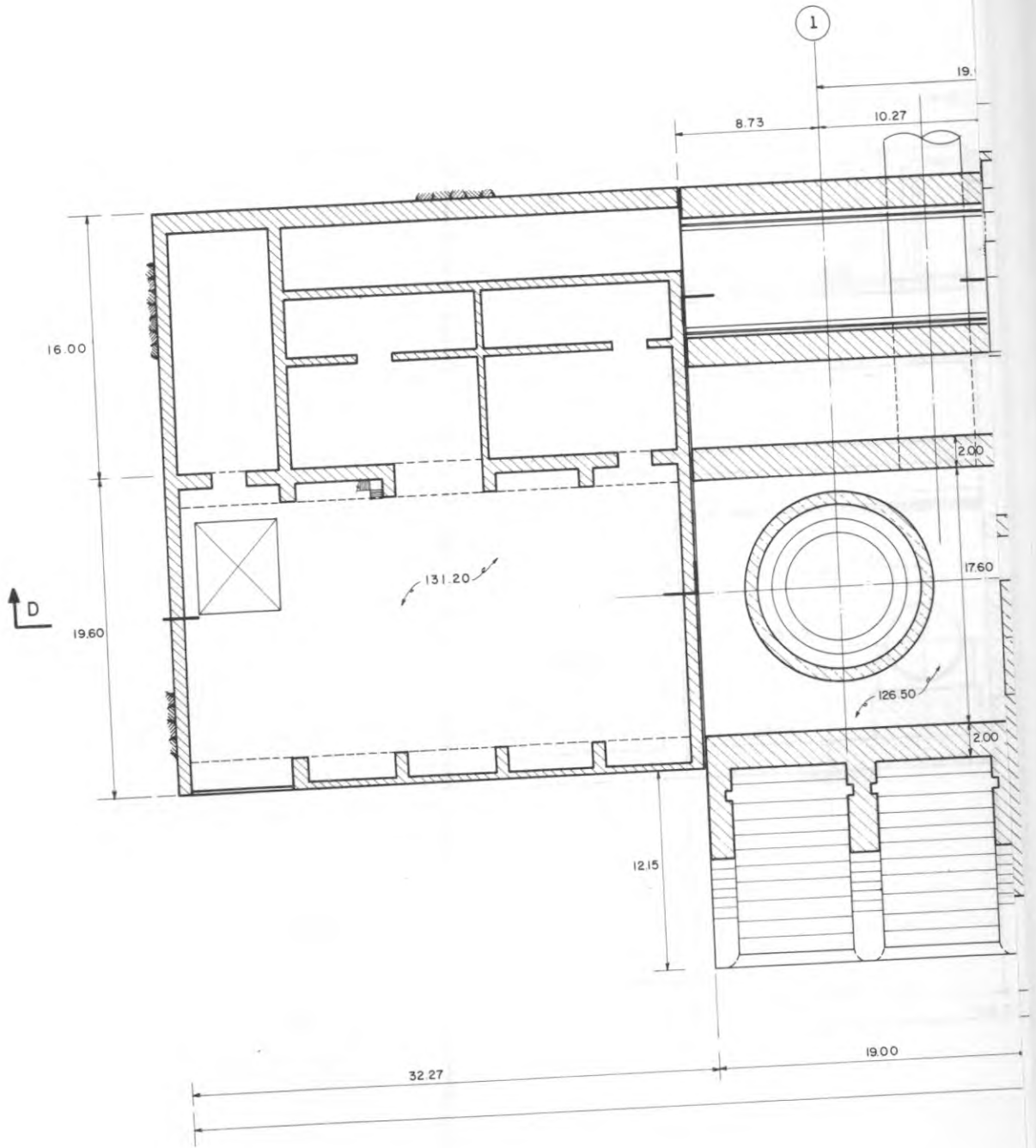


E C-C

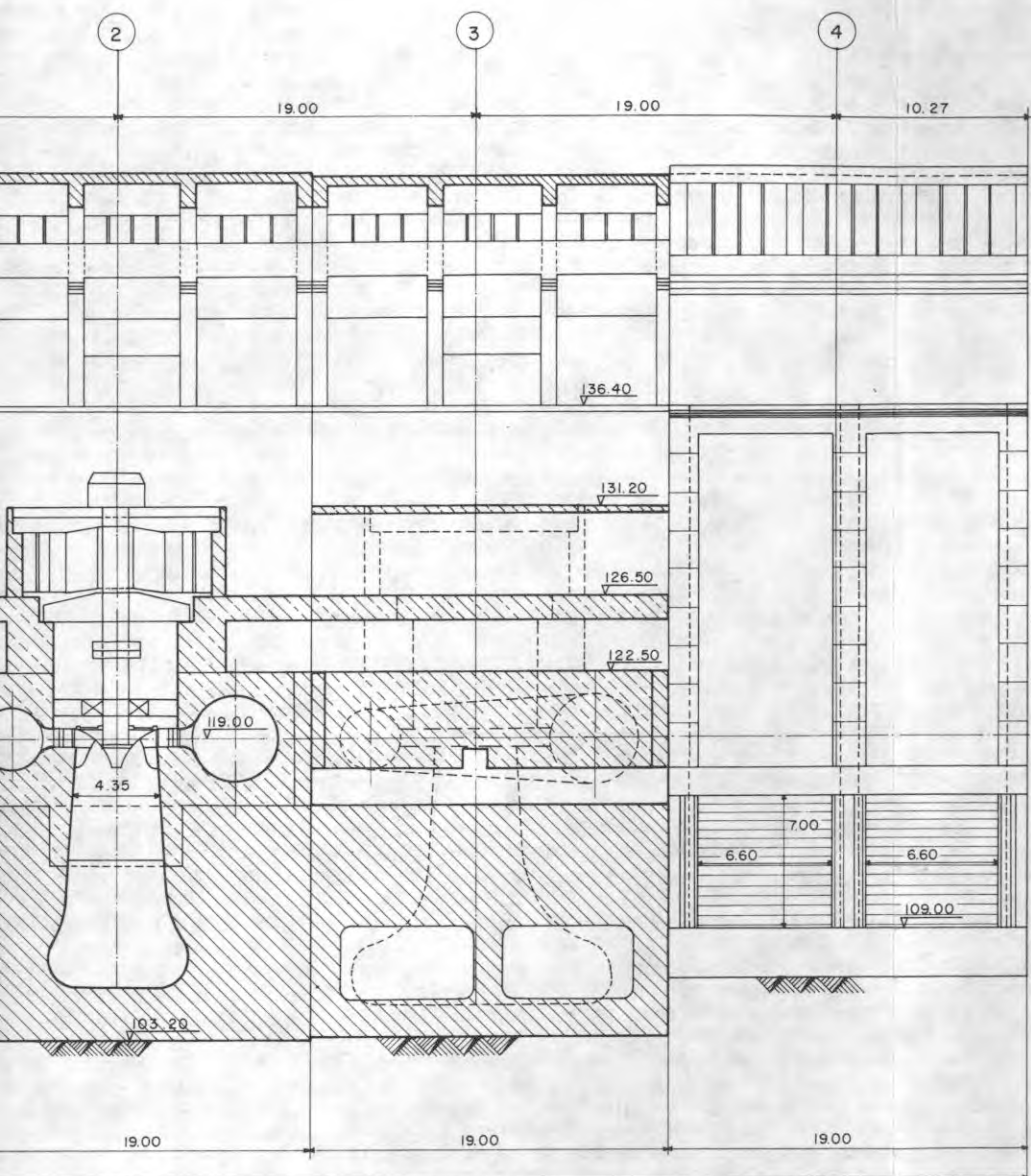



 CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA  
 PROYECTO DEL ALTO SINU  
 URRA II 270  
 CASA DE MAQUINAS  
 CORTES HORIZONTALES (C-C)

CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.	FECHA: Febrero -77 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: UII-G-440	FIGURA: II 5-II
---	---	-----------------------







CORPORACION ELECTRICA DE LA  
COSTA ATLANTICA

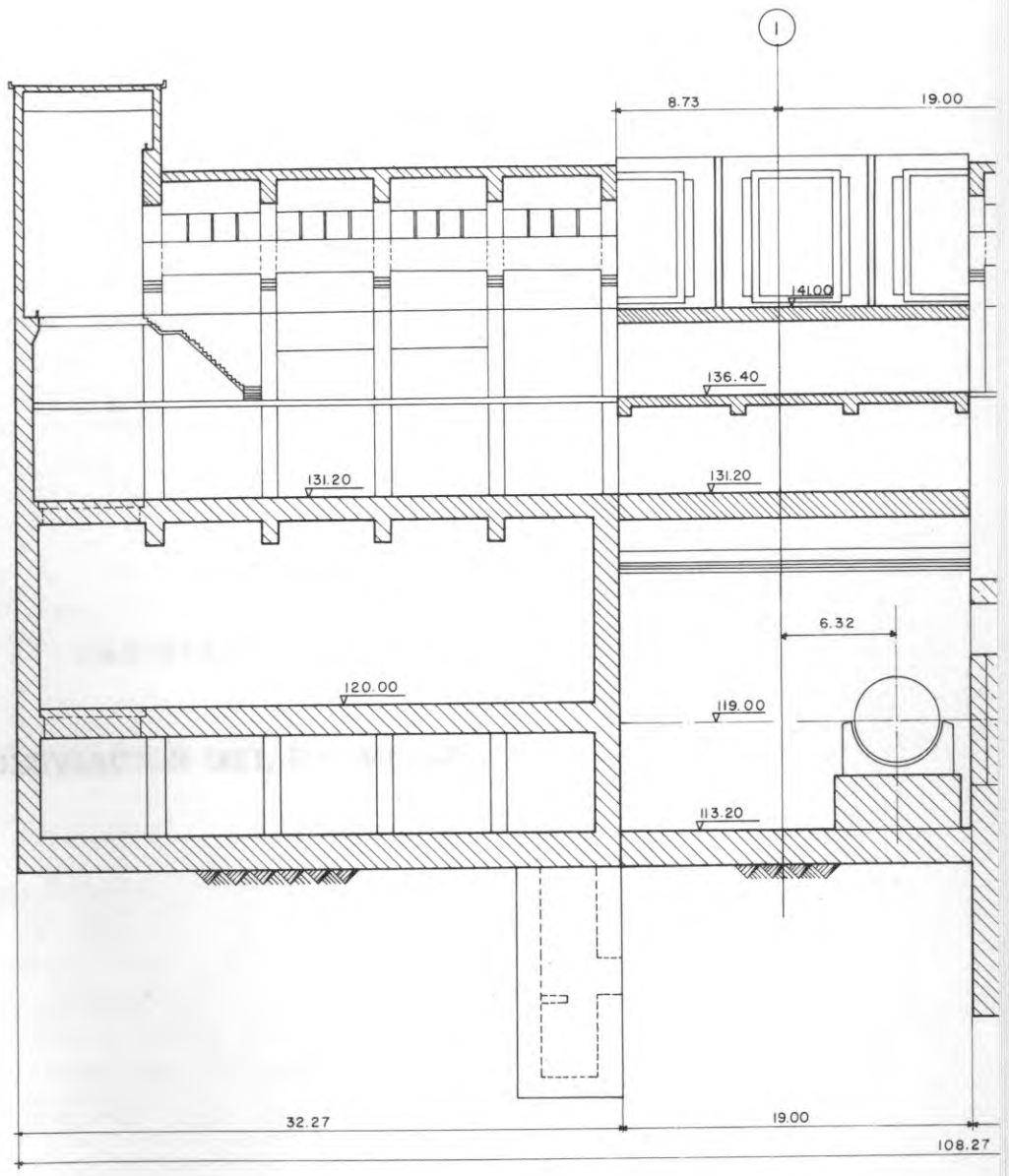
PROYECTO DEL ALTO SINU

URRA II 270  
CASA DE MAQUINAS  
CORTE LONGITUDINAL (D-D)

CONSORCIO ALTO SINU  
INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA  
ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.

FECHA:  
FEBRERO-77  
ESCALA:  
INDICADA  
ARCHIVO:  
U-II-6444

FIGURA:  
II  
5 - 12



CORTE I

CAPITULO 6

DESVIACION DEL RIO VERDE

## CAPITULO 6

### DESVIACION DEL RIO VERDE

#### 6.1. INTRODUCCION

El proyecto del río Verde, sufrió durante el proceso de estudios modificaciones substanciales en su concepción; durante la primera etapa, se analizó la posibilidad de desarrollar el río con dos proyectos de generación, Verde I, Verde II. Durante los estudios de segunda etapa se concluyó que era más conveniente desviar el caudal del Verde al embalse de Urrá II por lo tanto se exploraron sitios adicionales que permitieran esta posibilidad. En esta etapa no se continuaron los estudios de Verde II.

