EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DE BOGOTA

DESARROLLO HIDROELECTRICO DE LOS RIOS NEGRO Y HUMEA

INFORME DE FACTIBILIDAD

VOLUMEN I

INFORME GENERAL

CONSORCIO

GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. - INTEGRAL LTDA.

BOGOTA, JULIO 1982

EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DE BOGOTA

DESARROLLO HIDROELECTRICO DE LOS RIOS NEGRO Y HUMEA

INFORME DE FACTIBILIDAD

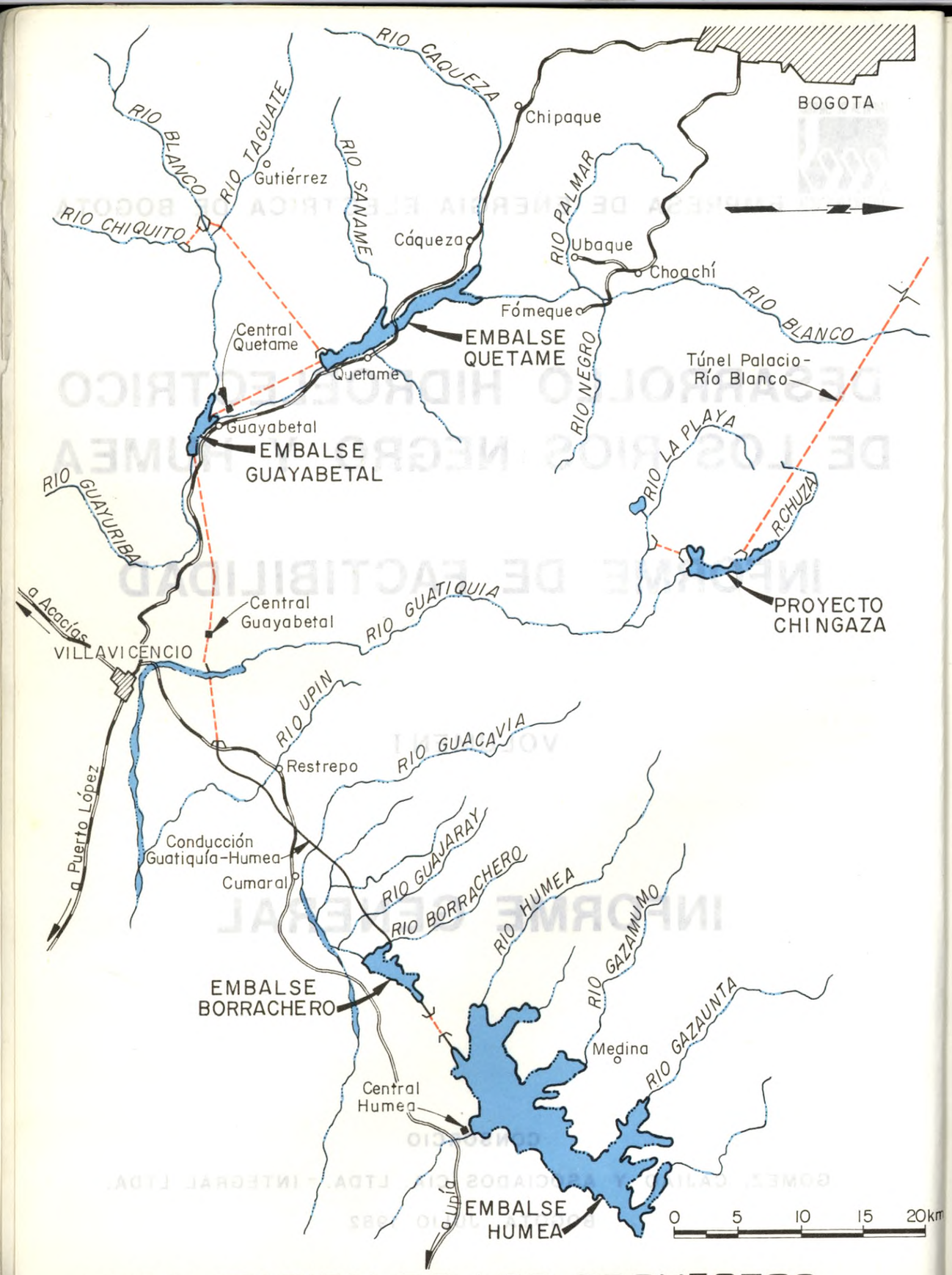
VOLUMEN I

INFORME GENERAL

CONSORCIO

GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. - INTEGRAL LTDA.

BOGOTA, JULIO 1982



LOCALIZACION DE LOS PROYECTOS

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS PROYECTOS

PROYECTO QUETAME

DATOS GENERALES

Capacidad Instalada : 420 MW. Caudal de Diseño : 110 m3/s. Salto de Diseño : 444. Area de la Hoya : 1 325 km2. Precipitación Media : 1 430 mm. Caudal Medio del Río : 39 m3/s. Caudal Medio del Río Blanco : 33 m3/s. Generación Media Anual : 1 664 GWh-año. Costo del Proyecto : US $ 372 millones.

EMBALSE

Area : 895 Ha. Volumen Total : 450 Mm3. Volumen Util Inicial : 345 Mm3. Nivel Máximo : 1 428. Nivel Mínimo : 1 365.

PRESA Y REBOSADERO

Presa de Enrocado con Núcleo. Volumen : 9.25 Mm3. Altura : 188 m. Rebosadero : en 2 túneles de 13.3 m. Capacidad : 7 500 m3/s.

CONDUCCION

Túnel de Carga de 9 100 m de longitud y 6.3 de diámetro. Pozo de Presión de 450 m y Sector Blindado de 120 m. Túnel de Fuga de 640 m.

CASA DE MAQUINAS

Tipo : Subterránea. 4 Turbinas Pelton de 109 MW y 4 Generadores Sincrónicos de 110 MVA.

DESVIACION DEL RIO BLANCO

Caudal Medio Desviado : 14.9 m3/s. Longitud del Túnel : 18.6 km. Presas de Captación en los Ríos Blanco, Chiquito y Taguaté.

PROYECTO GUAYABETAL

DATOS GENERALES

Capacidad Instalada : 430 MW. Caudal de Diseño : 125 m3/s. Salto de Diseño : 409 m. Area de la Hoya : 2 462 km2. Precipitación Media Anual: 2 000 mm. Caudal Medio del Río 100 m3/s. Generación Media Anual : 2 497 GWh-año. Costo del Proyecto:US$ 332 millones.

EMBALSE

Area : 90 Ha. Volumen Total 20 Mm3. Volumen Util : 0. Nivel Máximo : 935. Nivel Mínimo : 935.

PRESA Y REBOSADERO

Presa de Gravedad en Concreto. Altura : 97 m. Volumen : 0.26 Mm3. Rebosadero : Incorporado sobre la Presa. Capacidad : 10 600 m3/s.

CONDUCCION

Túnel de Carga de 13 800 m y 7.4 m de diámetro. Pozo Blindado de 380 m y Túnel de Descarga de 3 900 m.

CASA DE MAQUINAS

Tipo : Subterránea. 4 Turbinas Pelton de 111 MW y 4 Generadores Sincrónicos de 113 MVA.

CANAL DEL RIO GUAYURIBA

Caudal de Diseño : 40 m3/s. Longitud del Canal : 16.6 km.

PROYECTO HUMEA

DATOS GENERALES

Capacidad Instalada : 460 MW. Caudal de Diseño : 504 m3/s. Salto de Diseño : 106 m. Area de la Hoya : 950 km2. Precipitación Media : 3 840 mm. Caudal Medio del Río Humea : 115 m3/s. Caudal Medio del Río Guacavía : 62.5 m3/s. Generación Media Anual : 1883 GWh-año. Costo del Proyecto : US$ 353 millones.

EMBALSE

Area : 9 300 Ha. Volumen Total : 4 120 Mm3. Volumen Util : 2 400 Mm3 Nivel Máximo : 405. Nivel Mínimo : Cota 370.

PRESA Y REBOSADERO

Presa de Gravas con Núcleo. Altura : 138 m. Volumen : 6.45 Mm3. Rebosadero en Canal Rectangular. Capacidad : 4 650 m3/s.

CONDUCCION

2 túneles de Carga de : 500 y 510 m de longitud y 7.2 m de diámetro.

CASA DE MAQUINAS

Tipo : Superficial. 2 Turbinas Francis de 240 MW. 2 Generadores Sincrónicos de 246 MVA.

DESVIACION GUAYABETAL–HUMEA

Longitud Total : 32.3 km. Caudal Medio Desviado de Guayabetal : 72 m3/s. del Río Guacavía y Afluentes : 39 m3/s.

VOLUMEN I

INDICE

CUADROS

FIGURAS

PLANOS

G.2 Proyecto Guayabetal - Presa y Obras Anexas Planta y Cortes.

G.3 Proyecto Guayabetal - Zona de Casa de Máquinas.

H.1 Proyecto Humea - Embalse

H.2 Proyecto Humea - Planta General

H.3 Proyecto Humea - Bocatoma, Conducción y Zona de Casa de Máquinas.

H.4 Proyecto Humea - Conducción Guatiquía - Humea - Planta - Secciones Típicas.

CAPITULO I

Introducción

CAPITULO I

INTRODUCCION

La Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá (EEEB), encargó al Consorcio de firmas de Ingeniería de Consulta constituído por Gómez, Cajiao y Asociados e Integral Ltda., la ejecución de los estudios e investigaciones requeridos para determinar, con fines hidroeléctricos, los posibles proyectos para el desarrollo integrado de las cuencas de los ríos Negro - Guayuriba, Guatiquía y Humea. Los estudios se ejecutaron mediante el Contrato No. 3280 firmado el 11 de diciembre de 1979.

De acuerdo con lo establecido en el contrato, los estudios se realizaron en dos etapas, la Etapa A, Prefactibilidad, finalizada en febrero de 1981 y la Etapa B, Factibilidad, objeto de este informe.

Durante la etapa de Prefactibilidad se identificaron dos alternativas de desarrollo, la una que incluía tres proyectos sobre el río Negro-Guayuriba; Quetame, Guayabetal y La Rosa, y uno sobre el río Humea.

La segunda alternativa, seleccionada para continuar los estudios de factibilidad, contempla únicamente dos de los proyectos sobre el río Negro, Quetame y Guayabetal y el proyecto Humea. El proyecto de Guayabetal desarrolla su salto sobre el río Guatiquía y sus aguas son conducidas posteriormente al embalse del proyecto Humea.

En este informe se presentan los resultados finales de los estudios efectuados en la etapa de factibilidad, los cuales se consignan en los siguientes volúmenes :

- Volumen I	Informe General
- Volumen II	Proyecto Quetame
- Volumen III	Proyecto Guayabetal
- Volumen IV	Proyecto Humea
- Volumen V	Apéndice A - Hidrología y Sedimentos
- Volumen VI	Apéndice B - Potencia y Energía

- Volumen VII — Apéndice C - Geología
- Volumen VIII — Apéndice D - Materiales de Construcción
- Volumen IX — Apéndice E - Aspectos Ambientales y Socio-Económicos.

CAPITULO II

Alcance de los estudios

CAPITULO II

ALCANCE DE LOS ESTUDIOS

2.1 TRABAJOS EJECUTADOS

Este informe presenta los estudios ejecutados para determinar la factibilidad técnica y económica de los proyectos seleccionados y para llevar a cabo el desarrollo integrado de las hoyas de los ríos Negro-Guayuriba y hoyas vecinas. Los trabajos ejecutados incluyen los siguientes estudios :

- Hidrología y Sedimentos
- Geodesia y Topografía
- Geología, Sismología y Materiales de Construcción
- Potencia y Energía
- Aspectos Ambientales y Socio-Económicos
- Presupuestos y Programas de Construcción y Desembolsos

2.2 COLABORACION CON ASESORES EXTRANJEROS

La Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá y los consultores consideraron conveniente contar con la asesoría de consultores extranjeros expertos en campos específicos relacionados con aspectos vitales del estudio, tales como son la geología y los problemas de sedimentación. Durante los estudios se contó con la colaboración de los siguientes expertos :

- En sedimentación de embalses, el doctor Hsieh Wen Shen, profesor de la Universidad del Estado de Colorado, en Fort Collins.

- En geología, el doctor Richard E.Goodman, profesor de la Universidad de California, en Berkeley.

- En sismología y geomorfología, la firma Woodward-Clyde Consultants de San Francisco, California.

2.3 ESTUDIOS ANTERIORES

El Estudio del Sector de Energía Eléctrica, ESEE, llevó a cabo el inventario de los posibles desarrollos hidroeléctricos en las cuencas de los ríos Negro-Guayuriba, Guatiquía y Humea, identificando tres desarrollos sobre el río Negro-Guayuriba, dos sobre el río Guatiquía y uno sobre el río Humea. Estos estudios han sido la base de los estudios objeto de este informe.

En el Anexo 1, Tomo 3 del Informe Final del Estudio del Sector de Energía Eléctrica se hace una presentación de los proyectos identificados y se incluye su localización, descripción de su cuenca, un resumen de los datos básicos de cada proyecto y el posible esquema de los mismos. Contiene además, datos hidrológicos, conformación geológica del área, las características de las obras y el análisis de su costo.

Sobre el río Negro-Guayuriba se identificaron los siguientes proyectos : Quetame, con una capacidad instalada de 242 MW, Guayabetal con 534 MW y La Rosa 202 MW. Sobre el río Guatiquía se identificaron los proyectos Cachanal y Monteloro con capacidad de 111 MW y 85 MW respectivamente; y sobre el río Humea un solo proyecto con 181 MW.

Desde la etapa de Prefactibilidad se descartaron los proyectos sobre el río Guatiquía para un futuro inmediato. Por otra parte, aunque se conserva básicamente la localización de los proyectos estudiados por el ESEE, el esquema de desarrollo que se presenta en este informe ha integrado las hoyas de los ríos Negro y Humea, logrando en esta forma un sistema eléctrico de tres plantas que asegura la generación de un bloque importante de energía tanto en invierno como en verano aprovechando el gran embalse del Humea en el cual se regulan no sólo su propio caudal sino caudales desviados de las hoyas del río Negro y Guacavía.

CAPITULO III

Descripción general del aprovechamiento

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL DEL APROVECHAMIENTO

3.1 LOCALIZACION Y ACCESOS

La zona del estudio de los proyectos Quetame, Guayabetal y Humea comprende las hoyas de los ríos Negro-Guayuriba, Guatiquía, Guacavía y Humea, desde sus cabeceras hasta el piedemonte de los Llanos Orientales. Esta región está localizada en los Departamentos de Cundinamarca y Meta, en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental y según el Estudio del Sector de Energía Eléctrica corresponde a las Cuencas 2 y 3 de la Zona 3, Región II. En el Plano I-2 aparece la localización de los proyectos.

La carretera Bogotá a Villavicencio constituye la vía de acceso a los proyectos. El sitio de presa del Proyecto Quetame está en el kilómetro 64 de esa carretera y la del proyecto Guayabetal en el kilómetro 82. La ciudad de Villavicencio está a una distancia de 120 km de Bogotá por la mencionada vía.

Para llegar al sitio de la desviación del Río Blanco se utiliza la carretera que se desprende de la vía principal en Puente Quetame y que conduce a la población de Gutiérrez. De allí por un carreteable y luego en camino de herradura se llega al sitio.

Cabe anotar que según los estudios de la denominada Autopista al Llano, el trazado de esta vía sigue prácticamente la ruta de la carretera actual en la zona de los proyectos, pues los trabajos consistirán básicamente en la rectificación y ampliación de la vía existente. De la carretera principal se desprenden ramales hacia las poblaciones de Quetame, Fosca, El Calvario y Manzanares.

Al sitio de presa de Humea se llega por la carretera Marginal de los Llanos Orientales pasando por las poblaciones de Restrepo y Cumaral. El sitio del proyecto se encuentra a 40 kilómetros de Villavicencio, al norte.

En el Cuadro 3-1, se describen las características generales de los proyectos.

3.2 DESCRIPCION DE LOS PROYECTOS

3.2.1 Proyecto Quetame

El proyecto de Quetame desarrolla el río Negro entre las cotas 1428 y 945 mediante las obras que se describen a continuación y cuyos datos básicos se presentan en el Anexo No. 1.

a. Una presa de 188 m de altura que con un nivel máximo de agua en la cota 1428 crea un embalse de 450 Mm3 e inunda alrededor de 900 ha.

b. Un túnel de aducción para conducir al embalse los ríos Blanco, Taguaté y Chiquito. La longitud del túnel del Blanco-Taguaté es de 16 km y la del túnel del río Chiquito es de 2.6 km. La capacidad máxima de la desviación será de 20 m3/s.

c. Un túnel de carga, revestido en concreto, de 9100 m de longitud y 6.4 m de diámetro; un pozo inclinado de 450 m de longitud y 5.10 m de diámetro; un tramo de túnel blindado de 120 m de largo y 4.30 m de diámetro; y por último el distribuidor que tiene 163 m de longitud. La conducción tiene una longitud total de 9710 m y lleva el agua a la central subterránea que tiene un salto máximo de 483 m.

d. Una central subterránea que alojará cuatro unidades Pelton de 105 MW cada una y un túnel de fuga de 640 m que restituirá el agua al embalse de Guayabetal. Su capacidad instalada será de 420 MW.

e. La construcción de 44.4 km de carreteras de las cuales 17.6 km se requieren para relocalizar la carretera Bogotá-Villavicencio que será inundada por el embalse.

3.2.2 Proyecto Guayabetal

El proyecto de Guayabetal aprovecha la diferencia en elevación entre el río Negro y el río Guatiquía entre las cotas 935 y 495 respectivamente, mediante las siguientes obras que se mencionan

a continuación y cuyos datos básicos se presentan en el Anexo No. 2.

a. Una presa de concreto de 97 m de altura que con un nivel de agua en la cota 935 crea un embalse de 20 Mm3. Por ser central de filo de agua, carece de embalse de regulación.

b. Una conducción en túnel de 14.5 km de longitud dividida en los siguientes tramos : un túnel superior de carga de 13 800 m de longitud y 7.4 m de diámetro; un pozo inclinado de 380 m de longitud de 4.8 m de diámetro y por último, el distribuidor que en los primeros 50 m tiene un diámetro de 3.40 m y en los 250 m siguientes tiene un diámetro de 2.4 m. El salto total desarrollado por la conducción es de 440 m.

c. Una central subterránea que alojará cuatro unidades Pelton de 111 MW cada una. El túnel de descarga de 3 900 m de longitud aguas abajo del portal de salida, se bifurca para conectar uno de sus ramales a la conducción hacia el Proyecto Humea y el otro para descargar directamente al río Guatiquía.

d. Una estructura de control sobre el río Guatiquía y un canal de 16.6 km de longitud una capacidad de 40 m3/s para restituír las aguas al río Guayuriba y mantener en este los caudales normales de verano.

3.2.3 Proyecto Humea

El proyecto Humea es una central de pie de presa que utiliza las aguas de su propia hoya y desviaciones del río Negro y del río Guacavía y sus afluentes. Los datos básicos, se presentan en el Anexo No.3. Las principales componentes del proyecto son las siguientes :

a. Una presa de gravas con núcleo, de 138 m de altura y un volumen de 6.4 Mm3, que con la cresta en la cota 413 crea un embalse de 4 120 Mm3 e inundará 9 300 ha.

b. Una conducción consistente en dos túneles de 500 m y 510 m de longitud respectivamente, cuyos primeros 72 m serán revestidos en concreto y tendrán 7.6 m de diámetro y los 437 m restantes serán blindados y tendrán un diámetro de 7.2 m.

c. La casa de máquinas será superficial y alojará dos unidades Francis de eje vertical con capacidad conjunta de 460 MW. La cabeza

máxima de las turbinas será 106 m y el caudal de diseño por unidad 252 m3/s.

3.2.4 DESVIACIONES AL PROYECTO HUMEA

Con el objeto de aprovechar los caudales turbinados en la central de Guayabetal (72 m3/s), de los caudales del Río Guacavía y sus afluentes, (39 m3) en la central de Humea, se ha proyectado una conducción de 33 km que permitirá duplicar los caudales naturales del Río Humea y la capacidad instalada de esta central; la conducción consta de los siguientes tramos :

a. Túnel Guatiquía-La Camelia

La estructura de bifurcación que hay en la central de Guayabetal se conecta a un tubo de concreto de 6.3 m de diámetro y 490 m de longitud para cruzar el Río Guatiquía, luego este tubo se conecta con un túnel de 6.4 km de longitud y 6.3 x 6.3 m de diámetro. Este túnel se ha diseñado para un caudal de 125 m3/s.

b. Sector La Camelia-Río Guacavía

Un canal de 12.2 km de longitud y un caudal de diseño de 125 m3/s revestido en concreto y de 10 m de base y 3.40 m de profundidad total.

c. Sector Río Guacavía-Río Borrachero

Un canal de 10.8 km de longitud y 190 m3/s de caudal de diseño, revestido en concreto y de 12.0 m de base y 3.8 m de profundidad. En este tramo se incrementa el caudal de diseño debido a que por medio de unas presas derivadoras se captarán aguas de los Ríos Guacavía, Nipore, Piri y Guajaray.

d. Embalse de Borrachero

Con la construcción de una presa de 45 m de altura, se creará un embalse que ahorrará 6 km de conducción en canal, en una zona de topografía muy desfavorable, además este embalse regulará los caudales pico desviados. El embalse tiene un volumen de 13.8 Mm3 para regulación.

e. Sector Embalse Borrachero-Embalse Humea

La conducción consta de un túnel y dos canales que comunican el túnel con los embalses. Este tramo se ha diseñado para un caudal de 120 m3/s.

El canal que comunica el embalse del río Borrachero con el túnel, tiene 600 m de longitud, 10 m de base y 3.4 m de profundidad. Se ha diseñado sin revestimiento.

El túnel del Caño Sucio, tiene 1.5 km con una sección en herradura de 5.5 x 5.5 m de diámetro.

El canal que comunica el túnel con el embalse de Humea tendrá 900 m de longitud.

3.3 ASPECTOS GENERALES

3.3.1 Embalse de Quetame

El embalse de Quetame inundará un tramo de la Carretera Bogotá-Villavicencio y 900 ha. entre las cuales se encuentra la inspección de Puente Quetame.

Los 18 kilómetros de carretera que deberán relocalizarse están comprendidos entre el K 51 y el K 68 del abscisado del MOPT. El K 51 está localizado 2 kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Negro y Cáqueza y el K 68 a unos 2 kilómetros aguas abajo de Puente La Balsa.

Se estudiaron dos alternativas para la relocalización de este tramo de carretera, la una por la margen derecha del embalse y la otra por la margen izquierda. Se seleccionó finalmente la alternativa de la margen izquierda del embalse, la cual se muestra en el Plano Q-5, porque además de ser la más económica, tiene las ventajas de no presentar interferencias con la carretera actual durante su construcción, y de no aislar a la población de Quetame, ya que pasará prácticamente por su zona urbana.

El embalse de Quetame inundará el casco urbano de la Inspección de Policía de Puente Quetame y un sector reducido de viviendas dispersas en el área rural. El núcleo urbano de Puente Quetame cons-

ta de 76 viviendas, con una población aproximada de 400 habitantes. En la zona rural la población afectada será menor ya que solo se inundarán 18 viviendas localizadas a lo largo de la carretera Bogotá-Villavicencio y 5 viviendas en las cercanías del río Sáname.

3.3.2 Embalse de Guayabetal

La alternativa seleccionada, con embalse en la cota 935 no inundará núcleos urbanos. La zona rural inundada, 90 ha., es prácticamente deshabitada debido a lo abrupto de su topografía y se estima que sólo se inundarán unas siete viviendas.

3.3.3 Embalse de Humea

El embalse de Humea inundará 9 300 ha y la carretera a Medina. La carretera existente a Medina es prácticamente un carreteable que actualmente se encuentra en muy mal estado. Las obras del proyecto contemplan su relocalización cuya longitud se estima en 26 km.

Las tierras inundadas están parcialmente dedicadas a la ganadería extensiva y el resto son bosques que están siendo paulatinamente talados. En cuanto a viviendas el embalse solamente inundará 37 casas.

3.4 DESARROLLO AGRICOLA

Con la construcción de los proyectos se abre la posibilidad de un desarrollo agrícola del pie de monte llanero con su respectivo beneficio agroeconómico. Uno de los aspectos de mayor importancia al regular los Ríos Negro-Guayuriba, Guacavía y Humea es el relacionado con el riego de las tierras del pie de monte llanero, cuyo desarrollo potencial se ha estimado en 250 000 ha, área comparable con el total del área actualmente regada en el país.

En el Capítulo V del Apéndice E, Aspectos Ambientales y Socio-Económicos, se presentan los resultados del desarrollo agrícola derivado de la construcción de los proyectos.

CUADRO 3.1

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PROYECTOS

CARACTERISTICAS		PROYECTO			
		QUETAME	GUAYABETAL	HUMEA	TOTAL
NIVEL MAXIMO DEL EMBALSE	m	1 428	935	405	
VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE	Mm3	360	0	2 400	
AREA DEL EMBALSE	Ha	895	90	9 300	
ALTURA DE LA PRESA	m	188	97	138	
VOLUMEN DE LA PRESA	Mm3	9.25	0 265	6.45	
SALTO BRUTO MAXIMO	m	483	440	129	
SALTO DE DISEÑO	m	444	409	106	
LONGITUD DE CONDUCCION	m	9 100	14 500	505	
CAUDAL DE DISEÑO	m3/s	110	125	504	
CAPACIDAD INSTALADA	MW	420	430	460	1 310
ENERGIA PROMEDIO	gw h/año	1 664	2 497	1 883	6 014
ENERGIA CONFIABLE	gw h/año	1 402	2 278	1 796	5 476
ENERGIA PRIMARIA	gw h/año	1 314	1 708	1 621	4 643
FACTOR DE CARGA PROMEDIO		0.45	0.66	0.47	0.53
COSTO TOTAL	US$ millones	372	332	353	1 057
COSTO DE ENERGIA PROMEDIO	US$ mils/kWh	31.4	18.6	26.2	25.4
COSTO DE POTENCIA	US$ /kW	886	772	767	808

CAPITULO IV

Climatología e hidrología

CAPITULO IV

CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA

4.1 GENERALIDADES

Los proyectos identificados para el desarrollo hidroeléctrico de los ríos Negro-Guayuriba y Humea, están localizados en los Departamentos de Cundinamarca y Meta, sobre la vertiente oriental de la cordillera Oriental, entre los 4° 45' y 4° 05' de latitud norte y entre los 73° 15' y 74° 15' al oeste del meridiano de Greenwich. El área en estudio comprende las cuencas de los ríos Negro - Guayuriba, Guatiquía, Guacavía y Humea (Ver Figura 4.1).