Los estudios del proyecto Verde se encuentran a nivel preliminar, por lo tanto se deberán continuar hasta factibilidad lo antes posible. A continuación se presenta el proceso seguido con el proyecto Verde.

#### 6.2. SITIOS Y PROYECTOS ESTUDIADOS EN LA PRIMERA ETAPA

##### a. Verde I

Las investigaciones revelaron que hay dos posibles sitios para proyectos en el río Verde aguas arriba de su desembocadura en el Sinú. Uno de los sitios permite la utilización de casi toda la cabeza disponible hasta el proyecto Urrá I, mientras que el otro, hace posible la construcción de una presa más alta, creando por lo tanto, mayor cabeza, pero a expensas de algunas pérdidas en la caída disponible entre el sitio y Urrá I.

##### 1. Barro

El sitio inferior (o aguas abajo) topográficamente es adecuado para la construcción de una presa hasta la cota 250 aproximadamente, utilizando toda la caída disponible entre esa cota y la del embalse de Urrá I.

##### 2. Brigado

Este sitio, ubicado unos 5 kilómetros aguas arriba de Barro, permite

tirá la construcción de una presa hasta la cota 300 aproximadamente, pero no aprovecha toda la caída disponible hasta Urrá I. La fracción de la cabeza perdida depende de la cota de embalse que se escoja para el proyecto Urrá I.

b. Verde II

Los reconocimientos aéreos revelaron un posible proyecto sobre el río Verde, bastante arriba de la población de Saiza. Debido a la ausencia de datos hidrológicos básicos, mapas, la inaccesibilidad de la zona y el tamaño de estos desarrollos en cuanto a su posible generación, se ha pospuesto para una fecha futura los estudios de este proyecto.

6.3. DESARROLLO DEL DISEÑO

En esta etapa de los trabajos se continuaron los estudios del río Verde llegando hasta un nivel de prefactibilidad. Será necesario continuarlos lo más rápidamente posible para determinar la viabilidad tanto técnica como económica de este proyecto.

En el Informe Intermedio se estudiaron dos sitios sobre el río Verde; Barro y Brigado; para la localización de un proyecto con generación propia.

Los estudios de geología y suelos efectuados durante esta parte de los trabajos en los dos sitios, hicieron aparecer como más importantes que lo evaluado inicialmente, los problemas de estabilidad de taludes, tanto en los sitios como en los embalses. Los proyectos estudiados estarían localizados en una zona de conglomerado cruzada por varias fallas y con laderas inestables que podrían presentar problemas, tanto durante el llenado como durante la operación de los embalses.

Bajo el punto de vista económico, la energía generada en Verde sería aproximadamente 40% más costosa que la producida por los proyectos de Urrá.

Por las anteriores razones se buscó un sitio con mejores condiciones geológicas para analizar también la posibilidad de desviar el río al embalse de Urrá II.

El sitio seleccionado se encuentra unos 5 kilómetros aguas arriba de la población de Saiza, donde el valle se estrecha considerablemente conformando una zona con características topográficas y geológicas muy favorables. Este sitio es prácticamente el único en el tramo.

El fondo del río en el sitio está unos 100 metros por encima de la cota del embalse de Urrá I, lo cual presenta una desventaja para generación propia, pues únicamente con casa de máquinas subterránea se podría aprovechar toda la caída entre Verde y Urrá I. Esta solución no es posible bajo el punto de vista técnico o económico. Por lo tanto los esquemas de generación propia perderían casi 100 metros de caída.

Los estudios preliminares mostraron que era más ventajoso desviar el río Verde al embalse de Urrá II. En efecto, el costo adicional en Urrá II sería de US\$26 millones y la desviación costaría US\$61 millones para un total de US\$87 millones, generando con una caída bruta (en Urrá II) de 121 metros.

El costo aproximado del proyecto generando sobre sí mismo sería de US\$30 millones para la presa y anexidades y US\$26 millones la casa de máquinas y equipos para un total de US\$56 millones pero para una caída bruta de solo 50 metros. Por lo tanto se podría generar en el sitio solo un 42% de lo que se generaría en Urrá II con un costo del 64%.

Por lo tanto se decidió descartar la posibilidad de generar en el sitio y se optimizó el proyecto de desviación del Verde a Urrá II.

En esta etapa se trabajó esencialmente en la optimización de las obras para el embalse comparadas con las obras de conducción; en efecto para un mismo caudal desviado, el costo de la presa y de sus anexos varía en función inversa del costo de las obras de desviación, cuyo mayor costo es indudablemente el costo del túnel.

Se optimizó el costo del conjunto en función del volumen total de agua que se desvía en un año promedio, lo que corresponde prácticamente, considerando la gran amortiguación del embalse de Urrá II, a la energía generada por las aguas del Verde en Urrá II.

Después de un análisis económico de los costos del proyecto de desviación del río Verde para las distintas cotas de embalse de Urrá II

en función del caudal máximo desviado a Urrá II (embalse a su nivel máximo en Verde y su nivel promedio del mes más lluvioso en Urrá II), se llegó a la conclusión que era rentable dimensionar la presa y la desviación de manera que el caudal desviado correspondiera al caudal medio máximo mensual.

Este caudal es de  $84 \text{ m}^3/\text{s}$  y posiblemente un poco más si se hace la captación de una quebrada importante que cruza el nivel cerca de la mitad de su trayecto; en consecuencia se adoptó el valor de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  para el caudal máximo de desviación.

El costo de la energía producida por las aguas del Verde correspondiente a este caudal máximo de desviación, compara favorablemente el costo de la energía producida por otras fuentes; con el valor del caudal máximo adoptado, se pierde poco de la energía total que puede generar el río Verde en el sitio.

Por otra parte, en etapa todavía preliminar del estudio de la desviación del río Verde, se investigó la posibilidad de captar aguas de hoyas vecinas en la otra vertiente de la Sierra de Abibe. No se incluye esta posibilidad en el presente estudio, lo cual deberá hacerse en el estudio de factibilidad del Verde.

En la Figura II-6-1 se muestran alternativas típicas estudiadas.

Los componentes del proyecto se optimizaron, dentro del nivel de estudios, como se explica más adelante en el siguiente numeral.

#### 6.4. DESCRIPCION DEL ESQUEMA RECOMENDADO PARA FACTIBILIDAD

##### a. Generalidades

A grandes rasgos el esquema propuesto para continuar los estudios de factibilidad está compuesto por una presa de enrocado localizado aguas arriba de la población de Saiza, con un túnel de desviación al embalse de Urrá II.

##### b. Localización

La presa está localizada en un estrecho cañón sobre el río Verde unos 5 kilómetros aguas arriba de la población de Saiza. Los portales de entrada y salida del túnel de desviación a Urrá II están loca

lizados el primero unos 500 metros aguas arriba de la presa y el segundo sobre la Quebrada Maizal, afluente del río Esmeralda.

Para el acceso al sitio del proyecto y los frentes de trabajo debe rán construirse aproximadamente 49 kilómetros de carretera de los cuales, 31 kilómetros comunicarán los proyectos Urrá II y Verde y los 18 kilómetros restantes servirán de acceso al portal de salida del túnel de desviación a Urrá II.

c. Cota de Embalse

La cota de embalse depende del proyecto de Urrá II, del caudal desviado y de las condiciones del túnel. Para Urrá II-270 se optimizó a la 308.

d. Presa

Para determinar la cota máxima del embalse del Verde se diseña ron y optimizaron una serie de presas con sus obras anexas a diferentes cotas y una serie de túneles capaces de desviar, para la cota máxima correspondiente al embalse de Verde y la cota promedia del mes más lluvioso de Urrá II, el caudal determinado de 90 m<sup>3</sup>/s. Con base en los datos de costos obtenidos se escogió el diámetro del túnel y la cota de la presa correspondiente al mínimo del costo global del conjunto para cada alternativa de Urrá II.

En esta etapa de los estudios de la desviación del río Verde se consideró más conveniente diseñar una presa de enrocado similar a la de Urrá II, teniendo en cuenta la proximidad de la zona de conglomerado que suministra la mayor parte del material para núcleo y las buenas características de la roca que se encuentra en las cercanías del sitio.

El inconveniente relativo de este tipo de presa para una obra de toma, como es la del río Verde, es que limita las variaciones de nivel de embalse por problemas de estabilidad, que puede ocasionar un descenso demasiado rápido del nivel de agua, o exige taludes muy tendidos aguas arriba, que aumentan el costo de la obra.

Se recomienda que en la etapa posterior de factibilidad se estudien más detalladamente la estabilidad de los taludes del embalse y la conveniencia de construir en este sitio una presa con pantalla frontal, o de concreto.

Esta solución permitirá una mejor regulación del río Verde por el



aumento de la altura útil del embalse y la posibilidad de variaciones rápidas de nivel, lo que para un mismo volumen promedio desviado a Urrá II, se traduciría en una reducción no depreciable del diámetro del túnel de conexión con Urrá II y por ende de su costo.

La presa seleccionada en esta etapa de estudios es de enrocado con núcleo impermeable de altura máxima de 75 metros, nivel de coronación a la cota 310, una longitud de cresta de 329 metros y ancho de 10 metros. Los taludes de los espaldones aguas arriba y aguas abajo tienen pendientes de 2.0H a 1.0V desde la base hasta la cota 290 y 1.8H a 1.0V desde la cota 290 hasta la cresta.

Las Figuras II-6-2 y II-6-3 muestran la planta y la sección.

e. Desviación durante Construcción

La presa sobre el río Verde se localizó en una curva del río, por lo tanto se ubicó la desviación en la parte convexa de la curva de la margen derecha para reducir su longitud.

La desviación durante la construcción se hará por medio de un túnel localizado en la margen derecha con longitud de 365 metros totalmente revestido en concreto, sección en herradura y diámetro útil de 7.0 metros.

El tramo aguas abajo de 140 metros de longitud servirá como parte integrante del rebosadero en túnel.

Para el caudal de desviación de  $432 \text{ m}^3/\text{s}$ , el túnel funcionará a presión. La ataguía aguas arriba estará a la cota 255 y la de aguas abajo a la cota 245.

El portal de entrada al túnel estará provisto de dos tableros de cierre de  $7.5 \times 4.0$  metros. El cierre definitivo del tramo de desviación se hará con un tapón de concreto.

f. Rebosadero

La creciente máxima en el sitio de la presa se calculó en  $640 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por seguridad en esta etapa no se tomó en cuenta la amortiguación del embalse y el rebosadero se dimensionó para la totalidad de la creciente. Como es únicamente una presa de desviación, se adoptó la solución más económica de un rebosadero utilizando parte de la galería de desviación con un salto de esquí al finalizar el túnel para disipación de la energía.

En todas las alternativas este rebosadero consta de una estructura con dos compuertas radiales, un túnel inclinado revestido, del mismo diámetro que la galería de desviación y de un dissipador de energía en forma de salto de esqui.

Se estudió la posibilidad de utilizar, en lugar de la estructura con dos compuertas, un vertedero fijo alargado, diagonal al eje del túnel inclinado. Se descartó esta alternativa por ser más costosa, debido al incremento del costo de la presa que se debe realizar para acomodar el nivel de agua resultante sobre el vertedero y a la cantidad de excavación necesaria para la gola.

El rebosadero adoptado está localizado sobre el estribo derecho, es un túnel con sección en herradura revestida en concreto, con diámetro útil de 7.0 metros y una inclinación de 50° para empalmar con el túnel de desviación. La estructura de control tiene dos compuertas radiales de 7 x 9 metros. Para descargar el caudal del río se ha previsto un dissipador de energía del tipo salto de esqui.

La descarga pico de diseño para el rebosadero se calculó en 640m<sup>3</sup> por segundo. La cresta del rebosadero está en la cota 299.00, el canal de aproximación a la elevación de 296.00, la cresta del rebo sadero se puede clasificar como tipo Ogee.

El túnel del rebosadero se diseñó con una pendiente mayor que la crítica de tal manera que la descarga de diseño no llene la sección del túnel.

Al final del canal de salida se encuentra un dissipador de energía tipo deflector de chorro.

En las Figuras II-6-2 y II-6-3 se muestran detalles del rebosadero.

g. Desviación al Embalse de Urrá II

El trayecto más corto del embalse de Verde al embalse de Urrá II pasa por una zona de conglomerado (unidad Ja) que se extiende entre la parte inferior de los cursos de los ríos Verde y Esmeralda, y desemboca en una quebrada afluente del Esmeralda en un sitio con numerosos deslizamientos. El túnel en esta zona exigía un revestimiento reforzado continuo que aumentaba su costo y la dificultad de construcción.