4.2 CLIMATOLOGIA

4.2.1 Clima

Las causas del patrón general que caracteriza el comportamiento de las variables hidrometeorológicas en estas cuencas se originan principalmente en el desplazamiento del frente de baja presión que se denomina Frente Intertropical de Convergencia (FIC).

4.2.2 Precipitación

Se producen dos períodos estacionales intranuales muy bien diferenciados : un verano durante el período diciembre-abril y un invierno durante el período mayo-noviembre, con extremos relativos en febrero y julio respectivamente.

La precipitación total media anual en la región varía generalmente entre unos 1 000 mm en las partes altas, y entre 5 000 y 7 000 mm en varios núcleos húmedos, ubicados al borde de las zonas montañosas. El piedemonte es más húmedo que la parte alta, con precipitaciones que pueden alcanzar localmente 7 000 mm anuales. La distribución espacial de la precipitación en la zona de los proyectos se muestra en la Figura 4.1

4.3 CAUDALES

4.3.1 Caudales Promedios

Teniendo en cuenta que no existen medidas de los caudales en los sitios de interés de los proyectos y las deficiencias que presenta la información hidrológica disponible, especialmente en algunas estaciones de registro de caudales, y lo reciente de la instalación de algunas estaciones cuya densidad es decreciente hacia aguas abajo de las hoyas, se consideró necesario hacer un estudio de regionalización de las principales variables hidrológicas mediante la aplicación de técnicas de regresión múltiple.

Los estimados de los caudales promedios multianuales en los sitios de proyecto se presentan en el Cuadro 4.1. Los valores que se muestran en este cuadro son los estimados de los caudales promedios en la hoya total drenada hasta el sitio en consideración, es decir sin descontar los 12.0 m3/s que se desvían, en promedio, desde la parte alta de la hoya del río Guatiquía para el acueducto de Bogotá en el proyecto de Chingaza; y los 2.2 m3/s que se desviarán desde varias quebradas de la parte alta de la hoya del río Negro, hacia el mismo acueducto.

4.3.2 Caudales para Estudios de Generación

Con el fin de simular la operación del sistema conformado por los proyectos considerados y estudiar su comportamiento ante diferentes situaciones hidrológicas, se recurrió a la utilización de modelos multivariados de la hidrología estocástica que permiten reproducir series de caudales con la misma probabilidad de ocurrencia en cada uno de los sitios de interés, de tal forma que éstas preservan algunas características estadísticas de las series de caudales históricos. Esto hace posible analizar las respuestas de los proyectos estudiados en términos probabilísticos; es decir, a los resultados que se obtienen de la simulación de la operación del sistema (energía firme, vertimientos, estados de embalse, etc), para diferentes estímulos hidrológicos igualmente probables, se les puede asignar una confiabilidad dada.

Para generar las series sintéticas de caudales mensuales, se tomó como información las series de caudales mensuales reconstruí

das estadísticamente para cada uno de los sitios de los proyectos.

Para el proceso de reconstrucción de los caudales mensuales se utilizó el modelo de Matalas en la versión de Young y Pisano, usado en su forma condicionada.

Para la generación sintética de caudales en los sitios de los proyectos, se utilizó el modelo de Matalas no estacionario, conocido en la literatura sobre hidrología estocástica como el modelo de Matalas mensual.

4.4 CRECIENTE DE DISEÑO DEL REBOSADERO

4.4.1 Creciente Máxima Probable

La determinación de la creciente máxima probable (CMP) utilizada para el diseño de los rebosaderos, se hizo calculando la precipitación máxima probable (PMP) en las respectivas zonas y aplicando esta tormenta sobre la hoya de los proyectos, en conjunto con el hidrograma unitario respectivo.

Para determinar la PMP, se utilizaron tres métodos : el de Hershfield, el de la relación precipitación - contenido de humedad, y el de transposición de tormentas. A estos métodos se les ajustó la línea de interpolación que los representaba más adecuadamente. La duración de la PMP se definió en 6 horas. Los valores de la PMP neta, después de descontar las pérdidas, se presentan a continuación :

Proyecto	PMP Neta (mm)
Quetame	159
Guayabetal	159
Humea	290

La reciente máxima probable (CMP) para cada sitio de proyecto fué calculada aplicando la PMP al hidrograma unitario desarrollado para su respectiva hoya. La CMP obtenida para cada proyecto presenta sus características de pico y de volumen en 30 horas, así :

Proyecto	Caudal Máximo (m3/s)	Volumen (Mm3)
Quetame	7 480	230
Guayabetal	10 620	455
Humea	9 050	320

4.4.2 Amortiguación del Embalse

Se hizo un tránsito de las CMP a través de los respectivos embalses. Dada la poca capacidad de amortiguación de los embalses de Quetame y Guayabetal, añadida al hecho que poseen rebosaderos con compuertas, se decidió diseñar estos últimos con una capacidad de descarga máxima igual al caudal pico de su respectiva CMP. Para el embalse de Humea, y para un diseño de rebosadero de 180 m de ancho, el pico se reduce a 4 800 m3/s, alcanzando el nivel de agua la cota 405 m.s.n.m.

4.5 CRECIENTES DE DISEÑO PARA OBRAS DE DESVIACION

4.5.1 Crecientes de Desviación

Aplicando la lluvia de 25 años al hidrograma unitario para toda la hoya, y agregando posteriormente el caudal base, se obtuvo el hidrograma de creciente para un período de retorno de 25 años, el cual se determinó como adecuado para la definición de las características de las obras de desviación de los diferentes proyectos. Las características de estas crecientes de desviación son las siguientes:

Proyecto	Caudal Pico (m3/s	Volumen (Mm3)	Tiempo (horas)
Quetame	1 265	45	30
Guayabetal	2 465	115	36
Humea	2 600	105	45

4.5.2 Crecientes de Diseño de Obras de Desviación

Se efectuó el tránsito de las crecientes de desviación a través de los respectivos embalses. Dada la muy poca capacidad de los embalses de Quetame y Guayabetal se decidió diseñar las obras de desviación para pasar el caudal pico de las respectivas crecientes con período de retorno de 25 años. Para el embalse de Humea se efectuó la respectiva laminación, habiéndose encontrado un valor de 300 m3/s como el caudal pico para el diseño de sus obras de desviación, con una ataguía de 28 m de altura.

4.6 SEDIMENTACION EN LOS EMBALSES

Con el fin de estimar el aporte de sedimentos al embalse, se llevó a cabo un programa intensivo de diferentes tipos de muestreo, siguiendo los lineamientos propuestos por el Consultor Hsieh Wen Shen. Los resultados de estas mediciones han permitido obtener estimativos que, aunque muy preliminares, se consideran adecuados para tomar decisiones en esta etapa de Factibilidad, puesto que se han calculado muy conservativamente.

Una vez ajustadas las curvas de gasto sólido en suspensión vs. caudal por métodos convencionales, se concluyó, basados en las recomendaciones del Consultor Shen, que dado el corto período de registros se definieron fórmulas conservadoras representativas del transporte en suspensión en los diferentes proyectos. Se generalizaron los resultados anteriores, adoptando como arrastre de fondo un 25% del material transportado en suspensión para estar, asimismo, en el lado conservativo.

Con los resultados anteriores, se obtuvo que el volumen anual de sedimentos en los proyectos es el siguiente :

Proyecto	Volumen (Mm3)
Quetame	3.10
Guayabetal	3.30
Humea	1.90

Estos volúmenes de sedimentos podrán ser acomodados adecuada -

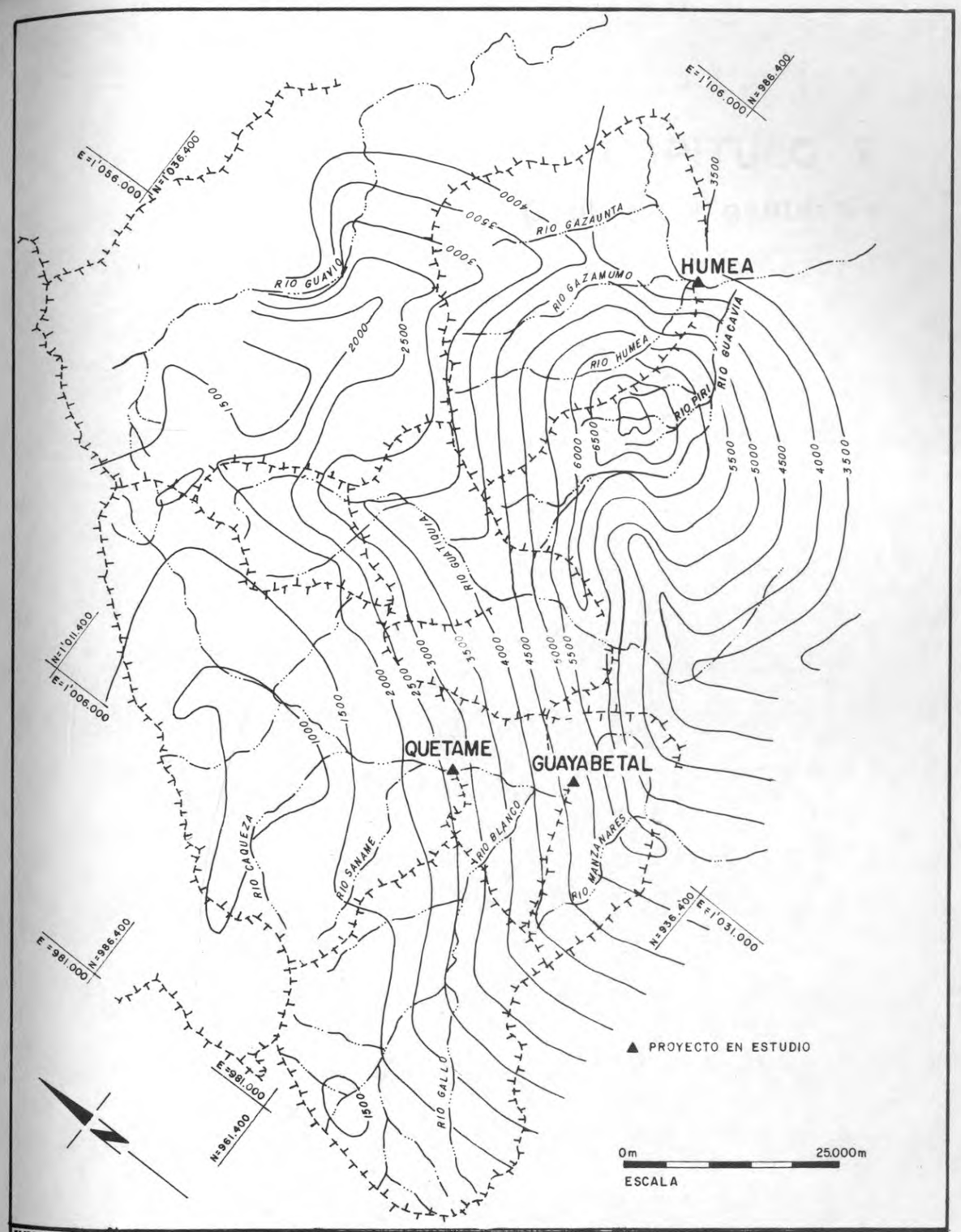
mente en el embalse de Quetame durante su vida útil de 50 años, alcanzarán el nivel de la bocatoma en unos 5 años para el embalse de Guayabetal y, finalmente, para el embalse de Humea no son significativos si se considera su considerable volumen muerto.

CUADRO No. 4.1

CAUDALES PROMEDIOS ESTIMADOS POR REGIONALIZACION
EN LOS SITIOS DE PRESA DE LOS PROYECTOS (m3/s)

Período	Quetame	Guayabetal	Río Blanco	Guacavía	Humea
Enero	10.6	26.4	9.0	12.2	32.0
Febrero	8.7	22.8	7.3	13.4	27.8
Marzo	13.9	38.0	11.7	22.6	46.6
Abril	32.7	83.6	27.6	53.9	101.5
Mayo	53.8	141.6	45.3	82.8	172.6
Junio	76.4	191.6	64.9	115.1	231.6
Julio	77.6	201.7	65.5	107.3	181.0
Agosto	60.3	159.2	50.7	89.1	170.0
Septiembre	45.9	116.4	38.9	83.5	130.1
Octubre	38.3	95.3	32.6	89.2	131.3
Noviembre	31.4	76.7	26.8	47.8	99.2
Diciembre	18.5	46.6	15.7	27.1	56.3
Multianual	39.0*	100.0*	33.0	62.0	115.0

(*) No se tiene en cuenta la desviación para el acueducto de Bogotá en Chingaza que es de 2.2 m3/s.



EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DE BOGOTA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá CONTRATO 3280 PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION MULTIANUAL
	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS — INTEGRAL	FECHA: Julio 1982 — Figura: 4.1

CAPITULO V

Geología y geotecnia

CAPITULO V

GEOLOGIA Y GEOTECNIA

5.1 GEOLOGIA REGIONAL

Desde el punto de vista geológico regional, el área objeto del estudio está dividida en tres grandes zonas : la parte alta de la Cordillera Oriental compuesta por rocas sedimentarias Mesozoicas y Cenozoicas;el Macizo de Quetame, compuesto por rocas metamórficas y sedimentarias Paleozoicas;y el borde llanero de la Cordillera Oriental, compuesto por rocas sedimentarias Mesozoicas y Cenozoicas, cubiertas en su extremo oriental por gruesos sedimentos Cuaternarios no consolidados.

En el plano I.4 , se presenta la cartografía de las unidades litológicas más importantes y en el Apéndice C, Geología, se describen con detalle tales unidades. La estructura geológica, en términos generales, está controlada por el geosinclinal Cretáceo de la Cordillera Oriental al occidente, el alto (horst) del Macizo de Quetame, y el borde occidental de la plataforma o borde llanero,cuyo extremo oriental se hunde bajo los depósitos Cuaternarios y Recientes.Estas provincias están separadas entre sí por sistemas de fallas Paleozoicas reactivadas durante el Cenozoico; dichos sistemas controlan la estructura regional.

En la angostura del Río Negro,donde se piensa construír la presa del proyecto Quetame afloran rocas metamórficas de edad Paleozoica formando bancos y paquetes de filita, pizarra , grauvaca y arenisca cuarcítica del Grupo Quetame,que yacen discordantes por debajo de las Areniscas de Gutiérrez; el túnel de carga cruza principalmente las mismas unidades y posiblemente las lutitas pizarrosas y bancos de caliza de la Formación Quebrada Honda;la desviación del río Blanco, en su mayor parte, atraviesa el Grupo Quetame, las areniscas cuarcíticas de la Formación Areniscas de Gutiérrez y las lutitas pizarrosas y bancos de caliza del Jurásico y del Cretáceo.

El sitio de presa de Guayabetal está emplazado en filitas con algu-

nos bancos de cuarcita, Paleozoicas,del Grupo Quetame y su desviación al río Guatiquía cruza todo el Paleozoico, y en su último trecho atraviesa rocas de la Formación Quebrada Honda, y del Cretáceo, cuya composición comprende un predominio de lutitas intercaladas por bancos de arenisca y algunas capas de caliza.

El sitio de la presa de Humea está en un conjunto de arenisca cuarzosa y arcillolita del Grupo Humea (Th); el embalse está situado en el Terciario Llanero, cubierto en gran parte por sedimentos Cuaternarios que comprenden abanicos, terrazas y depósitos aluviales, y algunos derrubios de pendiente.La conducción Guatiquía- Humea atraviesa rocas que van desde el Paleozoico Inferior hasta el Reciente.

5.2 PROYECTO QUETAME

Las rocas que conforman el sitio de presa son bancos y paquetes de filita, pizarra, grauvaca y arenisca cuarcítica del Grupo Quetame y las Areniscas de Gutiérrez, afectadas por fallas antiguas, cuyas zonas de brecha han sido soldadas. El embalse estaría en lutitas con algunas intercalaciones de arenisca arcillosa, de la parte media del Grupo Cáqueza. La conducción atraviesa las rocas Paleozoicas del Grupo Quetame antes descritas (Véase Plano I-4).

Rocas Paleozoicas también conforman el área de la desviación del Río Blanco, con excepción de la zona hacia el portal de salida, que corresponde a limolitas y filitas de la Formación Quebrada Honda.

Las rocas que conforman el sitio de presa son duras, regularmente diaclasadas, tenaces y masivas, con zonas de falla soldadas. Los depósitos de pendientes son de poco espesor.

Las rocas arcillosas que conforman el embalse están extensamente meteorizadas y allí se han ocasionado algunos derrumbes, muchos de ellos ya estables en la actualidad. Por su composición litológica areal, el embalse es altamente impermeable; los afluentes del río Negro aguas arriba de Puente Quetame aportan un volumen considerable de sedimentos al embalse de este proyecto.

El alineamiento del túnel de carga transcurre a lo largo de rocas Paleozoicas, duras, competentes, poco fracturadas. La entrada del túnel de carga, el túnel de descarga y la caverna de casa de máquinas se excavarán en las Areniscas de Gutiérrez y en el Grupo Quetame, que presentan buzamientos altos, lo cual es muy favorable para estas excavaciones.

La mayor parte del túnel de desviación del Río Blanco tendrá muy buenas condiciones, a excepción del extremo del túnel cerca del portal de salida, donde se pueden presentar dificultades tanto en su excavación como en su soporte, pues la meteorización superficial ha alterado las lutitas de la Formación Quebrada Honda.

5.3 PROYECTO GUAYABETAL

El sitio de presa, túnel de desviación, obras anexas y el embalse del Proyecto Guayabetal están emplazados en la secuencia de filitas grises y verdes del Grupo Quetame que forman conjuntos con espesores superiores a 500 m, con intercalaciones poco frecuentes de cuarcita y esquisto clorítico, y en las Areniscas de Gutiérrez en la parte alta del embalse.

La disposición de las filitas del sitio de presa es vertical, cuyo rumbo sur-norte es perpendicular al curso que allí tiene el río Negro, y por lo tanto, ofrece condiciones geotécnicas buenas, ya que además, la roca es dura, resistente a la meteorización y poco fracturada. Las mismas características tienen las rocas en las que se excavará el túnel de desviación y el rebosadero.

El túnel de carga del Proyecto Guayabetal, que a su vez desvía las aguas del embalse a la cuenca del Guatiquía, se excavará a través de gran parte de la serie metamórfica del Grupo Quetame, que comprende principalmente filita intercalada por bancos de cuarcita y esquisto clorítico de las Areniscas de Gutiérrez (Dg), constituídas por capas y bancos de arenisca cuarcítica intercaladas por capas de argilita de espesor no superior a 1 m; de Lutitas de Portachuelo, secuencia de lutitas pizarrosas, muy duras y competentes, de Capas Rojas de Guatiquía, que son areniscas, limolitas, arcillolitas, calizas y conglomerados y de algunos conjuntos de la Formación Quebrada Honda, la cual comprende areniscas, conglomerados, limolitas, lutitas y calizas.

La excavación de la caverna de máquinas del proyecto se construirá dentro de estratos duros y competentes del Jurásico Ingerior (Jb) constituidos por horizontes de conglomerados, areniscas conglomeráticas, lutitas silíceas y algunos bancos de caliza, el Jurásico Inferior presenta sectores cuyo comportamiento geotécnico los habilita para construír la caverna que el proyecto requiere.

En la Perforación PTG-7, sobre el sitio de la caverna, se descubrió un acuífero de alta presión, fenómeno éste que se tendrá muy en cuenta para el diseño final de la central.

El túnel de descarga, que lleva el agua de generación a la casa de máquinas al río Guatiquía, será construído primordialmente en lutitas, con presunción esporádica de calizas, limolitas y areniscas del Jurásico Superior y Cretáceo Inferior, denominadas como JKiqh.

5.4 PROYECTO HUMEA

Este proyecto afecta exclusivamente estratos del Terciario y depósitos no consolidados del Cuaternario. El sitio de presa comprende un conjunto de niveles de arenisca cuarzosa y arcillolita cuyos espesores están comprendidos entre 20 y 40 m y que en general,buzan aguas arriba en ese sector del río Humea.

Los conjuntos estratigráficos que afecta la construcción de la presa presentan buena competencia, regular cementación y bajo grado de fracturación. El área del embalse cubre principalmente, grandes depósitos aluviales tales como abanicos y terrazas, varios de las cuales muestran efectos de actividad tectónica reciente;pero en su mayoría, los depósitos Cuaternarios descritos y los derrubios de pendiente afectados por la inundación del embalse de Humea, muestran buena estabilidad.

5.5 CONDUCCION GUATIQUIA - HUMEA

El agua turbinada de la central de Guayabetal se conducirá al embalse de Humea mediante los túneles "Guatiquía-La Camelia y Caño Sucio", y un canal abierto. La longitud total de la conducción es 32.3 km.

El túnel Guatiquía-La Camelia atravesará un sinclinal de lutitas silíceas predominantemente, del Jurásico Superior (JKiqh) en contacto fallado con un anticlinal donde se presentan conglomerados y brechas sedimentarias del Jurásico Inferior (Jb), cuyo núcleo es posible que esté compuesto por filitas y cuarcitas del Paleozoico Inferior (Ꞓsq1); entre las fallas Colorada y La Camelia se presentan estratos lutíticos del Cretáceo y Jurásico Superior (JKiqh), y la parte final de la

excavación atravesará arcillolitas, limolitas y areniscas Terciarias (Tch). El alineamiento de este túnel ha sido escogido para evitar el mayor número de zonas de falla, frecuentes en el área, pero serán necesarias investigaciones posteriores para ratificar u optimizar este alineamiento. El túnel de Caño Sucio será construído en arcillolitas y lodolitas, con esporádicas intercalaciones de areniscas, de la formación Caño Sucio. La excavación del canal abierto se efectuará primordialmente en depósitos de terrazas semiconsolidadas.

CAPITULO VI

Alternativas de desarrollo estudiadas

CAPITULO VI

ALTERNATIVAS DE DESARROLLO ESTUDIADAS

6.1 INTRODUCCION

Durante la fase de prefactibilidad se estudiaron y analizaron diferentes alternativas para aprovechar hidroeléctricamente los caudales de los ríos Negro-Guayuriba, Guatiquía y Humea, cuyo proceso de investigación y análisis, así como la toma de decisiones al respecto, están consignados en el Informe de Prefactibilidad presentado en diciembre de 1980. Por esta razón, en el presente capítulo sólo se hace una presentación resumida de dichos estudios.

6.2 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS BASICAS

Para definir el esquema general del desarrollo se identificaron dos alternativas básicas cuyos esquemas simplificados se muestran en las Figuras 6.1 y 6.2.

6.2.1 Alternativa I

Está compuesta por las siguientes obras principales : (Véase Figura 6.1).

- Proyecto de Quetame, conformado por un embalse localizado sobre el Río Negro y por una central hidroeléctrica que descarga al mismo río.

- Proyecto de Guayabetal, conformado por un embalse localizado sobre el Río Negro, aguas abajo del embalse de Quetame, y por una central que descarga los caudales captados del río Negro en la cuenca del río Guatiquía.

- Proyecto La Rosa, conformado por el embalse y la central del mismo nombre, localizados sobre el mismo río que en este sitio cambia su nombre a río Guayuriba, aguas abajo del embalse de Guayabetal, alimentado por vertimientos de este más la hoya adicional aguas abajo de la presa de Guayabetal.

- Proyecto Humea, conformado por un embalse y una central sobre el río Humea.

- Desviación Guatiquía-Humea mediante la cual se desvían hacia el embalse de Humea parte de los caudales de Guayabetal y del río Guacavía.

- Desviación Guatiquía-Guayuriba, mediante la cual se restituye durante el verano el caudal requerido por los distritos de riego existentes y proyectados en la zona.

6.2.2. Alternativa II

Está compuesta por las siguientes obras: (Véase Figura 6.2.).

- Proyecto Quetame similar al de la alternativa I.

- Proyecto Guayabetal, conformado por el embalse previsto en la alternativa I para este proyecto y por una central que descarga sobre el río Negro.

- Proyecto de La Rosa sobre el río Guayuriba similar a la alternativa I, más con todo el caudal de la hoya.

- Proyecto Humea como en la alternativa I.

6.2.3. Desviaciones

Dentro de cada una de las alternativas descritas anteriormente se analizó el efecto de la desviación del río Blanco al embalse de Quetame, cuya finalidad es la de incrementar la energía generada por la central de Quetame, y la desviación del río Manzanares y de la Quebrada el Engaño para incrementar, asimismo, la generación de la central de Guayabetal (Ver Figuras No. 6.1 y 6.2).

6.2.4. Proyectos del Río Guatiquía

Dentro de la cuenca del río Guatiquía los proyectos de Chacanal y Monteloro, que operarían a filo de agua, ya que dado lo estrecho del cañón no es posible obtener embalses reguladores (Ver Figura No. 6.3.).

6.3. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

A partir de las dos alternativas básicas e incluyendo o nó las desviaciones propuestas, se conformaron 8 alternativas y se evaluó el potencial energético de cada una de ellas por medio de un modelo que simula la operación del sistema y permite optimizar la producción de energía firme agregada.