Por lo tanto, se escogió un trazado un poco más largo, de unos 10.5 kilómetros que en el estado actual de las investigaciones parece ofrecer buenas características por estar localizado en areniscas, chert y caliza y desemboca en una zona estable en Urrá II.

Debido a las características físico-químicas de la roca en esta roca sobre todo de la arenisca con matriz feldespática que puede meteorizarse rápidamente con los cambios de humedad, se planteó el perfil del túnel de la manera que este siempre sumergido, aun cuando el nivel de embalse de Urrá II esté en su mínimo; su construcción se podría hacer desde dos frentes: el primero desde la desembocadura en la Quebrada Maizal, afluente del río Esmeralda y el segundo desde la bocatoma en el embalse del río Verde.

Para facilitar el drenaje durante construcción, especialmente considerando una quebrada en la mitad de su trayecto que forma una depresión sobre el túnel, se diseñó con pendientes suaves que suben hacia el centro desde cada una de las bocas.

Con la información de suelos con que se cuenta en esta etapa, no parece necesario revestir el túnel en todo su trayecto; los estimativos de costos se hicieron con toda la solera revestida, parte en concreto reforzado y parte con concreto neumático considerando sectores soportados por arcos de acero o pernos de roca.

El diseño presentado en esta etapa de estudios es un túnel de 10.4 kilómetros de longitud con sección en herradura y diámetro efectivo de 6.30 metros.

La construcción del túnel se acometerá por dos frentes: el de Verde y el de la Quebrada Maizal ambas con pendientes de 1 por mil subiendo hacia el centro.

El funcionamiento del túnel será a presión y permanecerá sumergido aún en las épocas en que se presenten niveles mínimos en los embalses.

El túnel, en forma de herradura, se diseñó como conducto a presión para la descarga de diseño. Los procedimientos de diseño seguidos están de acuerdo con los descritos en el Capítulo 3.

Para la inspección del túnel se han proyectado dos pozos verticales próximos a la estructura de toma el uno y al portal de salida el otro. La estructura de toma está provista además de una reja de pro

tección y tablonés deslizantes; tablonés similares deberán proveer se para el portal de salida con el fin de evitar el paso del agua de los embalses al túnel y poder realizar así la inspección del mismo.

La cota inferior de la estructura de toma se adoptó al nivel 280.0 , razonablemente superior al nivel muerto de embalse, limitando a la vez los efectos del descenso rápido del embalse a los 25 metros superiores de la presa. La bocatoma se comunica con el túnel por un pozo vertical ubicado inmediatamente después de las compuertas deslizantes.

En la Figura II-6-2 se muestran aspectos del túnel.

h. Caudal Desviado a Urrá II

La capacidad para desviación de las obras proyectadas y la optimización económica entre las variables, altura de presa y diámetro del túnel, fueron determinados en función de un caudal de diseño, equivalente de 90 m<sup>3</sup>/s. Estas obras pueden proveer casi un 100% de regulación para el caudal medio mensual de 63 m<sup>3</sup>/s en periodos de precipitación normal no excepcionales.

El embalse formado por las obras proyectadas inundará un área de 254 hectáreas con un volumen total de 64.5 millones de m<sup>3</sup> a la cota máxima normal de operación de 308 metros; el volumen muerto del embalse será de 15.3 millones de m<sup>3</sup> en el cual un poco más de la mitad será de sedimentos. El volumen útil para desviar el caudal del río Verde será de 49.2 millones de m<sup>3</sup>.

i. Instalaciones Accesorias

Las instalaciones accesorias necesarias para la construcción del proyecto consisten esencialmente en la línea de transmisión que suministraría energía durante el período de construcción y los campamentos para contratistas e interventoría de CORELCA con sus obras de infraestructura complementarias, los cuales podrán instalarse en la población de Saiza.

6.5.

## RESUMEN GENERAL DE LAS CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

A continuación se resumen las características del proyecto recomendado para factibilidad. Dado el nivel de estudios estas cifras son apenas preliminares y podrán variar en las etapas posteriores de estudio.

### Accesos Requeridos

- Acceso desde Urrá II al frente No. 1 en Verde : 31 km
- Acceso al frente No. 2 en Quebrada Maizal : 18 km

### Presa

- Tipo : En enrocado con núcleo impermeable de arcilla
- Taludes aguas arriba y aguas abajo : 2.0H:1.0V de la base hasta la cota 290  
1.8H:1.0V de la cota 290 hasta la cresta
- Altura máxima : 75.00 m
- Cota de la cresta : 310.00 msnm
- Borde Libre : 2.00 m
- Longitud de cresta : 329.00 m
- Volumen de relleno : 1.865.390 m<sup>3</sup>

### Túnel de Desviación para Construcción

- Localización : Margen derecha
- Longitud : 365 m
- Sección : Herradura
- Revestimiento : Concreto reforzado
- Diámetro útil : 7.0 m
- Pendientes : 0.1% hasta intersección con rebosadero y 2% en adelante
- Caudal afluente de diseño : 432 m<sup>3</sup>/s
- Funcionamiento para caudal de diseño : Presión

- Nivel ataguía aguas arriba : 255.00 msnm
- Nivel ataguía aguas abajo : 245.00 msnm

### Rebosadero

- Localización : Estribo derecho
- Tipo : En túnel
- Pendientes : 50° de inclinación hasta intersección con el túnel de desviación y 2% en adelante.
- Sección : Herradura
- Revestimiento : Concreto reforzado
- Diámetro útil : 7.0 m
- Caudal de Diseño : 640 m<sup>3</sup>/s
- Control de entrada : Dos compuertas radiales de 9.0 m de alto y 7.0 m de ancho
- Disipador de energía : Salto de esquí

### Túnel de Desviación a Urrá II

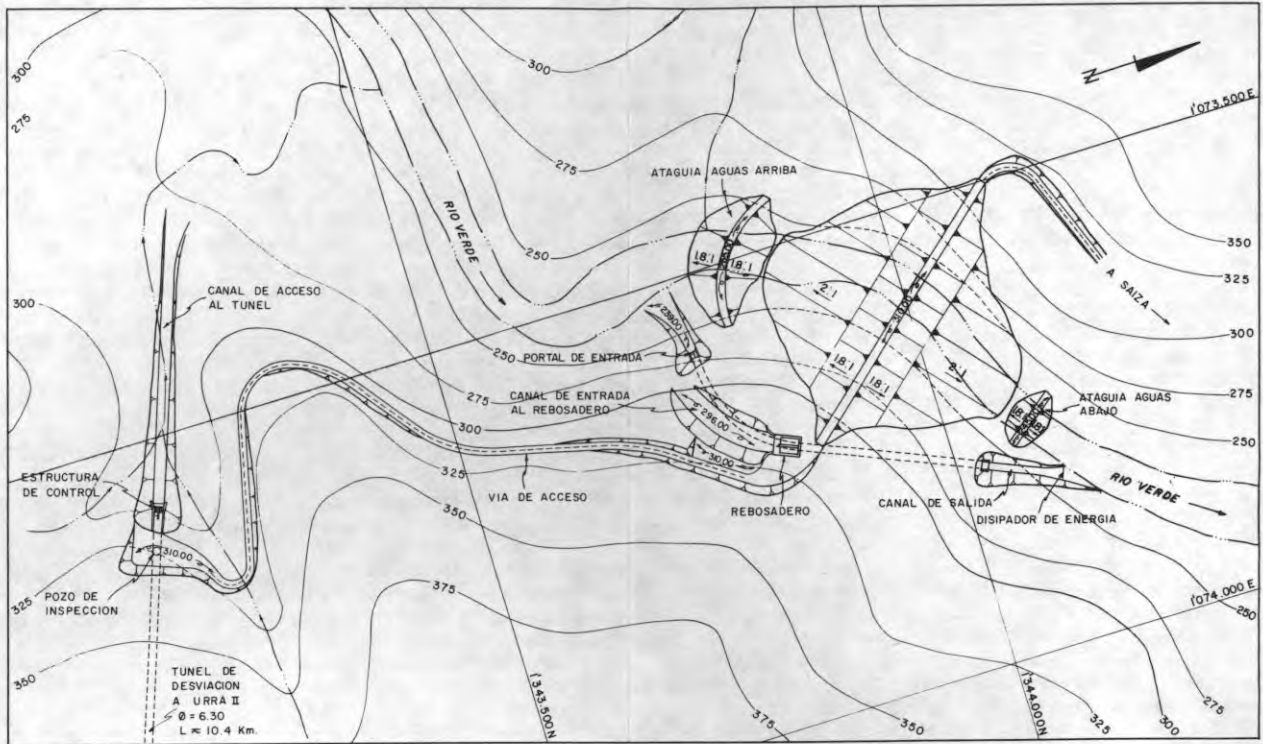
- Longitud : 10.4 km
- Sección : Herradura
- Diámetro útil : 6.30 m
- Revestimiento : 10% en concreto reforzado , y 50% en concreto neumático. Solera en concreto
- Caudal de diseño : 90 m<sup>3</sup>/s
- Cabeza con embalses llenos : 38 m
- Funcionamiento : A presión
- Pendientes de construcción : 1 por mil del centro hacia los portales de entrada y salida
- Control : Compuertas deslizantes en ambos portales
- Facilidades de Inspección : Pozos verticales de 6.0 m de diámetro y profundidades de 53 metros en el portal de entrada y 16 metros en el portal de salida

### Embalse

- Area inundada : 254 ha
- Volumen total : 64.5 millones de m<sup>3</sup>

- Volumen muerto : 15.3 millones de m<sup>3</sup>
- Volumen útil al nivel máximo normal de operación : 49.2 millones de m<sup>3</sup>
- Nivel máximo de operación : 308.00 msnm
- Nivel medio de operación : 283.00 msnm

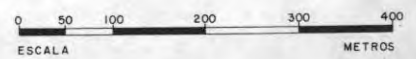
Costo de Construcción : US\$ 61.067.000



DESVIACION VERDE  
CRESTA 310

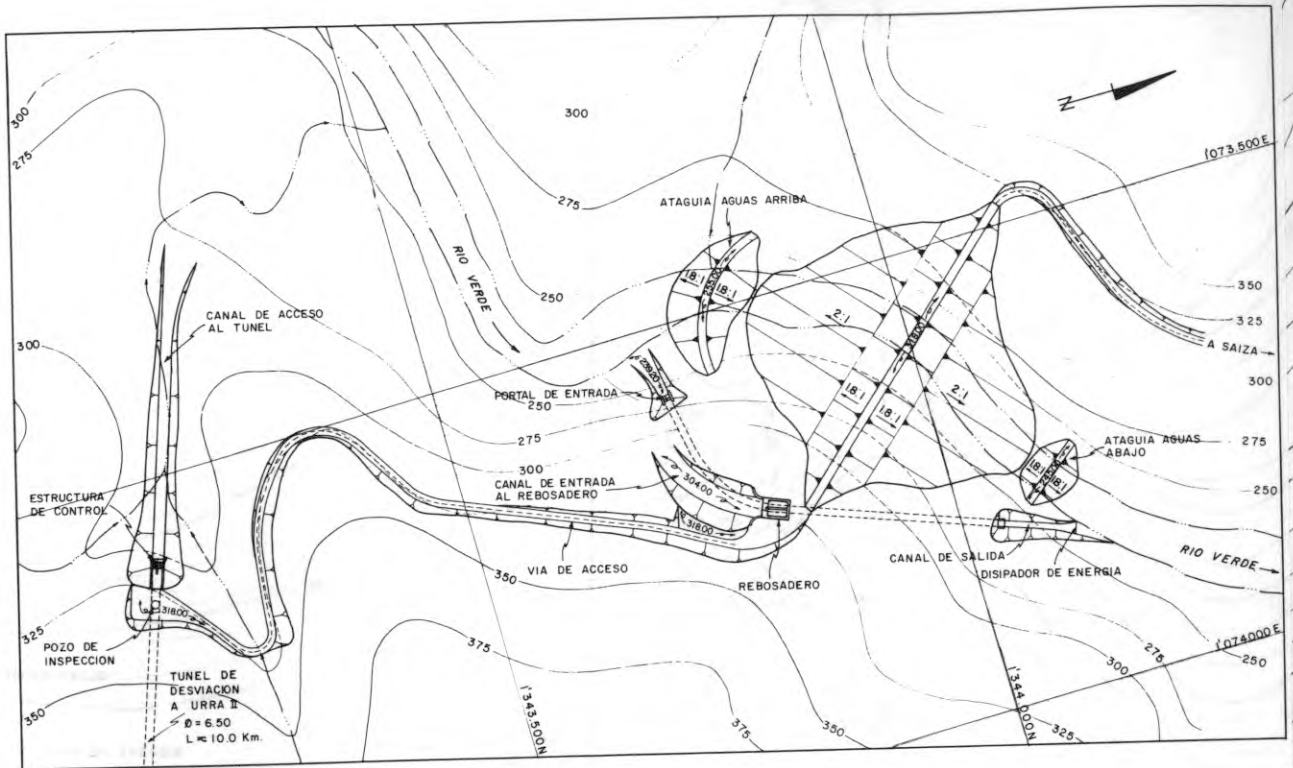
NOTA:

LAS ALTERNATIVAS PARA DESVIACION DE VERDE CON CRESTA A LAS COTAS 318, 310 Y 304 CORRESPONDEN A LOS PROYECTOS DE URRÁ II CON NIVELES DE EMBALSE A LAS COTAS 285, 270 Y 250 RESPECTIVAMENTE.