Este modelo permitió seleccionar la mejor política de operación para cada alternativa; determinar la magnitud del volumen útil recomendable para cada embalse desde el punto de vista energético, teniendo en cuenta el transporte de sedimentos de los ríos que afecta la capacidad de regulación de ellos a través de la vida útil y en consecuencia reduce su capacidad de afirmar energía; igualmente, se determinó mediante el modelo la capacidad instalada de cada una de las centrales de acuerdo con un factor de planta preestablecido.

Por otra parte, se predimensionaron las obras principales de cada una de las alternativas, con base en los resultados de las simulaciones; se estimaron los presupuestos totales de cada alternativa y por último se calcularon los costos respectivos de generación del kilovatio-hora.

De este análisis, se encontró que la alternativa más recomendable técnica y económicamente para el desarrollo correspondía al Esquema I. Contempla el embalse y la central de Quetame; el embalse y la central de Guayabetal descargando al río Guatiquía; el embalse y la central de Humea con la desviación de Guatiquía-Humea; el embalse y la central de La Rosa; y la desviación del río Blanco al embalse de Quetame.

En cuanto a los proyectos sobre el río Guatiquía, se encontró que no presentaban perspectivas de interés debido a las condiciones geológicas adeversas de la zona en donde están ubicados y a la topografía desfavorable, que no permite crear embalses de regulación.

Por otra parte, dentro de la alternativa seleccionada, se encontró que el proyecto La Rosa era poco atractivo debido al alto costo de la generación obtenida y a las condiciones geológicas desfavorables de la zona del proyecto. Sin embargo, en un fu

turo no lejano esta planta y su embalse será importante dentro de un plan integrado de riego en el valle del Guayuriba.

Con posteridad al análisis anterior, se encontró la posibilidad de incluír dentro del esquema seleccionado la desviación de aguas de la cuenca del río Guacavía al embalse del Humea, cuyo análisis se hizo dentro de los estudios sobre la simulación final del sistema que se describe en el capítulo de potencia y energía de este volumen.

6.4. OPTIMIZACION DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

6.4.1. General

Dentro de la Alternativa I, y como parte de los estudios de factibilidad , se optimizo el esquema de desarrollo, teniendo en cuenta factores tales como:

- Impacto social y asentamientos humanos.
- Atarquinamiento de los embalses por sedimentos transportados.
- Maximización de la generación económicamente favorable.
- Condiciones geológicas adecuadas para el diseño más económico.
- Abrir posibilidades de riego para grandes extensiones de tierra.

6.4.2. Desarrollo del Río Negro

El salto bruto total del Río Negro para ser desarrollado en dos plantas en cascada puede dividirse, hasta donde la topografía lo permite, en varias combinaciones de saltos parciales.

Al bajar la altura de presa de Guayabetal se puede bajar la cota de la casa de máquinas de Quetame incrementando así el salto de este proyecto y disminuyendo el de aquel. Al contrario , una presa alta en Guayabetal disminuye el salto de Quetame. Con ayuda del modelo de simulación se encontró la energía ge

nerada en ambos casos para diversas combinaciones de cotas. Sin embargo, en la decisión final se tuvo muy en cuenta el factor social y de sedimentos.

A pesar de las evidentes ventajas del sitio de presa en Chirajara del proyecto Guayabetal, se seleccionó una altura de presa relativamente baja de 90 metros, teniendo en cuenta dos factores de gran importancia :

1. Los sedimentos transportados en el sitio de Chirajara son abundantes y requerirían un gran embalse para almacenarlos durante la vida útil del proyecto. Siendo el valle estrecho, la capacidad de embalse no aumenta substancialmente al subir la altura de presa y si de todas formas el embalse es insuficiente es preferible tener una presa baja con obras anexas diseñadas para manejar sedimentos.

2. Aunque pequeña, la población de Guayabetal con sus 1 400 habitantes constituiría un problema social en caso de inundación. Con la altura de presa seleccionada se preserva la población y se evita la relocalización con todos sus problemas socio-económicos.

En relación con la altura de presa de Quetame, el volumen de embalse aumenta substancialmente con la altura de presa. Por otra parte la regulación del Río Negro tendrá que hacerse en este embalse, lo mismo que el almacenamiento de los sedimentos producidos por la parte alta de la hoya. Por esta razón se seleccionó una altura de presa, 185 metros, que puede considerarse la máxima para las condiciones del sitio y para no inundar el casco urbano de la población de Quetame.

La localización en caverna de la casa de máquinas del proyecto Quetame no tiene alternativas puesto que no existen en la zona sitios amplios y adecuados para la construcción de una central superficial. Por lo contrario, como se presentó en la etapa de prefactibilidad, la casa de máquinas de Guayabetal puede localizarse en una playa aluvial del río Guatiquía extensa y muy favorable para alojar la central, campamentos, bodegas, subestación etc. Sin embargo se presenta en este informe de factibilidad un esquema con la central subterránea en una caverna lo

calizada dentro del macizo Quetame, que suprime 3 Km., de conducción blindada de la alternativa superficial; el ahorro en costo es importante y afecta substancialmente el costo total del proyecto.

6.4.3. Desarrollo del Humea

La disponibilidad de una alta capacidad en este embalse a costos razonables y su disposición en el sistema, permite su utilización como reserva energética del mismo durante los períodos de verano, de tal manera que en los inviernos la escorrentía se utiliza en forma intensiva preferencialmente en las centrales de Quetame y Guayabetal, mientras que el proyecto Humea solo utilizaría los vertimientos potenciales durante estos períodos y almacenaría agua para ser generada durante los veranos, cuando la escorrentía en todos los sitios y la reserva de agua disponible en los otros proyectos es escasa.

Las consideraciones anteriores y los costos relativamente bajos de la presa y del embalse condujeron a definir un volumen útil de 2400 Mm^3 y un nivel máximo de operación en la cota 405, permitiendo la llegada por gravedad de las desviaciones de las aguas provenientes de la cuenca del río Guacavía y de la central de Guayabetal y una operación más eficiente de la central debido a las menores variaciones en los saltos al efectuar los desembalses ; el nivel mínimo de operación resultante (cota 370) determina un volumen muerto de 1400 Mm^3, que supera el requerido para la disposición de los sedimentos durante la vida útil del proyecto, pero al mismo tiempo representa economías en las obras de captación y conducción de la central.

6.4.4. Conducción Guatiquía - Humea

Con el objeto de incrementar la generación en la central de Humea, aprovechando su capacidad de turbinación y la disponibilidad de almacenamiento de su embalse, se estudió el efecto de la desviación parcial hacia este embalse de corrientes de la Hoya del río Guacavía y del caudal descargado por la central de Guayabetal. Los criterios que se tuvieron en cuenta para determinar los caudales de diseño de dichas desviaciones y en consecuencia la magnitud de los caudales desviados se describen a continuación :

1. Desviación Guayabetal - Humea

Con esta desviación se obtiene una disposición de embalses que aprovecha eficientemente el salto disponible entre el embalse de Quetame y la descarga de la central de Humea y se logra igualmente aumentar significativamente el factor de planta conjunto del sistema, gracias al proceso de generación en serie que permite utilizar al máximo el embalse de Humea.

Esta desviación se diseñó con una capacidad de 125 m^3/s, igual al caudal de diseño de la central de Guayabetal, teniendo en cuenta que para atender las demandas de riego en el río Guayuriba sólo se restituyen a este río durante el verano un promedio de unos 20 m^3/s; con dicho caudal de diseño se desvían en promedio unos 72 m^3/s hacia el embalse de Humea.

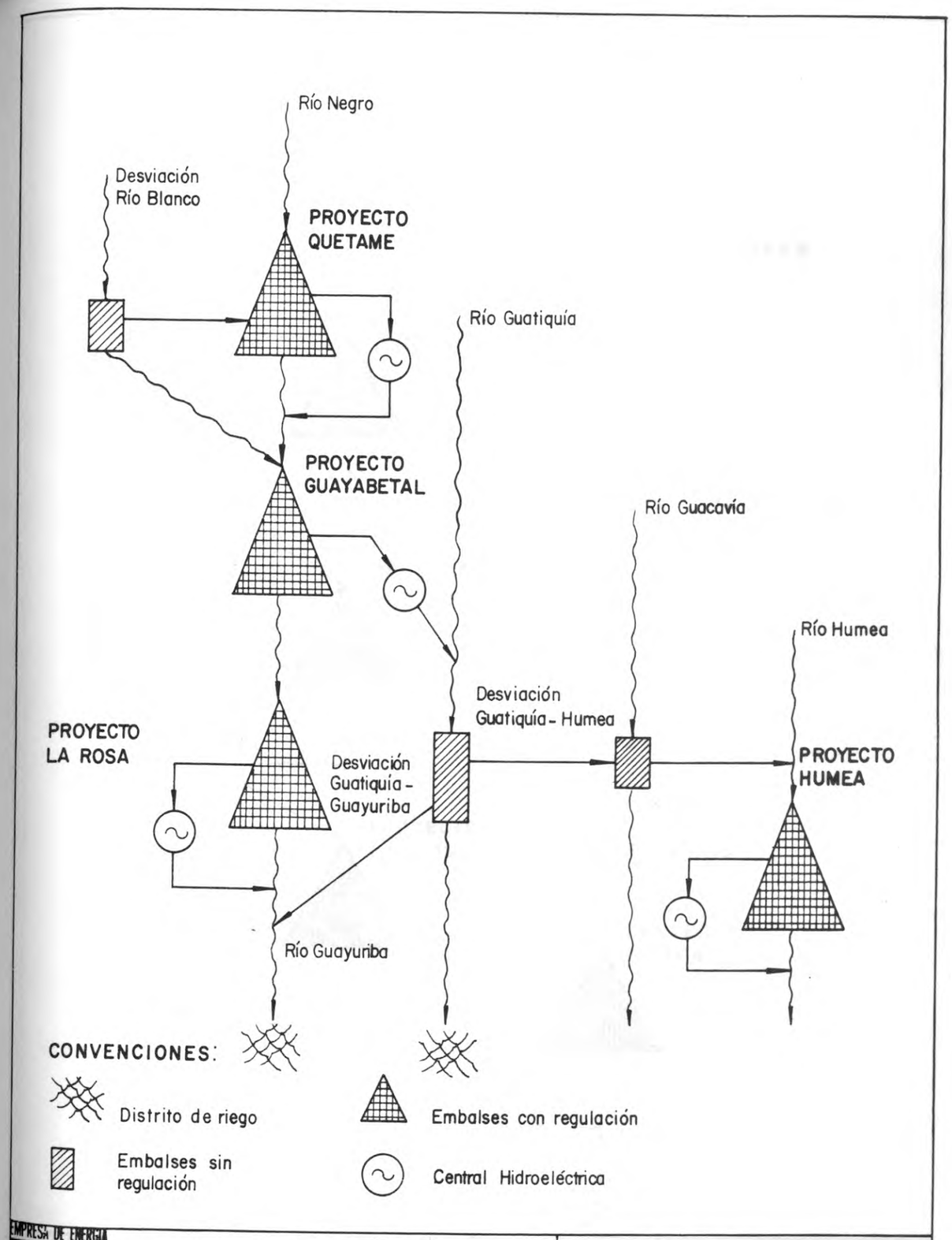
Es conveniente anotar que no se aprovecharon los caudales del río Guatiquía para desviarlos hacia el embalse de Humea, a causa del alto contenido de sedimentos que arrastra este río, lo cual impondría un mantenimiento excesivo a la desviación.