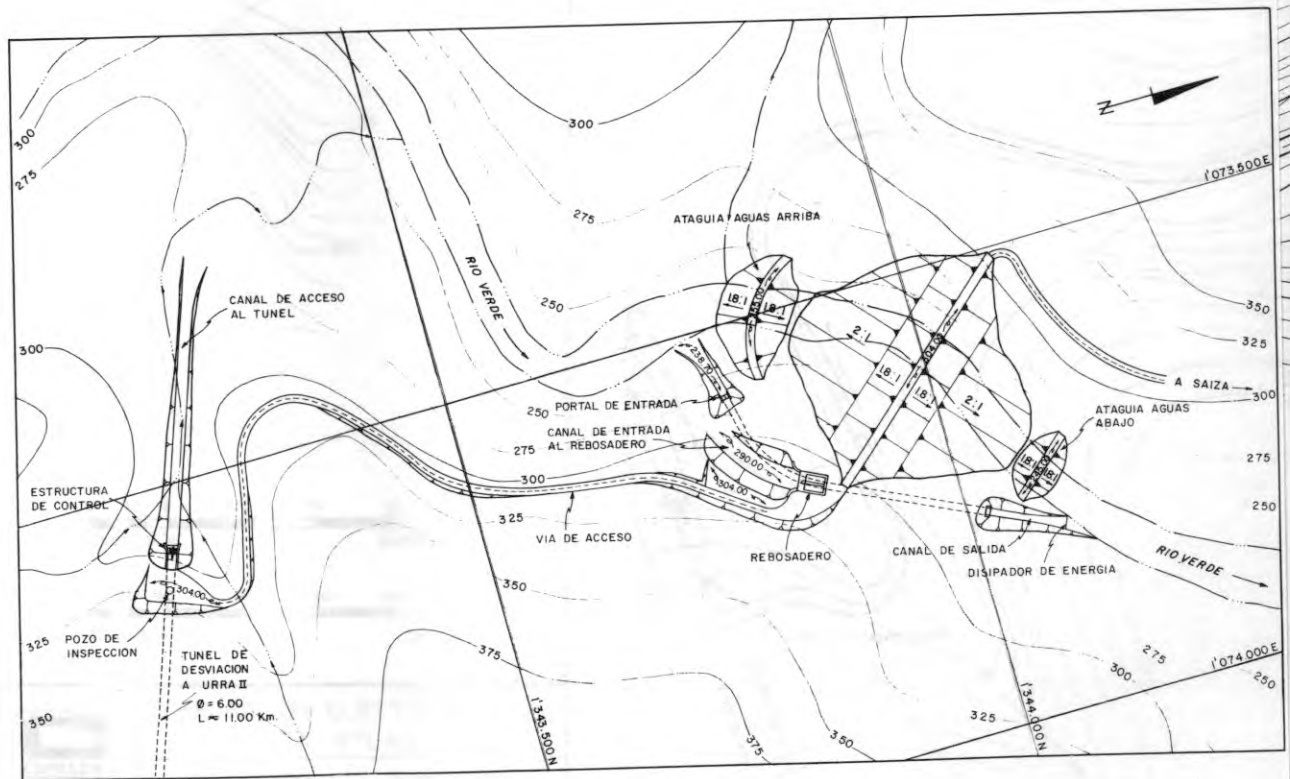


 CORELCA	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
DESVIACION VERDE ALTERNATIVAS ESTUDIADAS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC	FECHA: Diciembre 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: V-E-234	FIGURA <b>II</b> <b>6-1</b>

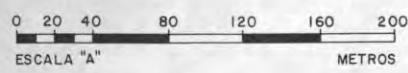
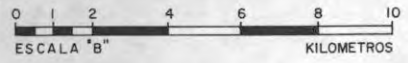
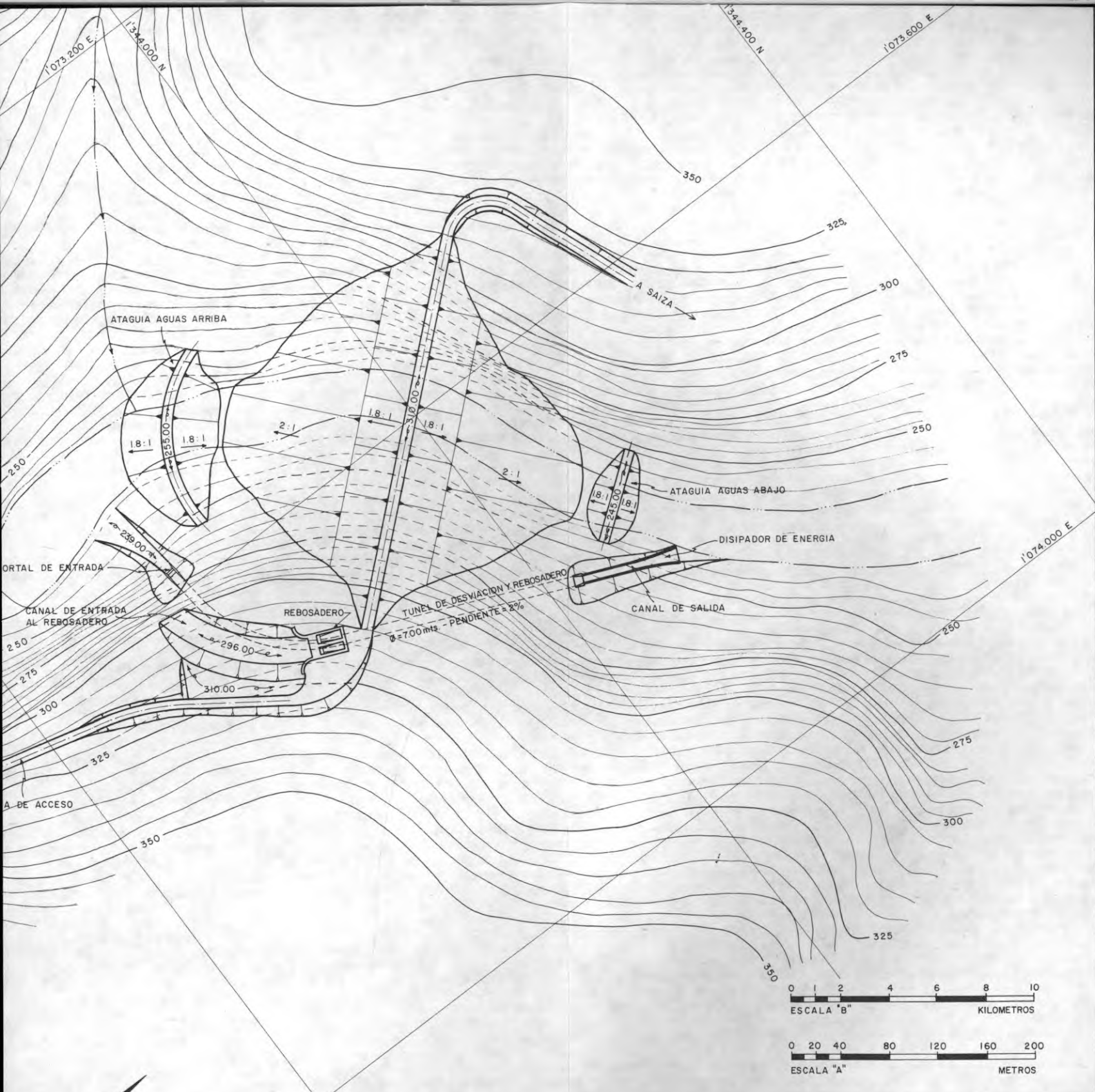




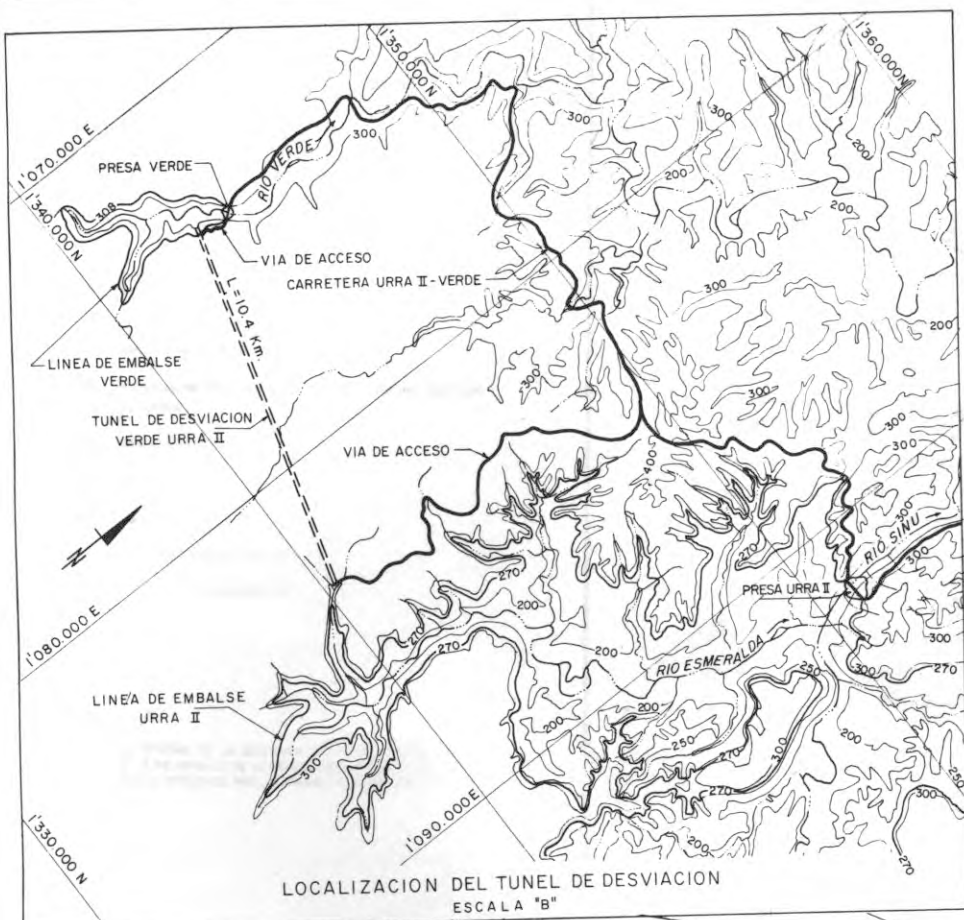
DESVIACION VERDE  
CRESTA 318

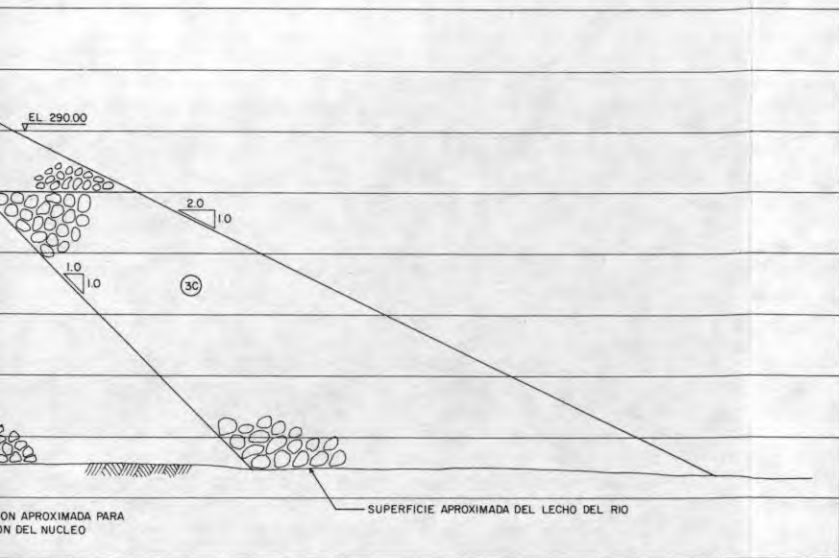


DESVIACION VERDE  
CRESTA 304



	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
DESVIACION VERDE 308 PLANTA GENERAL		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre - 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: V-E - 256
		FIGURA <b>II</b> 6-2

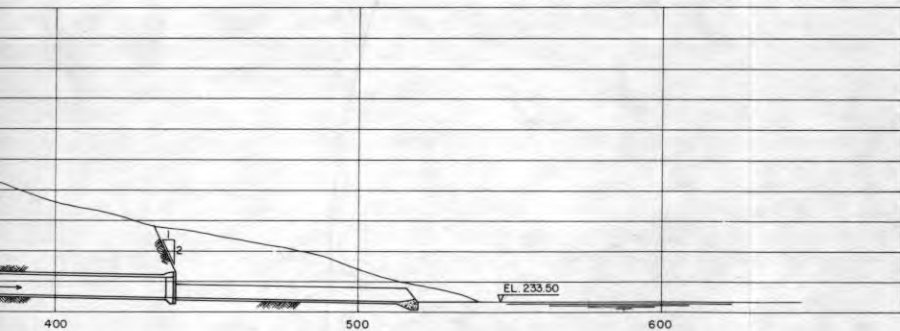




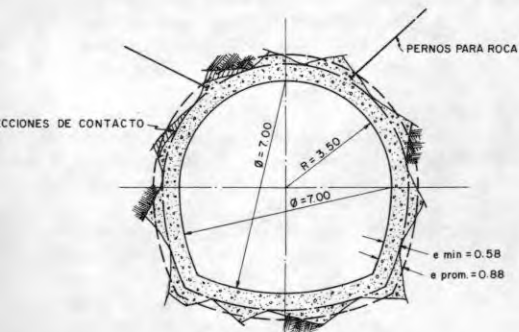
- (1A) NUCLEO IMPERMEABLE - ARCILLA
- (1B) MATERIAL IMPERMEABLE - ARENA LIMO ARCILLOSA CON ALGO DE GRAVA
- (2A) ARENA CON GRAVA
- (2B) GRAVAS CON ARENA
- (3A) ENROCADO - TAMAÑO MAX 12"
- (3B) ENROCADO - TAMAÑO MAX 36"
- (3C) ENROCADO - TAMAÑO MAX 72"

NOTA:

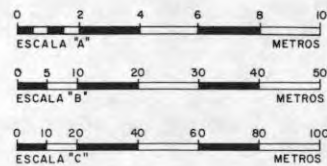
EL DISEÑO DE LA SECCION SE ADOPTO SIMILAR A LA DE URRÁ II DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES FOTOGEOLOGICOS.



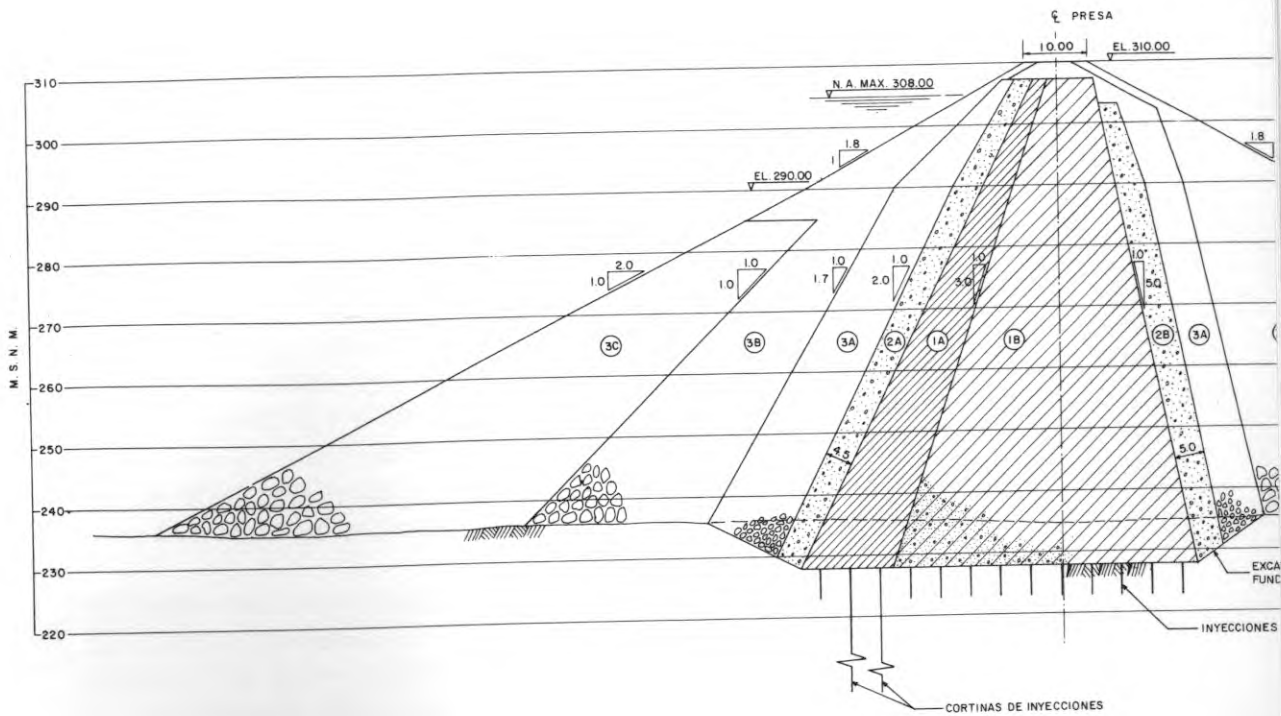
ON Y REBOSADERO



CORTE B-B  
ESCALA "A"



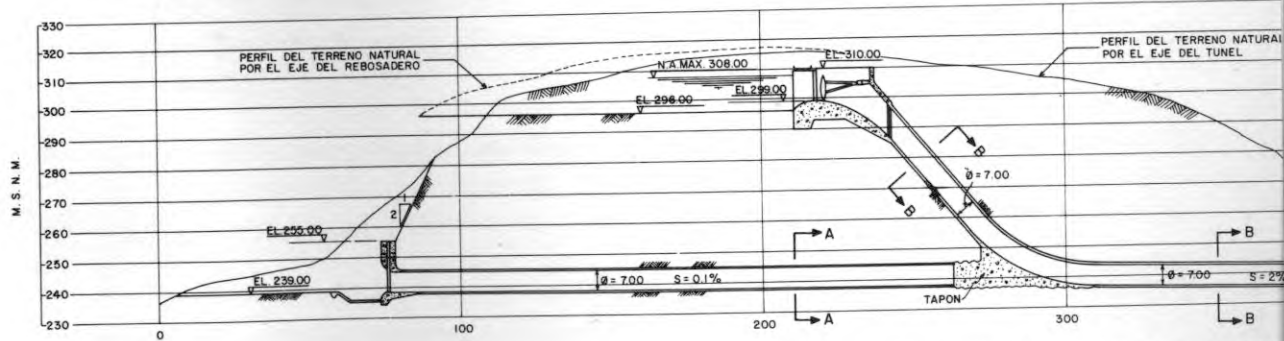
	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
DESVIACION VERDE 308 CORTES TÍPICOS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre-76 ESCALAS: INDICADAS ARCHIVO: V-E-297
		FIGURA <b>II</b> 6 - 3



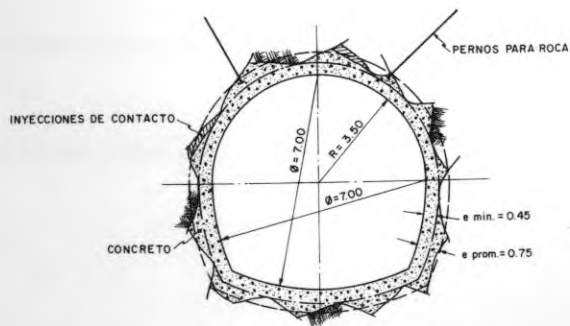
SECCION MAXIMA DE LA PRESA  
DESVIACION VERDE EL. 310.00

ESCALA "B"

CAPITULO  
DESVIACION DEL RIO S.R.T.



CORTE LONGITUDINAL DEL TUNEL DE DESV.  
ESCALA "C"



CORTE A-A  
ESCALA "A"

INTRODUCCION

En este estudio se  
tiene de presente  
datos obtenidos en  
proyecto de muy  
traza muy importante  
fidedad la más provechosa

El valle de los rios  
Derecho y el separación  
finca de la agricultura  
la máxima de 1000 hectáreas

El río San Jorge  
mediente mod  
estable hasta en los

CA PITULO 7

DESVIACION DEL RIO SAN JORGE

En el punto de  
del río Mutalé  
de Toca-Fica.

La desviación  
con un mínimo  
Derecho y un canal abierto

La presa estudiada, sobre la  
del material algal por encima  
fuerza de resistencia convencional  
de asegurar las presiones  
de la estructura y el río  
debe ser en el momento de  
de la obra.

Se debe la posibilidad de

## CAPITULO 7

### DESVIACION DEL RIO SAN JORGE

#### 7.1. INTRODUCCION

En esta etapa de estudios se analizó en forma preliminar la posibi lidad de desviar el río San Jorge al embalse de Urrá II. Los resul tados obtenidos muestran que bajo el punto de vista económico el proyecto es muy favorable para el desarrollo conjunto, por lo tan to es muy importante, continuar los estudios hasta nivel de factibi lidad lo más pronto posible.

El valle de los ríos Sinú, Manso y Tigre que forma el embalse de Urrá II está separado del valle del río San Jorge por un filo discon tinuo de la serranía San Jerónimo, llamado Alto del Carmen conco ta máxima de 1200 metros sobre el nivel del mar.

El río San Jorge, en la zona, corre por un valle en forma de V con pendientes moderadas que se amplía a un valle aluvial plano el cual continúa hasta su desembocadura en el río Magdalena.

El valle marca la zona límite para la ubicación de una presa de des viación, la cual se ubicó un kilómetro aguas abajo de la desembo cadura del río Mutatá a unos 80 kilómetros aguas arriba de la po blación de Pica-Pica.

El filo divisorio entre los dos valles presenta una depresión natural con cota mínima aproximada 325 que permite desviar el San Jorge a Urrá II por canal abierto en las cotas altas o por túnel en las bajas.

La presa estudiada, sería de tierra con núcleo vertical y espaldo nes de material aluvial proveniente del valle del San Jorge. En esta etapa se consideró conveniente incluir el costo de un rebosadero propio, capaz de absorber las crecientes del San Jorge sin tener en cuenta la desviación a Urrá II, el cual, dada la inaccesibilidad al sitio se diseñó sin compuertas, de descarga libre con salto de esqui para disipar la energía.

No se analizó la posibilidad de generar energía en el sitio pues la

caída disponible es menos de la mitad que las caídas combinadas de Urrá I y Urrá II.

## 7.2. DESARROLLO DEL DISEÑO

Como se explicó anteriormente es más económico desviar las aguas del río San Jorge hacia el embalse de Urrá II, que generar en el sitio; por lo tanto en esta etapa los estudios se limitaron esencialmente a optimizar las obras de desviación del río San Jorge al embalse de Urrá; se analizaron alternativas correspondientes a alturas en Urrá II a las cotas 285, 270 y 250.

Este proyecto está todavía en etapa preliminar de estudio pues la disponibilidad de información geológica, de topografía y de suelos es inferior a la de los demás sitios; por lo tanto, en etapa posterior de estudios, una vez que se tenga información suficiente sobre la zona, se podrán requerir modificaciones en el diseño de la presa, en su localización y variaciones en la conducción hacia el embalse de Urrá II. En la Figura II-7-1 se muestran alternativas típicas estudiadas.

En esta etapa se investigó la posibilidad de añadir a los aportes del San Jorge los afluentes tributarios que desembocan aguas abajo de la presa y los de pequeñas hoyas vecinas. Sin embargo, esta posibilidad no se incluye en este estudio por ser todavía muy preliminar pero deberá ser estudiada durante la etapa de factibilidad.

Los componentes del proyecto se optimizaron, dentro del nivel de estudios alcanzado, como se explica más adelante en el siguiente numeral.

## 7.3. DESCRIPCION DEL ESQUEMA RECOMENDADO PARA FACTIBILIDAD

### a. Generalidades

A grandes rasgos el esquema propuesto está formado por una presa sobre el río San Jorge a relativa corta distancia del embalse de Urrá II y una desviación por túnel a éste.

### b. Localización

El sitio del proyecto está localizado sobre el río San Jorge en una



angostura, unos 80 kilómetros aguas arriba de la población de Pica Pica (Departamento de Córdoba) y 1 kilómetro aguas abajo de la confluencia del río Mutatá.

Esta abrupta región forma parte de las estribaciones de la cordillera occidental entre las serranías de San Jerónimo y Ayapel.