2. Desviación Guacavía - Humea

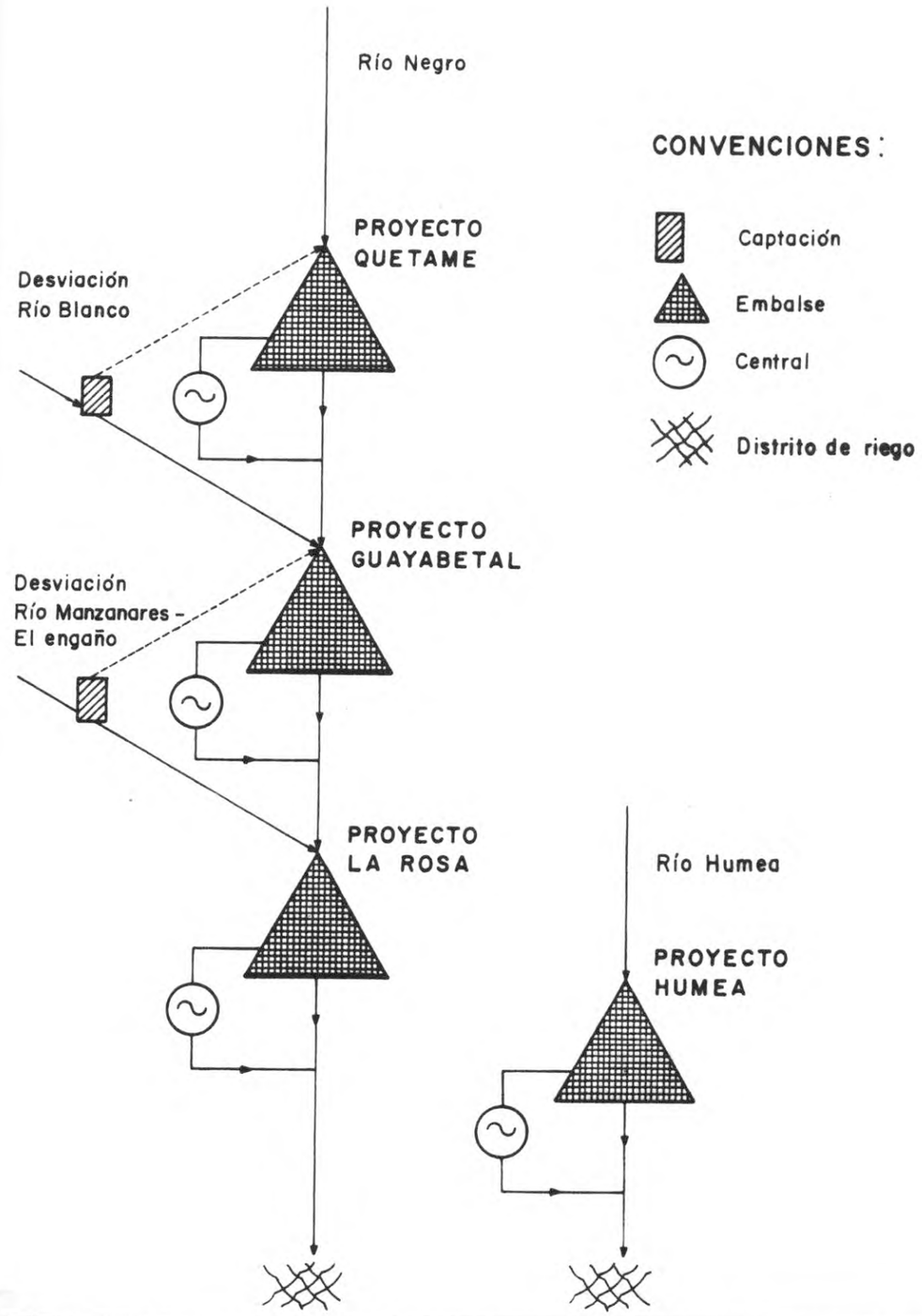
Para definir la capacidad de la conducción Guacavía- Humea se tuvo en cuenta el caudal requerido para atender las demandas de agua de los futuros distritos de riego localizados aguas abajo del piedemonte del río Guacavía, que se fijó en unos 13 m^3/s, correspondientes al caudal promedio multianual de los dos meses más secos, y se estableció la meta de desviar mediante pequeñas estructuras localizadas en diferentes corrientes tributarias del río Guacavía, un caudal multianual de 39.0 m^3/s que corresponde al 80% del caudal no utilizado para atender el riego, teniendo en cuenta que para desviar caudales ligeramente mayores se requerirían incrementos notables de la capacidad de la conducción. En esta forma, se determinó una capacidad del canal de desviación en su tramo final de 190 m^3/s, de tal manera que permita conducir además el caudal proveniente de la descarga de la central de

Guayabetal, que se puede desviar hacia este embalse se gún se mencionó anteriormente.

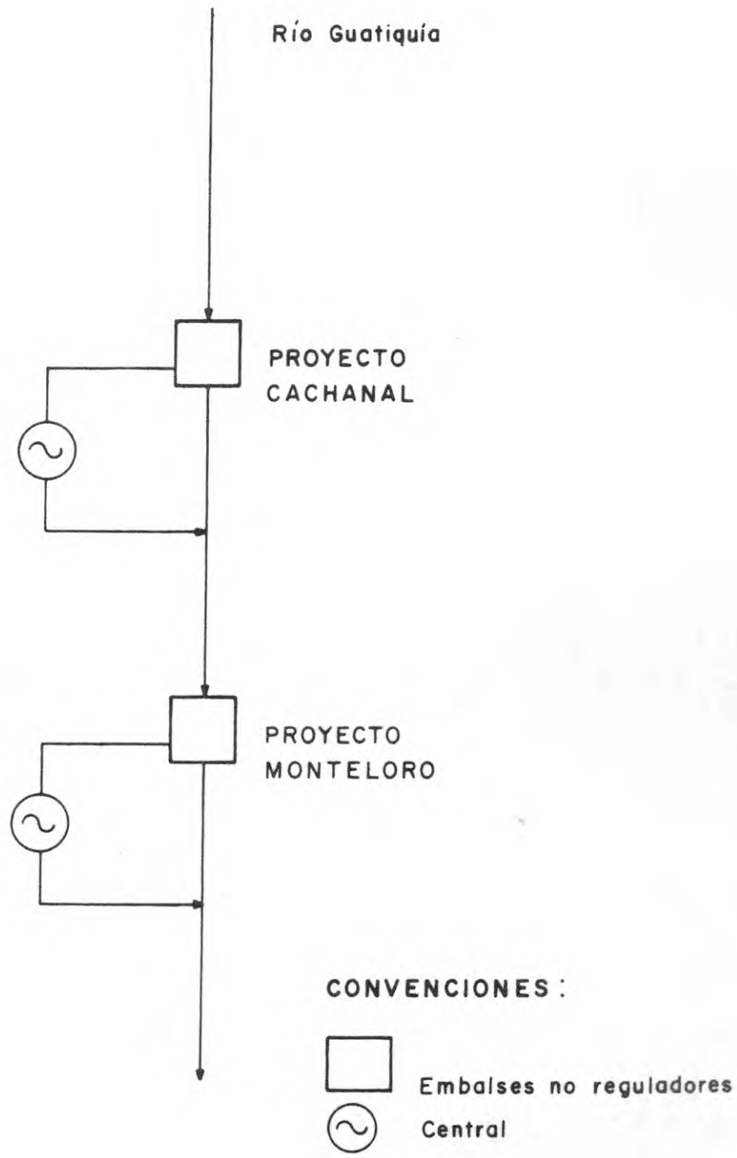
Las dos desviaciones anteriores adicionan unos 110 m^3/s a la hidrología de hoya propia del río Humea, permitiendo incrementar su escorrentía en un 96% aproximadamente.



Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá CONTRATO 3280 PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	CONFIGURACION BASICA DEL SISTEMA ALTERNATIVA I	
GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS - INTEGRAL	Fecha: Julio 1982	Figura: Nº 6.1



EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DE BOGOTA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá CONTRATO 3280 PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	ALTERNATIVA II CONFIGURACION BASICA DEL SISTEMA
	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS - INTEGRAL	Fecha: Julio 1982 — Figura: Nº 6.2



EMPRESA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BOGOTÁ	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá CONTRATO 3280 PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO GUAYURIBA	ALTERNATIVA DE DESARROLLO SOBRE EL RIO GUATIQUIA SISTEMA REPRESENTADO
	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS - INTEGRAL	Fecha: Julio 1982 — Figura: Nº 6.3

CAPITULO VII

Potencia y energía

CAPITULO VII

POTENCIA Y ENERGIA

7.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describe la metodología seguida, los modelos matemáticos empleados para simular la operación del sistema, las políticas de operación utilizadas y las consideraciones generales hechas al determinar los volúmenes útiles de los embalses, las capacidades instaladas de las centrales y las capacidades de las desviaciones asociadas con los proyectos identificados dentro del desarrollo hidroeléctrico de los ríos Negro-Guayuriba y Humea. Igualmente se presentan los resultados generales de los estudios realizados con el fin de dar una idea global sobre el desarrollo.

7.2 SIMULACION DE LA OPERACION DEL SISTEMA

Para la simulación de la operación del sistema hidroeléctrico de los ríos Negro-Guayuriba y Humea, se utilizaron series de caudales sintéticos generadas mediante un modelo matemático, calibrado con base en series de caudales históricos o restituídos estadísticamente, en cada uno de los sitios de interés; en el capítulo sobre hidrología se describen en detalle los estudios realizados en este sentido. Puede considerarse que las series estocásticas así obtenidas, en número suficiente, conforman una muestra representativa del afluente hidrológico.

La producción de energía para una configuración dada del sistema, fué evaluada mediante la utilización de un modelo matemático de simulación, implementado para tal efecto, que representa al sistema en forma desagregada y que para cada caso, almacena, libera y genera los caudales afluentes, produciendo como resultado series de energías generadas por cada serie hidrológica disponible. Tal modelo permite considerar diferentes configuraciones del sistema variando en ellas los distintos parámetros que inciden en la producción energética. De este modo es posible analizar la respuesta del

sistema en términos probabilísticos y determinar las metas de generación para una confiabilidad dada. Los estimadores estadísticos del conjunto de series de energías así obtenidas, se utilizaron posteriormente con el fin de comparar las diferentes configuraciones analizadas.

7.2.1 Esquema Analizado

En general, el estudio se centró sobre la configuración del sistema identificado en la etapa de prefactibilidad, conformada por los proyectos hidroeléctricos de Quetame y Guayabetal sobre el río Negro-Guayuriba y el proyecto Humea sobre el río del mismo nombre (véase Figura 7.1). Es de anotar que en todas las simulaciones efectuadas, se garantizó prioritariamente el suministro de agua requerido por los distritos de riego localizados aguas abajo de los proyectos, aún en los meses de verano.

Con el fin de establecer una posible secuencia del desarrollo, se analizó el comportamiento del sistema completo, los proyectos Quetame y Guayabetal operando aisladamente y por último el proyecto Quetame en forma independiente. Dentro de estas configuraciones, se estudiaron además los aportes energéticos de las desviaciones del río Blanco hacia el proyecto Quetame y del caudal descargado por el proyecto Guayabetal y el río Guacavía al embalse de Humea.

7.2.2 Políticas de Operación

La operación del modelo se hizo tratando de maximizar la generación hidroeléctrica en el sistema, utilizando la regla de operación seleccionada para tal efecto, luego de satisfacer los requerimientos de riego, los cuales se definieron como el promedio de los caudales medios multianuales de los meses menos húmedos en sitios cercanos a los respectivos distritos de riego.

A continuación se describe el algoritmo de operación para cada mes de la simulación :

a. Inicialmente se intenta satisfacer el caudal requerido en el distrito de riego aguas abajo del río Guatiquía, con el caudal correspondiente al mes considerado en dicho sitio: si éste no es suficiente, se

utiliza parte de los aportes hidrológicos para el mismo mes en el sitio de Quetame y/o Guayabetal, produciendo a su paso energía en esos sitios; si aún no se ha satisfecho el requerimiento, se obligan desembalses en Quetame y/o Guayabetal, estableciéndose un déficit en ese distrito de riego cuando por último no se cumpla su requerimiento.

b. Para cumplir con el requerimiento de riego en el río Guayuriba, se utilizan los aportes hidrológicos correspondientes al mes analizado en el sitio del proyecto de La Rosa; si éste no es suficiente, se procede en forma similar a la descrita anteriormente con los embalses de Quetame y Guayabetal, utilizando para ello el canal de desviación entre los ríos Guatiquía y Guayuriba hasta cuando se consigue el objetivo.

c. Se actualizan los archivos (volúmenes de embalse, aportes hidrológicos, etc) en términos de energía, y se operan los embalses mediante la aplicación de la regla de operación de los espacios iguales, que se considera muy adecuada para el análisis de sistemas en paralelo altamente no lineales; además, en los estudios de prefactibilidad se encontró que la energía firme resultante de la simulación de este sistema era poco sensible a la política de operación. Esta política minimiza los vertimientos en tal forma que los embalses se presentan en uno de los tres estados siguientes : todos llenos y vertiendo, todos llenos sin vertir ó todos parcialmente llenos. Estos estados se obtienen al final de cada mes, mediante una condición de proporcionalidad según la cual, la relación entre el espacio vacío al final del mes en un embalse y el espacio vacío total del sistema, sea igual a la relación entre la cantidad de energía que llegará a dicho embalse y la energía total que llegará al sistema, en un número predeterminado de meses siguientes al mes en consideración.

7.2.3 Definición de Términos

Los principales estimadores asociados a la producción energética considerados para cuantificar las respuestas del sistema a los estímulos hidrológicos se definen a continuación.

a. Energía Disponible

Es aquella energía que, para una configuración de embalses y una

regla de operación dadas, se podría generar si se dispusiera de una capacidad instalada tal que no produjera vertimientos.

b. Energía Promedia

Es el valor esperado de las energía producidas durante un período de tiempo dado.

c. Energía Firme

Es aquella energía que puede garantizarse con una cierta confiabilidad durante un período de tiempo dado.

d. Energía Primaria

Es la energía mensual máxima que se garantiza mes a mes con una cierta confiabilidad durante todo el período de tiempo considerado en la simulación.

e. Energía Secundaria

Es la diferencia entre la energía promedia y la energía firme, para un período de tiempo dado.

f. Energía Confiable

Es el valor esperado de las energías firmes a nivel anual.

g. Energía Vertida

Es aquella energía que se produciría si se turbinaran los volúmenes de agua no utilizados, por estar copadas la capacidad de generación en las plantas y la capacidad de almacenamiento en los embalses.

h. Capacidad Instalada

Es la máxima potencia que se puede alcanzar en barras de subestación, cuando todas las unidades operan a plena carga, bajo el salto correspondiente al nivel normal de operación.

i. Factor de Planta

Es la relación entre la energía generada en un período y la energía que se obtendría operando la planta durante dicho período a su capacidad instalada.

j. Verano

Período comprendido entre el 1 de diciembre y el 30 de abril.

k. Invierno

Período comprendido entre el 1 de mayo y el 30 de noviembre.

Como nivel de confiabilidad asociado con las energías garantizables se tomó el 95%, de manera que para un período dado, de 100 valores de energías generables se selecciona aquel que es excedido o igualado por 95 de ellos.

7.2.4 Análisis de las Principales Variables de Diseño

Tal como ya se ha anotado, los parámetros básicos de los proyectos que conforman el sistema y cuya definición fué el objeto de las simulaciones son los volúmenes de los embalses, las capacidades instaladas en las centrales y las capacidades de conducción para las derivaciones y los canales de restitución.

Dado el gran número de combinaciones entre los posibles valores de estos parámetros, se siguió un procedimiento tendiente a evaluar la sensibilidad del sistema a las variables, a partir de un número relativamente pequeño de simulaciones. Dentro de este procedimiento, se definió inicialmente la capacidad del canal Guatiquía-Guayuriba, considerado como una variable independiente, y se establecieron relaciones de dependencia entre los parámetros que permitieron tomar decisiones sobre algunos de ellos, como son los volúmenes de los embalses, y luego de los resultados inducir los otros, tales como las capacidades instaladas en las centrales de los distintos proyectos. Igualmente, se determinaron relaciones entre grupos de variables que permitieron establecer comparaciones de las diferentes configuraciones, con base en un solo parámetro que las representa, como es el volumen de almacenamiento

energético, procedimiento que se describirá con mayor detalle en los numerales siguientes. Por último, se analizó el efecto de otras variables de diseño tales como las desviaciones del río Blanco hacia el embalse de Quetame, y las del agua turbinada en la central de Guayabetal y del río Guacavía hacia el embalse de Humea.

a. Volúmenes de Embalse

La etapa inicial de las simulaciones se orientó a analizar el efecto de los volúmenes útiles en los distintos embalses sobre la producción de energía firme en el sistema. Para este análisis se hizo abstracción de las capacidades instaladas, permitiendo turbinar en cada sitio cualquier caudal y asociando la generación a los saltos netos disponibles y a las eficiencias de las conducciones y equipos generadores. Lo anterior debido a que para un proyecto dado, tanto los saltos como las eficiencias son funciones exclusivas del nivel de los embalses y por lo tanto se puede considerar que los respectivos volúmenes determinan por si mismos la distribución en el tiempo de la energía disponible y que para un mayor almacenamiento se logra un mayor transporte de energía del invierno al verano; además, la energía primaria del sistema está ligada directamente a esta distribución y se puede considerar independiente de la capacidad instalada, puesto que ésta se orienta a la obtención de potencias mucho mayores que las promedias de los meses de verano.

Como consecuencia de lo anterior, los beneficios energéticos garantizables y esperados pueden incrementarse disponiendo mayores volúmenes útiles de embalse en los diferentes sitios, ya que la producción de energía firme es creciente con ellos y porque para una capacidad instalada dada, que garantice la producción de la energía firme que puede regular el embalse útil, es posible mejorar la generación de energía promedia mediante la disposición de un mayor volumen útil en el embalse que proporcione una mejor distribución temporal del afluente hidrológico.

En el análisis de las combinaciones de los volúmenes de los embalses se consideró, como parámetro auxiliar, la capacidad de almacenamiento energético del sistema, definida como la máxima energía que se puede obtener de él sin tener en cuenta los afluentes hidrológicos y partiendo del estado de embalses llenos. Al efectuar simulaciones para diferentes valores de almacenamiento energéti-

co, se encontró que la variación de la energía primaria del sistema agregado con respecto a dicho parámetro, era prácticamente lineal; este resultado indica fundamentalmente, que el volumen útil total de los embalses es pequeño con respecto a los caudales disponibles y, por lo tanto, la probabilidad de que los embalses se llenen en cada invierno es muy alta. Igualmente, se determinó la contribución de los volúmenes de los embalses en los diferentes sitios al almacenamiento energético del sistema, notándose una gran independencia en dicho almacenamiento con respecto a su distribución en los diferentes sitios.

Además, teniendo en cuenta las funciones de costos para varias alturas de las presas, se encontró que el costo incremental de la energía primaria disminuye sensiblemente al aumentar el volumen útil de los embalses en los diferentes proyectos; este resultado permitió deducir que el valor unitario de la energía primaria asociado a los proyectos estudiados es también creciente con el volumen útil de sus embalses, de tal manera que los beneficios netos aumentan al hacerlo los volúmenes útiles de estos embalses. Es importante entonces tener en cuenta las limitaciones físicas y socioeconómicas que puedan restringir el volumen útil en los diferentes sitios de embalses.

b. Capacidades Instaladas

Al seleccionar la capacidad instalada en las plantas que hacen parte del desarrollo, se consideró que éstas deberían operar de modo que puedan atender la demanda del sistema de la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, con un factor de planta conjunto acorde con el factor de carga que presenta dicho sistema.

Una vez determinada la energía disponible en los diferentes sitios mediante el análisis del aporte de los respectivos volúmenes útiles y habiendo adoptado el factor de planta para el sistema, se efectuaron simulaciones para diferentes combinaciones de capacidades en las plantas que garantizaran dicha condición; la selección final de las capacidades dentro de este conjunto de valores se hizo con base en el análisis de los costos incrementales de instalación correspondientes a las distintas centrales, teniendo en cuenta además las capacidades mínimas no restrictivas de la producción de la energía firme en cada sitio.

7.3 PRODUCCION ENERGETICA

A partir de las consideraciones hechas durante el proceso de las simulaciones, que fueron descritas anteriormente y teniendo en cuenta las limitaciones físicas y socioeconómicas propias de cada proyecto, que restringen algunos de sus parámetros básicos - especialmente los volúmenes de embalses -, se determinaron finalmente los volúmenes útiles de los embalses, las capacidades instaladas en las plantas y las capacidades de conducción de las desviaciones y de los canales de restitución que han sido identificados como parte del desarrollo hidroeléctrico de los ríos Negro-Guayuriba y Humea. Los criterios especificados tenidos en cuenta al adoptar dichos parámetros en los diferentes proyectos y las correspondientes características de operación para la posible secuencia del desarrollo, se presentan en los volúmenes II, III y IV del presente informe. En los cuadros Nos. 7.1 y 7.2 se presenta un resumen de las características físicas principales seleccionadas para cada proyecto y su respectiva producción energética, una vez se complete el desarrollo final.

7.4 ANALISIS ECONOMICO DEL DESARROLLO

Para evaluar la factibilidad económica de los diferentes proyectos y alternativas estudiados para el desarrollo de los ríos Negro y Humea, se calculó el valor que a precios corrientes tendría el kilovatio-hora generado en los varios proyectos, como también el costo del kilovatio instalado. Estos dos índices, especialmente el primero, permiten seleccionar la alternativa más aconsejable, como también los proyectos de mayor atractivo y prioridad, al mismo tiempo que sirven como guía para comparar estos proyectos con otros que actualmente se encuentran a nivel de estudio y planeación en el país.

Para estimar el costo de generación del kilovatio-hora se calculó el costo anual de cada proyecto, el cual, dividido por la generación anual promedia durante el período estudiado, da el costo promedio que tendría la generación del kilovatio-hora.

El costo anual se estimó conservativamente como un 14% del costo de construcción de cada proyecto con base en los siguientes valores:

-	Rendimiento de la Inversión	10.0 %
-	Amortización (50 años)	2.0 %
-	Operación y Mantenimiento	1.5 %
-	Reparaciones Mayores	0.5 %
	Total	14.0 %

El costo total de construcción de cada proyecto se calculó con base en los costos directos que se presentan en el Capítulo VIII, los cuales incluyen un margen de imprevistos de 15% y un margen de 10% para ingeniería y administración.

En el Cuadro No. 7.2 se presenta el análisis económico de los proyectos, tanto para el caso en que no haya desviación del río Blanco, al embalse de Quetame y de los caudales del proyecto Guayabetal y del río Guacavía y afluentes al embalse de Humea, como para el desarrollo con estas desviaciones.

Al comparar los resultados presentados en el Cuadro No. 7.2 , se observa que el proyecto más económico en cuanto al costo de energía es el de Guayabetal, el cual tiene un costo por kilovatio-hora generado de 18.6 milésimas de dólar. El segundo proyecto en orden de economía es el de Humea que tendría un costo de generación de 26.2 milésimas de dólar por KWh. Sin embargo, debe notarse que la construcción de estos proyectos tiene como prerequisito la construcción de la central de Quetame, la cual provee la regulación del río Negro. Asimismo, el proyecto Guayabetal tiene prioridad sobre el de Humea, el cual recibe las aguas generadas en dicha central.

En el Cuadro No. 7.2 puede observarse claramente que los proyectos Quetame y Humea, son menos atractivos sin las desviaciones. En el proyecto de Quetame los costos de generación, se reducen de 35.8 milésimas de dólar por KWh a 31.4 milésimas de dólar al efectuar la del río Blanco, en tanto, que en el de Humea los costos se reducen de 30.8 milésimas de dólar por KWh a 26.2 milésimas de dólar por KWh al incluír la conducción de caudales de la central de Guayabetal y del río Guacavía y sus afluentes a su embalse.

Al analizar los costos unitarios del desarrollo total, esto es, considerar los tres proyectos como uno sólo, se concluye que el desa-

rrollo hidroeléctrico de los ríos Negro y Humea, es económicamente factible, pues es bastante competitivo cuando se compara con instalaciones hidroeléctricas similares en el resto del país, ya que su costo promedio de generación es de 24.5 milésimas de dólar por KWh y su costo por KW instalado de US $ 807.

CUADRO 7.1

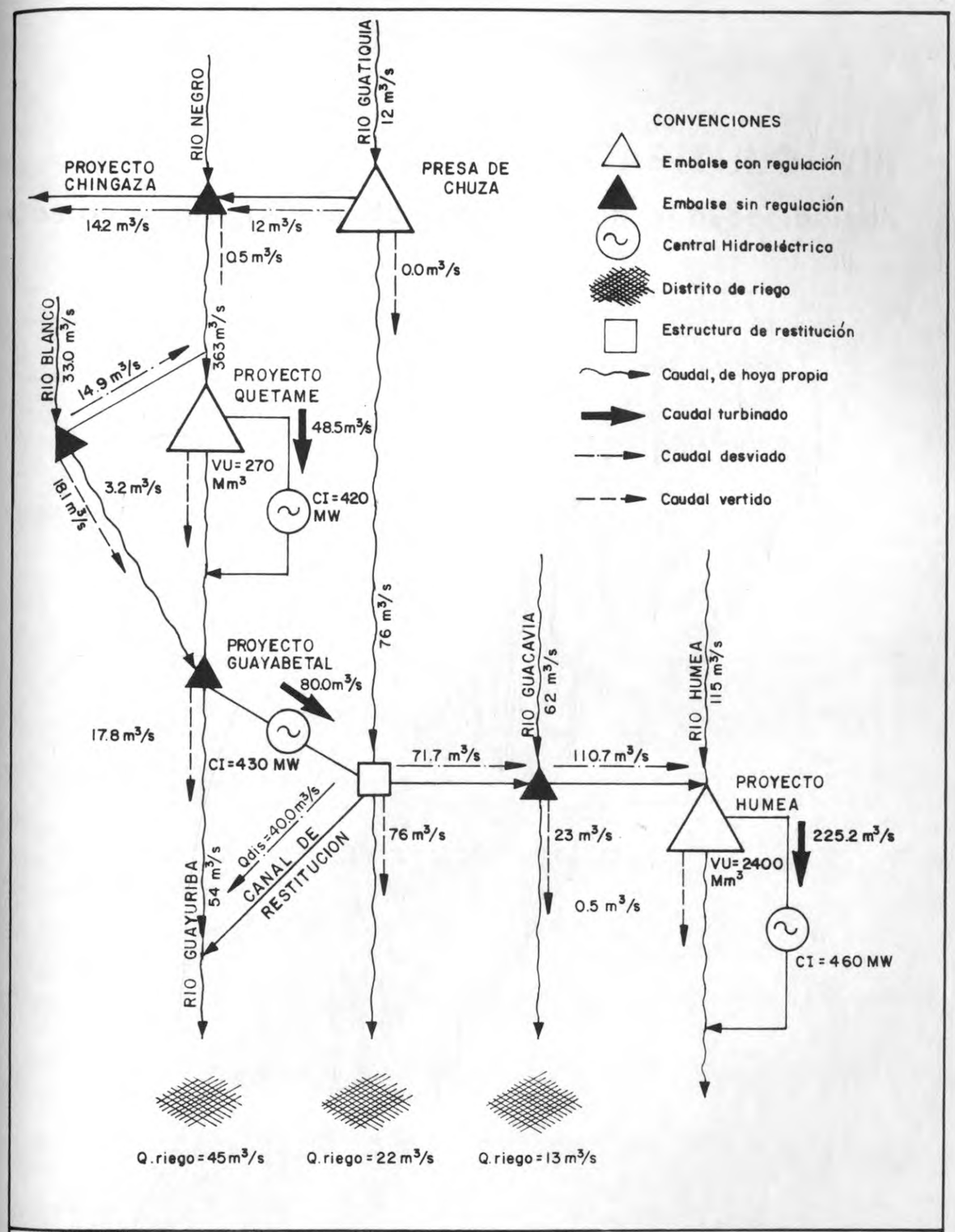
SISTEMA COMPLETO
QUETAME-GUAYABETAL-HUMEA
CARACTERISTICAS DE GENERACION

Proyecto	Energía Promedia GWh-año	Energía Promedia F.P	Energía Confiable GWh-año	Energía Confiable F.P	Energía Primaria GWh-año	Energía Primaria F.P	Capacidad Instalada MW
Quetame	1 664	0.45	1 402	0.37	1 314	0.36	420
Guayabetal	2 497	0.66	2 278	0.60	1 708	0.45	430
Humea	1 883	0.47	1 796	0.44	1 621	0.41	460
Sistema	6 044	0.53	5 476	0.50	4 643	0.41	1 310