El río en este trayecto no tiene playas notables y el cañón presenta forma de U amplia con pendientes relativamente suaves.

Aguas abajo de este sitio, aproximadamente a 1 kilómetro, se encuentra un valle aluvial bastante amplio, el cual continúa hasta la desembocadura del San Jorge en el río Cauca. Entre el estribo izquierdo y el valle del Manso se presenta un filo discontinuo perteneciente a la serranía de San Jerónimo, que tiene como cota máxima 1.200 metros sobre el nivel del mar, correspondiente al denominado Alto del Carmen, y sirve de divisoria entre los dos embalses.

c. Embalse

La cota del embalse la fija el proyecto de Urrá II y las condiciones de desviación. Para la configuración propuesta el embalse tiene su nivel máximo a la cota 273.

A esta altura su volumen máximo será de 540 millones de  $m^3$ . El volumen muerto, considerando el volumen de sedimentos como un porcentaje de este sería de 205 millones de  $m^3$ . En conclusión, el volumen útil para desviar el caudal del río San Jorge sería de 325 millones de  $m^3$ .

Debido a que no existen datos de los materiales en suspensión del río San Jorge el volumen de sedimentos fué determinado por relación directa de áreas de drenaje correspondientes a los sitios del proyecto Urrá I y San Jorge.

d. Presa

El eje de presa se localizó inmediatamente después de la confluencia del San Jorge con el río Mutatá para las alternativas de niveles de embalse más bajo; en este sitio se recogen los aportes del río Mutatá y el valle es relativamente angosto y apto topográficamente para una presa hasta la cota 275. Para las alternativas correspon

dientes, a los niveles de embalse de Urrá II-270 y 285, se consideró preferible localizar el eje de presa del San Jorge, en un sitio unos 800 metros aguas abajo de este sitio que permite mayores alturas pero, siendo más ancho, requiere mayores volúmenes. La ausencia de levantamientos topográficos terrestres y de investigación de suelos hacen más conveniente el cálculo en este sitio con costos más conservadores, teniendo en cuenta la etapa de estudio.

Es muy factible que una vez verificada la topografía y hechas las investigaciones de suelos necesarios se pueda localizar la alternativa seleccionada en el sitio aguas arriba, reduciendo por lo tanto el costo de la presa y aumentando la rentabilidad del proyecto.

Para la configuración propuesta se seleccionó una presa de áluviones con núcleo impermeable central y taludes de 1H a 2V. La cota de la cresta es la 276, con ancho de 10.0 metros y una altura máxima de 72 m. En las Figuras II-7-2 y II-7-3 se muestra la planta y la sección de la presa.

e. Desviación durante Construcción

Se diseñó una desviación provisional por túnel sobre la margen que parece la más adecuada topográficamente. El caudal de desviación corresponde a la creciente multiestacional con período de recurrencia de 25 años. La localización exacta del túnel se deberá definir en etapa posterior con datos provenientes de perforaciones.

El túnel seleccionado tiene un diámetro de 6 m y una longitud de 455 m, con una pendiente del 1%, revestido en concreto con soportes de acero y pernos de roca, permitirá pasar la creciente de diseño de 297 m<sup>3</sup>/s.

El portal de entrada tiene para su manejo una compuerta de cierre de 6 metros por 7 metros accionada desde una plataforma a la cota 225. La estructura de entrada es una transición entre la sección rectangular y la sección en herradura del túnel.

El canal de entrada al túnel tiene una longitud de 60 metros y un ancho de 10 metros; a su vez, el canal de salida tiene una longitud de 155 metros y ancho de 10 metros.

En la Figura II-7-3 se muestran detalles de las estructuras.

f. Rebosadero

Considerando que el sitio de presa está bastante alejado de Urrá II, se prefirió diseñar un rebosadero de flujo libre que no necesite normalmente mantenimiento y vigilancia continuo. El caudal de diseño se calculó proporcionalmente al área de drenaje del San Jorge con respecto al área de drenaje de Urrá I y no se descontó, por seguridad en su dimensionamiento, el caudal desviado a Urrá II.

Este rebosadero consta de un vertedero en forma de arco de círculo con un canal convergente y un dissipador de energía en salto de esquí.

En las alternativas más altas, con conexión a Urrá II por canal, el rebosadero no es absolutamente necesario, pero se le conservó para mayor seguridad en caso de que se presenten problemas de estabilidad que pudieran acarrear un riesgo para la conexión.

Para el proyecto escogido el rebosadero está localizado en la margen izquierda del río, a un lado de la presa, de cresta tipo Ogee, que descarga libremente en un canal rectangular revestido en concreto.

Este canal es convergente en una longitud de 282 metros y constante en 40 metros. La sección convergente varía entre 70 metros en la cresta hasta 25 metros al llegar a la sección constante. El canal termina en un salto de esquí.

Inmediatamente antes del vertedero, se diseñó un canal de aproximación a la cota 272.40.

El rebosadero está diseñado para una creciente de  $440 \text{ m}^3/\text{s}$  al nivel máximo excepcional de embalse que corresponde a la cota 274.50; esta cifra, por seguridad adicional no tiene en cuenta el caudal que puede pasar a Urrá II.

La Figura II-7-2 muestra el rebosadero.

g. Desviación a Urrá II

El proyecto de San Jorge se localizó en la zona más cercana a Urrá II. En la alternativa correspondiente al nivel más alto del embalse de Urrá II y según los datos topográficos que se tienen, pare

ce más económico desviar por medio de un canal abierto entre los dos embalses. Para las alternativas bajas, teniendo en cuenta que la parte baja del filo divisorio se encuentra entre quebradas, parece más rentable comunicar los dos embalses por un túnel corto de menos de un kilómetro con canales de acceso. Con esta longitud, la diferencia de nivel necesaria entre los dos embalses para que pase al caudal medio máximo mensual del San Jorge, es pequeña y no requiere un realce costoso de la presa. En caso de un canal abierto la diferencia de nivel entre los dos embalses es despreciable.

Para la alternativa escogida se diseñó un túnel para un caudal de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  con un diámetro de 4.60 metros y una longitud aproximada de 650 metros. Para estas condiciones es necesario una altura de energía estimada en 3 metros.

El túnel se consideró completamente revestido en concreto, de sección en herradura y con pendiente constante de 0.4%.

La estructura de entrada consta de un canal a la cota 248 y de la bocatoma propiamente dicha a la cota 248 para limitar los descensos del embalse a 25 metros, este canal tiene una longitud de 100 metros y un ancho de 8 metros.

La compuerta de cierre de dimensiones 5 por 6 metros es accionada desde una plataforma.

Para el canal de salida es aprovechada una pequeña quebrada, este canal tiene un ancho de 8 metros y un largo de 90 metros.

#### h. Instalaciones accesorias

Las obras complementarias necesarias para la ejecución del proyecto consisten en la construcción de campamentos para CORELCA, contratistas e interventoría con sus respectivas instalaciones de acueducto, alcantarillado y la línea de transmisión de 40 kilómetros de longitud con voltaje de 115 kv que suministrará la energía necesaria para la construcción del proyecto.

7.4.

## RESUMEN GENERAL DE LAS CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

A continuación se resumen las características del proyecto recomendado para factibilidad. Dado el nivel de estudios estas cifras son a penas preliminares y podrán variar en las etapas posteriores de estudio.

Localización : 80 kilómetros aguas arriba de Pica-Pica, 40 km de Juan José.  
Accesos Requeridos : Carreteable desde Pica-Pica, o desde Urrá II o desde Juan José.

### Presa

- Tipo : De aluviones con núcleo impermeable de arcilla.  
- Taludes aguas arriba y aguas abajo : 2.0H : 1.0V  
- Altura máxima : 72.00 m  
- Longitud de cresta : 875 m  
- Volumen de terraplén : 3'801.600 m<sup>3</sup>  
- Cota de cresta : 276.00 msnm  
- Ancho de corona : 10.0 m  
- Ancho máximo de base : 300.00 m

### Embalse

- Nivel máximo normal : 273 msnm  
- Volumen total : 540 millones de m<sup>3</sup>  
- Volumen útil : 335 millones de m<sup>3</sup>  
- Volumen muerto : 205 millones de m<sup>3</sup>

### Rebosadero

- Creciente de diseño : 440 m<sup>3</sup>/s  
- Tipo : Gola de flujo libre incontrolado y canal convergente  
- Longitud : 322.00 m  
- Ancho : 70.00 m en la cresta y 25.00 a la salida del salto de esquí  
- Cabeza de energía : 2.06 m

### Desviación...

- Caudal de diseño	: 297 m <sup>3</sup> /s
- Longitud	: 455 m
- Tipo	: Túnel
- Diámetro interior	: 6.00 m
- Pendiente	: 1%
- Sección	: Herradura
- Revestimiento	: Concreto reforzado en toda su longitud

### Compuertas

- Tipo	: Tablones
- Dimensiones	: 6 x 7 m
- Caudal afluente de diseño con ataguía a la cota 225.00	: 292 m <sup>3</sup> /s

### Túnel de Desviación a Urrá II

- Longitud aproximada	: 650 m
- Caudal de diseño	: 70 m <sup>3</sup> /s
- Diámetro interior	: 4.60 m
- Pendiente	: 0.4%
- Sección	: Herradura
- Revestimiento	: Concreto reforzado en toda su longitud
- Longitud canal de entrada	: 100 m
- Longitud canal de salida	: 90 m

### Compuertas

- Tipo	: Tablón
- Dimensiones	: 5 x 6

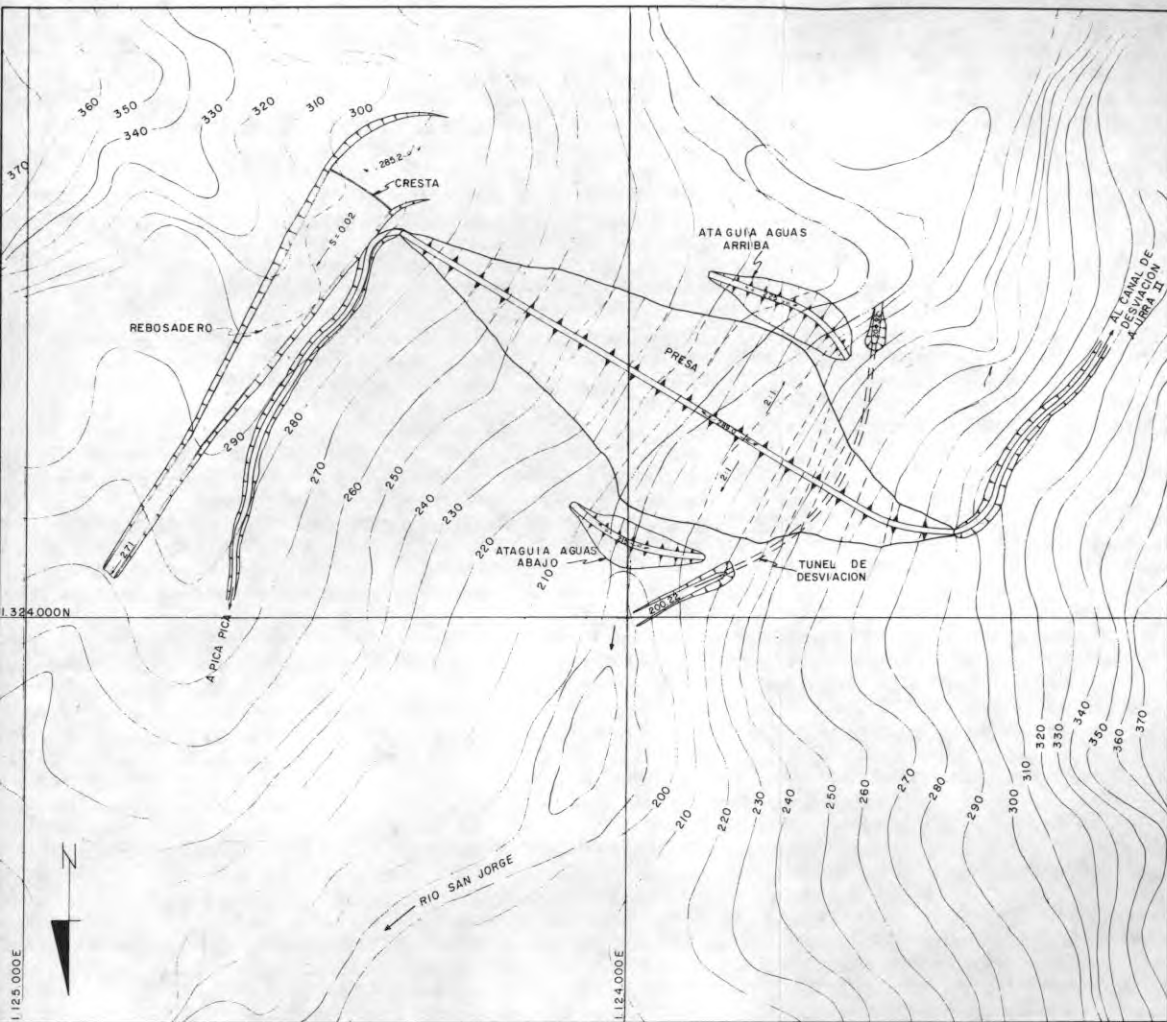
### Líneas de Transmisión

- Longitud	: 40 km desde Urrá II
- Voltaje	: 115 kv

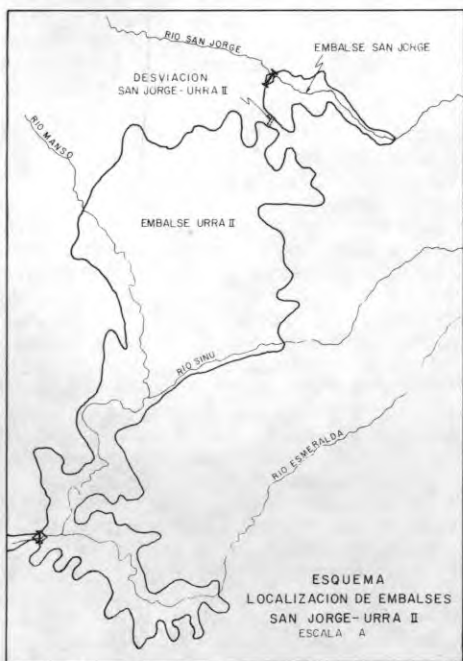
### Carreteras

Vías de acceso	: 80 km desde Pica-Pica, 40 km desde Juan José
Costo de Construcción	: US\$ 39.225.000

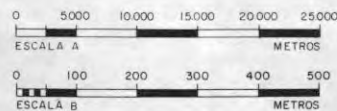
Dadas las magníficas condiciones de la desviación y su influencia sobre el conjunto Urrá I-Urrá II, se deberán acometer los estudios de factibilidad lo más rápidamente posible.



DESVIACION SAN JORGE  
CRESTA 289  
ESCALA B

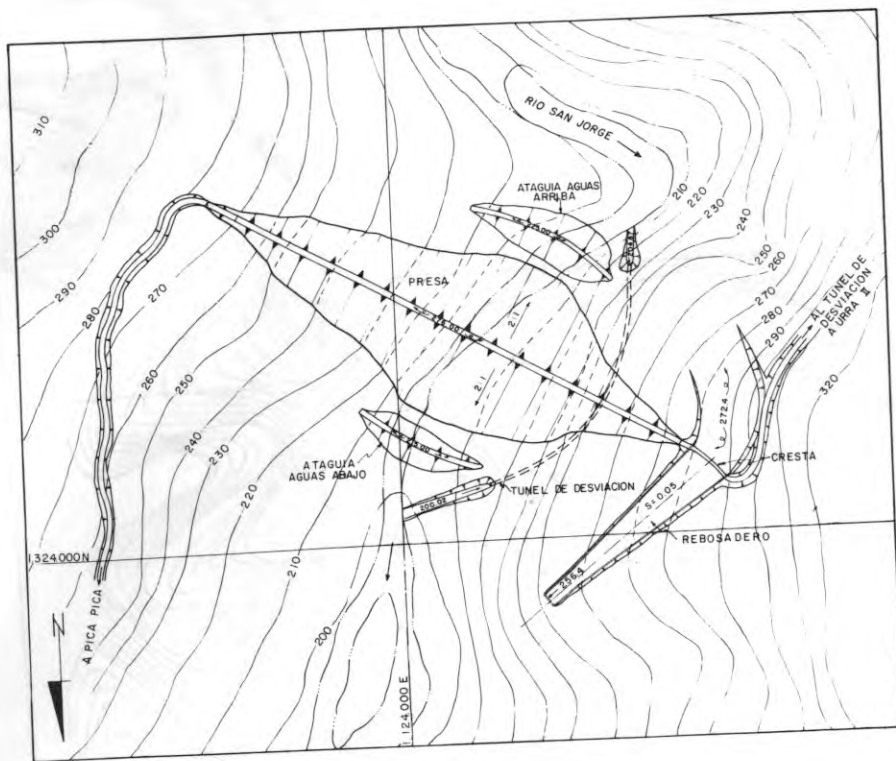


NOTA  
LAS ALTERNATIVAS PARA DESVIACION DE SAN JORGE CON CRESTA A LAS COTAS 289, 276, 258 CORRESPONDEN A LOS PROYECTOS DE URRÁ II CON NIVELES DE EMBALSE A LAS COTAS 285, 270 Y 250 RESPECTIVAMENTE.

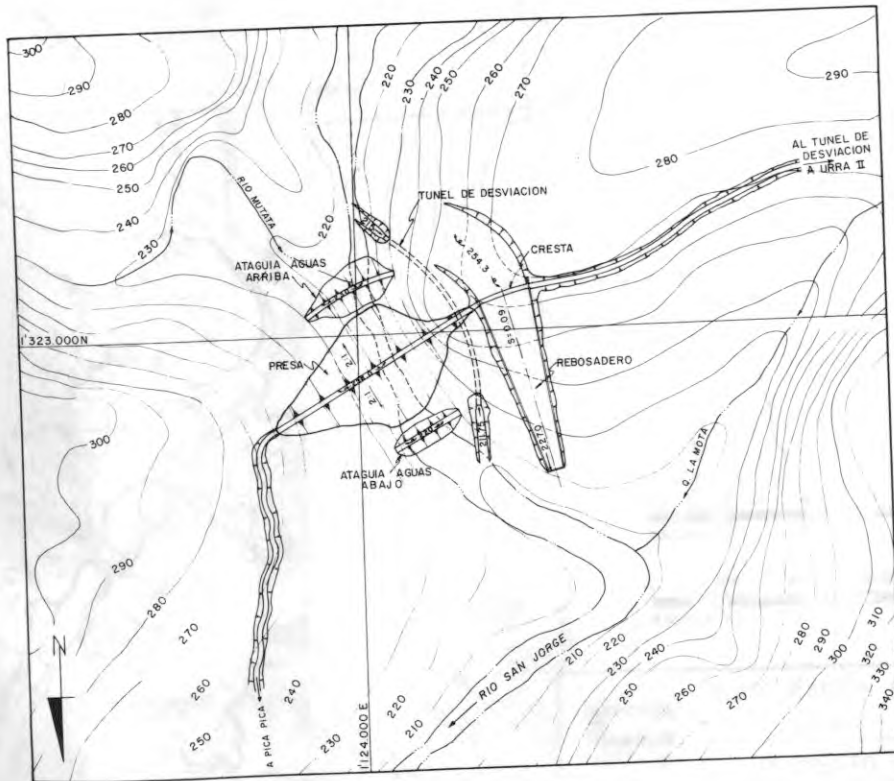


	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
DESVIACION SAN JORGE ALTERNATIVAS ESTUDIADAS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T MAIN INTERNATIONAL INC	FECHA: DICIEMBRE 76 ESCALA: INDICADA ARCHIVO: B-E-238	FIGURA: <b>II</b> <b>7-1</b>

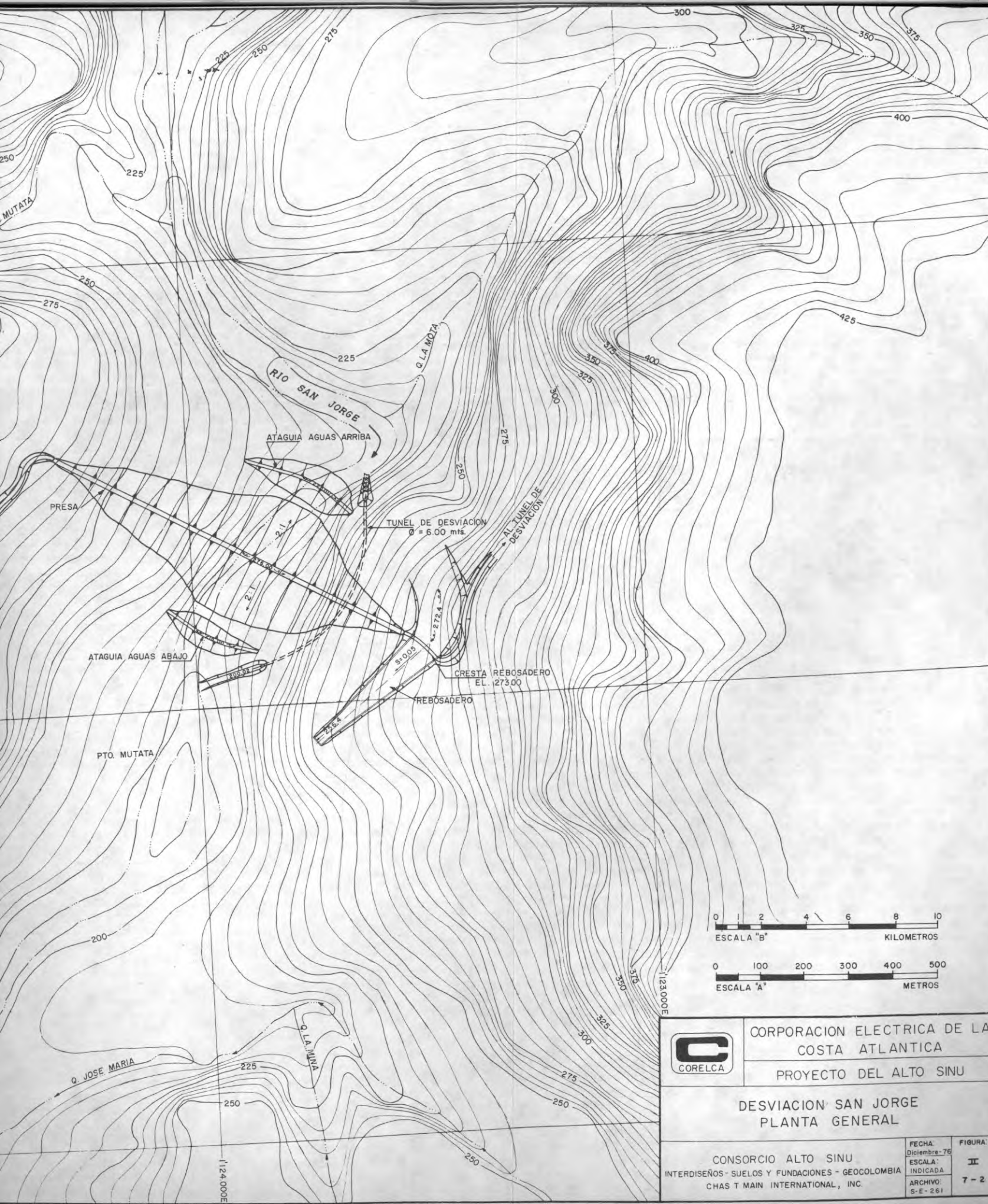




DESVIACION SAN JORGE  
CRESTA 276  
ESCALA B



DESVIACION SAN JORGE  
CRESTA 258  
ESCALA B



0 1 2 4 6 8 10  
 ESCALA "B"  
 KILOMETROS

0 100 200 300 400 500  
 ESCALA "A"  
 METROS



CORPORACION ELECTRICA DE LA  
 COSTA ATLANTICA

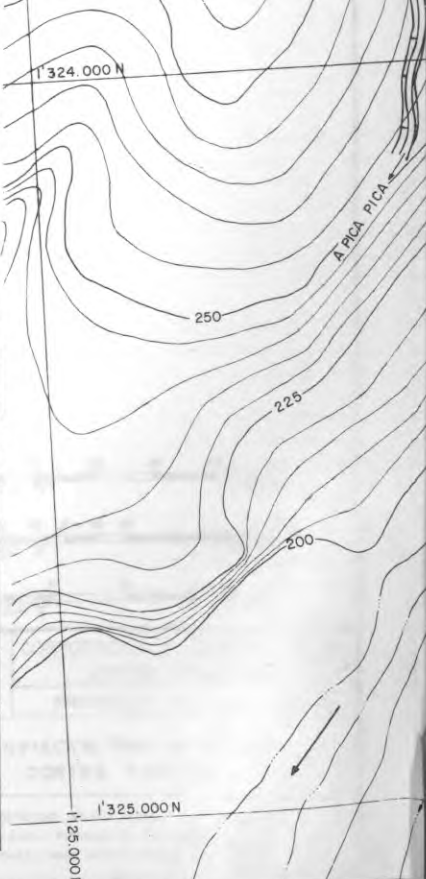
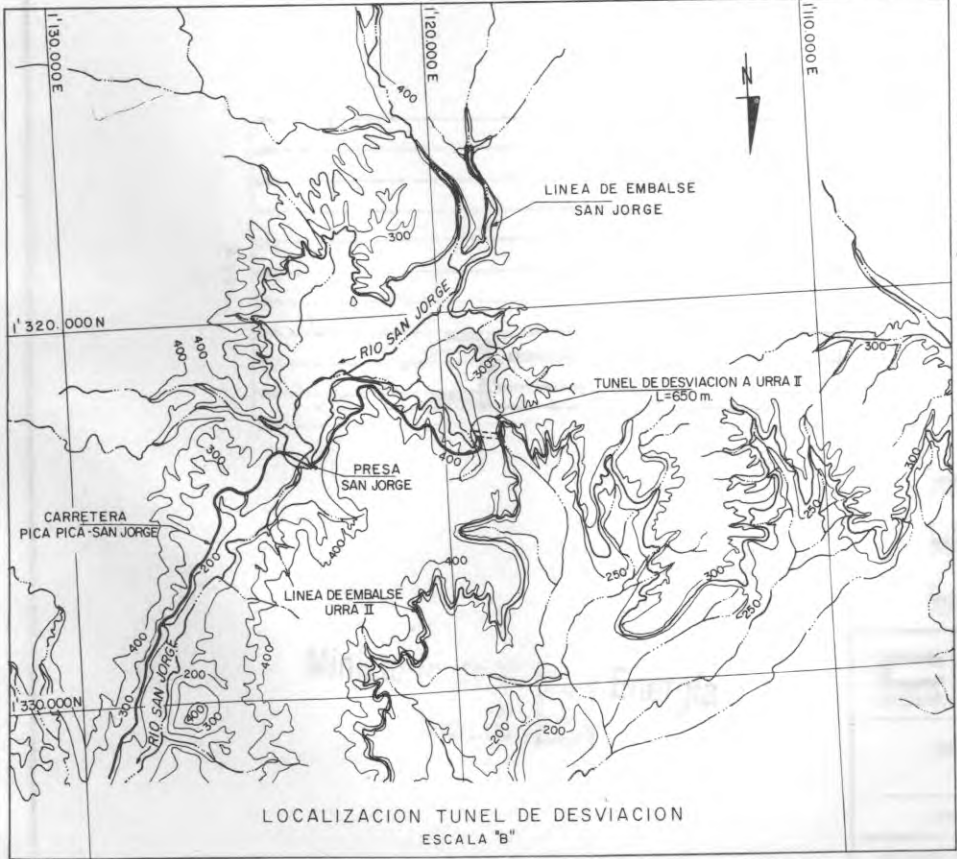
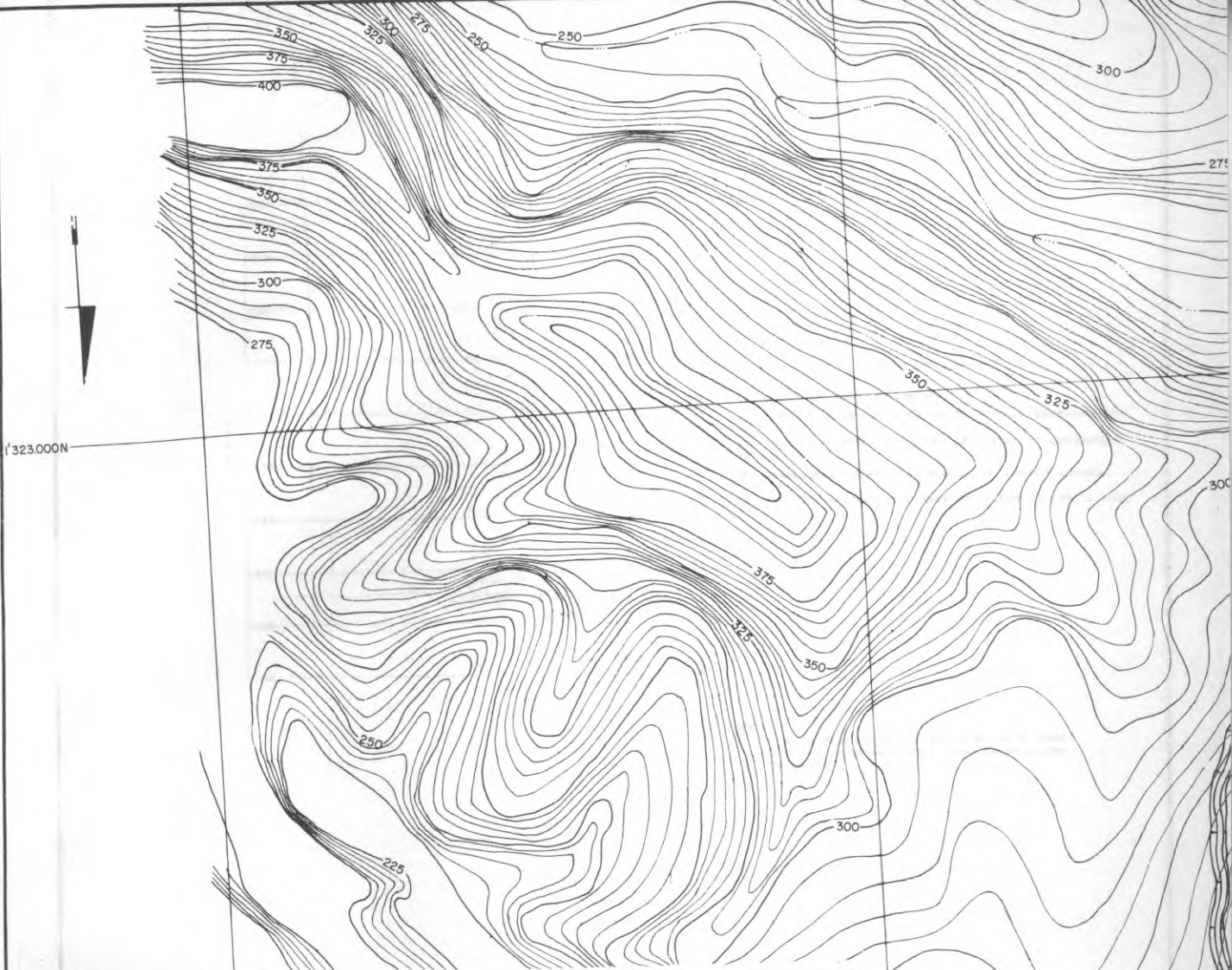
PROYECTO DEL ALTO SINU

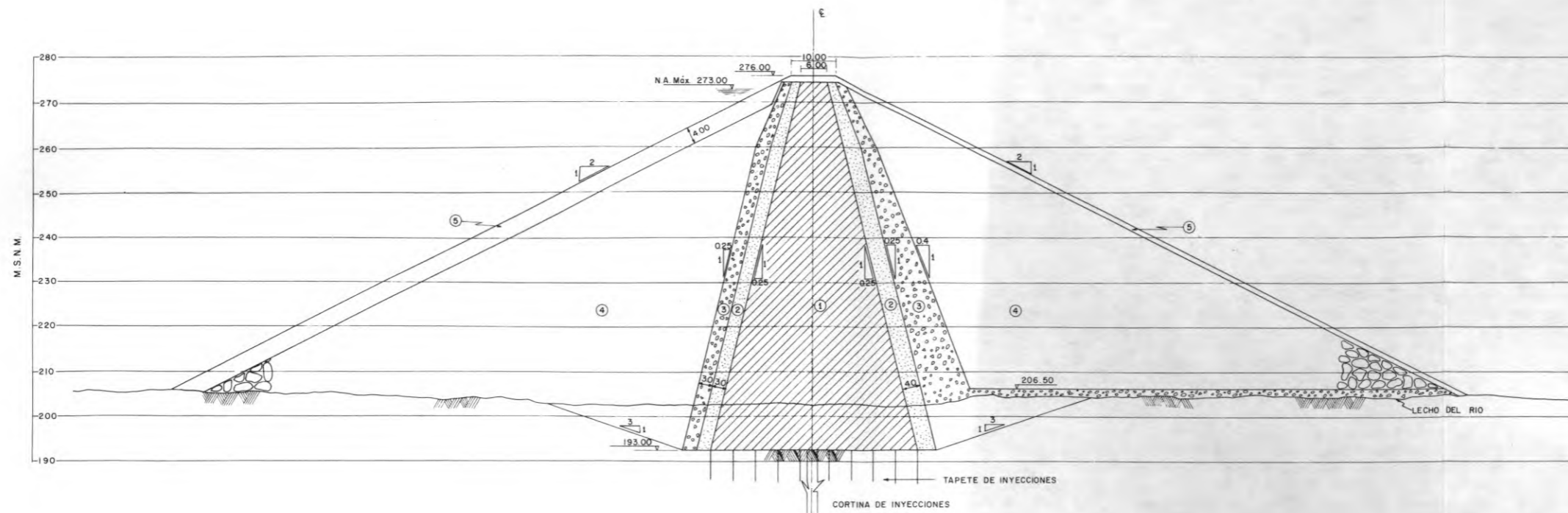
DESVIACION SAN JORGE  
 PLANTA GENERAL

CONSORCIO ALTO SINU  
 INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA  
 CHAS T MAIN INTERNATIONAL, INC.

FECHA:  
 Diciembre-76  
 ESCALA:  
 INDICADA  
 ARCHIVO:  
 S-E-261

FIGURA:  
 II  
 7-2

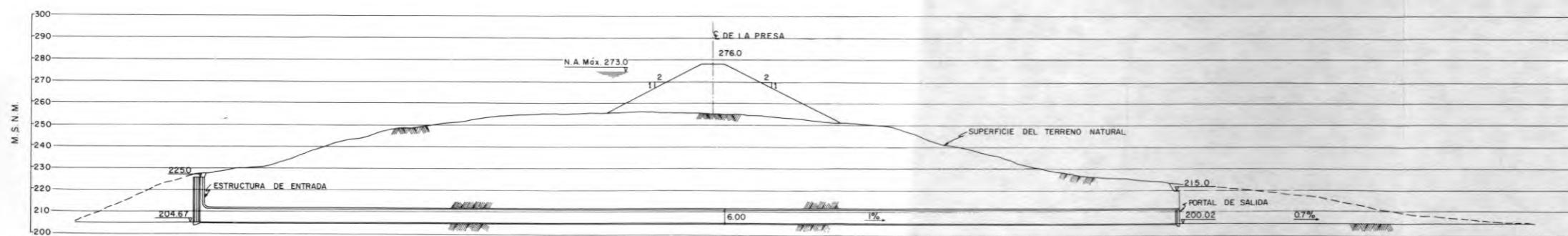




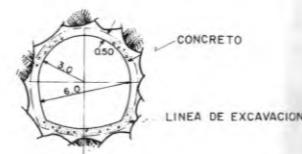
- CONVENCIONES
- ① NUCLEO DE ARCILLAS LIMOSAS
  - ② ZONA DE TRANSICION Y FILTRO DE ARENAS SELECCIONADAS
  - ③ ZONA DE TRANSICION Y FILTRO DE GRAVAS SELECCIONADAS
  - ④ ESPALDONES EN MATERIAL ALUVIAL DE GRAVA Y ARENAS.
  - ⑤ ENROCADO SELECCIONADO PARA PROTECCION DE LOS TALUDES

NOTA:  
El diseño de la sección se adoptó similar a la de URRÁ I de acuerdo con los resultados de los estudios preliminares fotogeológicos.

SECCION MAXIMA  
SAN JORGE ELEV 276  
ESCALA "A"



CORTE LONGITUDINAL DEL TUNEL DE DESVIACION  
ESCALA "B"



SECCION TIPICA  
ESCALA "C"

0 10 20 30 40 50  
ESCALA "A" METROS

0 10 20 30 40 50 100  
ESCALA "B" METROS

0 5 10 15 20  
ESCALA "C" METROS

Ministerio de Minas  
BIBLIOTECA

Energía

	CORPORACION ELECTRICA DE LA COSTA ATLANTICA	
	PROYECTO DEL ALTO SINU	
DESVIACION SAN JORGE - 273 CORTES TÍPICOS		
CONSORCIO ALTO SINU INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA ASESORES: CHAS T. MAIN INTERNATIONAL INC.		FECHA: Diciembre-76 ESCALAS: INDICADAS ARCHIVO: S-E-282
		FIGURA II 7 - 3

Desarrollo hidroeléctrico del Alto Sinú. Estudio de factibilidad Volumen II. Esquemas de proyectos, criterios de diseño, datos y diseños hidráulicos Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica

333.914 C822d v.2 Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01004401  
BIBLIOTECA