CUADRO 7.2

COSTOS DE POTENCIA Y ENERGIA

	Quetame	Guayabetal	Humea	Total
COSTO TOTAL US$ Millones				
- Con desviación	372	332	353	1 057
- Sin desviación	302		212	
COSTO ANUAL US$ Millones				
- Con desviación	52.1	46.5	49.4	148
- Sin desviación	42.3		29.7	
CAPACIDAD INSTALADA MW				
- Con desviación	420	430	460	1 310
- Sin desviación	295		230	
ENERGIA PROMEDIO ANUAL GWh/año				
- Con desviación	1 664	2 497	1 883	6 044
- Sin desviación	1 180		964	
COSTO POR KW INSTALADO US$/ KW				
- Con desviación	886	772	767	807
- Sin desviación	1 024		921	
COSTO PROMEDIO KWh US$ Mils/KWh				
- Con desviación	31.4	18.6	26.2	24.5
- Sin desviación	35.8		30.8	



EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DE BOGOTA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá CONTRATO 3280 PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS - INTEGRAL	CONFIGURACION DE LA ALTERNATIVA ESTUDIADA FECHA: ARCHIVO: FIGURA: 7-1

CAPITULO VIII

Costos y programas de construcción y desembolsos

CAPITULO VIII

COSTOS Y PROGRAMAS DE CONSTRUCCION Y DESEMBOLSOS

8.1 GENERALIDADES

En este capítulo se resume el método utilizado para la determinación de los precios unitarios y la elaboración de los programas de construcción y desembolsos. Los presupuestos detallados de los proyectos se presentan en los volúmenes específicos de cada uno de ellos.

8.2 PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTOS

Los precios unitarios utilizados en este estudio se obtuvieron del análisis y comparación de precios de proyectos hidroeléctricos actualmente en construcción o en etapa de diseño. Estos precios se actualizaron a julio de 1982, teniendo en cuenta la variación de los índices de precios en los diferentes valores que inciden en los costos de construcción.

Basados en las cantidades de obra obtenidas de los esquemas de cada proyecto, se elaboraron los presupuestos detallados que reflejan con bastante exactitud el costo directo de construcción de cada proyecto estudiado.

Se estimaron partidas de 15% para imprevistos en las variaciones de diseño y construcción y de 10% para cubrir los gastos de administración, ingeniería e interventoría durante la ejecución del proyecto.

Para estimar el costo de generación por kilovatio-hora, se calcularon los costos anuales de los proyectos, estimados en un 14% del costo total de construcción, los cuales divididos por la energía promedio generada parcialmente da el costo por kilovatio-hora.

En este informe se incluyen los presupuestos resumidos de cada pro

yecto discriminados en costos de obras civiles y equipos (Cuadros 8.1, 8.2 y 8.3).

8.3 PROGRAMAS DE CONSTRUCCION Y DESEMBOLSOS

En este capítulo se presentan los programas de construcción (Cuadros 8.4, 8.5 y 8.6) de las obras civiles, suministro y montaje de los equipos de cada proyecto. El tiempo del programa de construcción se inicia a partir de la apertura de la licitación de las obras civiles principales, y no incluye el tiempo requerido para diseño ni aprobación de entidades financieras.

En el Proyecto Quetame se destaca la necesidad de iniciar la relocalización de la carretera Bogotá-Villavicencio en el tramo inundado antes de poder empezar las obras civiles de la presa. Posteriormente la ruta crítica del programa es la construcción de la presa que tomará aproximadamente 59 meses y llevará a la puesta en marcha de las primeras unidades a mediados del Año 7.

La construcción del túnel de carga en el Proyecto Guayabetal es la ruta crítica; esta actividad tomará aproximadamente 41 meses y de ella depende la terminación del proyecto a principios del Año 6. La presa de concreto por su bajo volumen y los altos rendimientos esperados no tomará sino aproximadamente 2 años de construcción.

En el Proyecto Humea la ruta crítica nuevamente será la construcción de la presa; paralelamente se deberán iniciar las obras de la conducción Guatiquía-Humea aunque esta actividad podría retrasarse sin influír en la puesta en marcha de las primeras unidades. El proyecto podrá terminarse a finales del Año 5 con los rendimientos esperados.

Con base en los programas de construcción se elaboraron los programas de desembolsos anuales para el período de construcción de las obras. Estos programas no incluyen la escalación de los costos durante este período, ni los costos de financiación de los créditos . (Cuadros 8.7, 8.8 y 8.9).

CUADRO 8.1
PROYECTO QUETAME
PRESUPUESTO RESUMEN

ITEM		Costo Miles de US $
1.	Infraestructura	
	- Obra Civil	26 980
	- Equipos	300
	Subtotal	27 280
2.	Presa y Obras Anexas	
	- Obra Civil	112 590
	- Equipos	3 900
	Subtotal	116 490
3.	Conducción	
	- Obra Civil	47 710
	- Equipos	4 500
	Subtotal	52 210
4.	Central	
	- Obra Civil	17 220
	- Equipos	58 940
	Subtotal	76 160
5.	Desviaciones del Río Blanco	
	- Obra Civil	25 305
	- Equipos	405
	Subtotal	25 710
	TOTAL OBRA CIVIL	229 815
	TOTAL EQUIPOS	68 045
	TOTAL COSTO DIRECTO	297 860
	IMPREVISTOS (15%)	44 680
	INGENIERIA Y ADMINISTRACION (10%)	29 460
	TOTAL COSTO DE CONSTRUCCION	372 000
	COSTO POR KILOVATIO INSTALADO	US$ 886
	COSTO ENERGIA PROMEDIO US$ Mils/kWh	31.4
	COSTO ENERGIA CONFIABLE US$ Mils/kWh	38.3

CUADRO 8.2

PROYECTO GUAYABETAL
PRESUPUESTO - RESUMEN

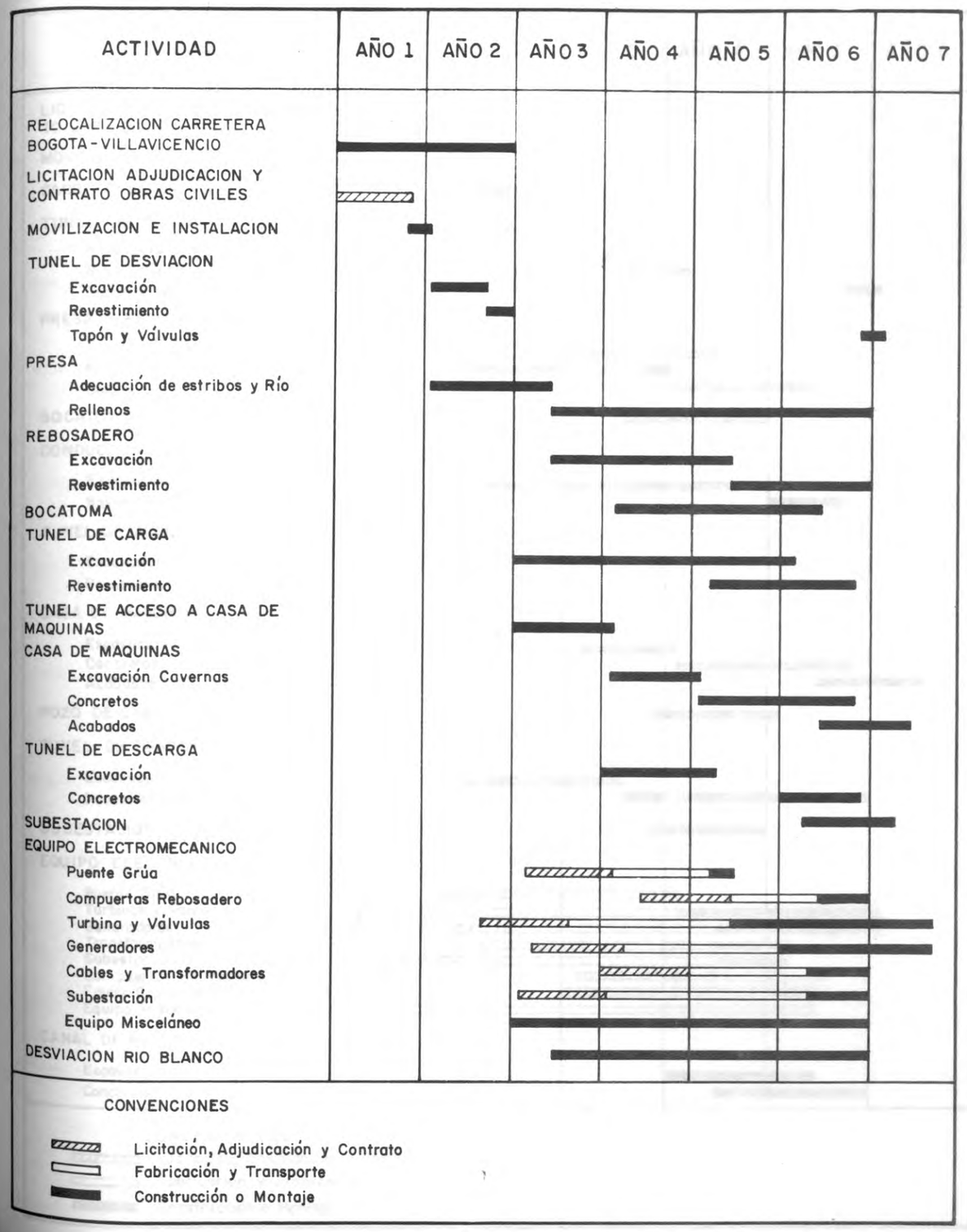
ITEM		Costo Miles de US $
1.	Infraestructura	
	- Obra Civil	7 180
	- Equipos	300
	Subtotal	7 480
2.	Presa y Obras Anexas	
	- Obra Civil	34 780
	- Equipos	5 210
	Subtotal	39 990
3.	Conducción	
	- Obra Civil	120 080
	- Equipos	12 480
	Subtotal	132 560
4.	Central	
	- Obra Civil	19 720
	- Equipos	61 870
	Subtotal	81 590
5.	Canal de Restitución	
	- Obra Civil	3 540
	- Equipos	450
	Subtotal	3 990
	TOTAL OBRA CIVIL	185 300
	TOTAL EQUIPOS	80 300
	TOTAL COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION	265 600
	IMPREVISTOS (15% ±)	39 800
	INGENIERIA Y ADMINISTRACION (10% ±)	26 600
	TOTAL COSTO DE CONSTRUCCION	332 000
	COSTO POR KILOVATIO INSTALADO	US$ 772
	COSTO ENERGIA PROMEDIO	US$ Mils/kWh 18.6
	COSTO ENERGIA CONFIABLE	US$ Mils/kWh 20.4

CUADRO 8.3
PROYECTO HUMEA
PRESUPUESTO RESUMEN

ITEM		Costo Miles US $
1.	Infraestructura	
	- Obra Civil	31 110
	- Equipos	300
	Subtotal	31 410
2.	Presa y Obras Anexas	
	- Obra Civil	57 855
	- Equipos	500
	Subtotal	58 355
3.	Conducción	
	- Obra Civil	23 580
	- Equipos	9 000
	Subtotal	32 580
4.	Desviación Guatiquía-Humea	
	- Obra Civil	71 430
	- Equipos	2 310
	Subtotal	73 740
5.	Central	
	- Obra Civil	20 800
	- Equipos	65 335
	Subtotal	86 135
	TOTAL OBRA CIVIL	204 775
	TOTAL EQUIPOS	77 445
	TOTAL COSTO DIRECTO	282 220
	IMPREVISTOS (15%)	42 340
	INGENIERIA Y ADMINISTRACION (10%)	28 440
	TOTAL COSTO DE CONSTRUCCION	353 000
	COSTO POR KW INSTALADO	US$ 767
	COSTO ENERGIA PROMEDIO US$ Mils/kWh	26.2
	COSTO ENERGIA CONFIABLE US$ Mils/kWh	30.5

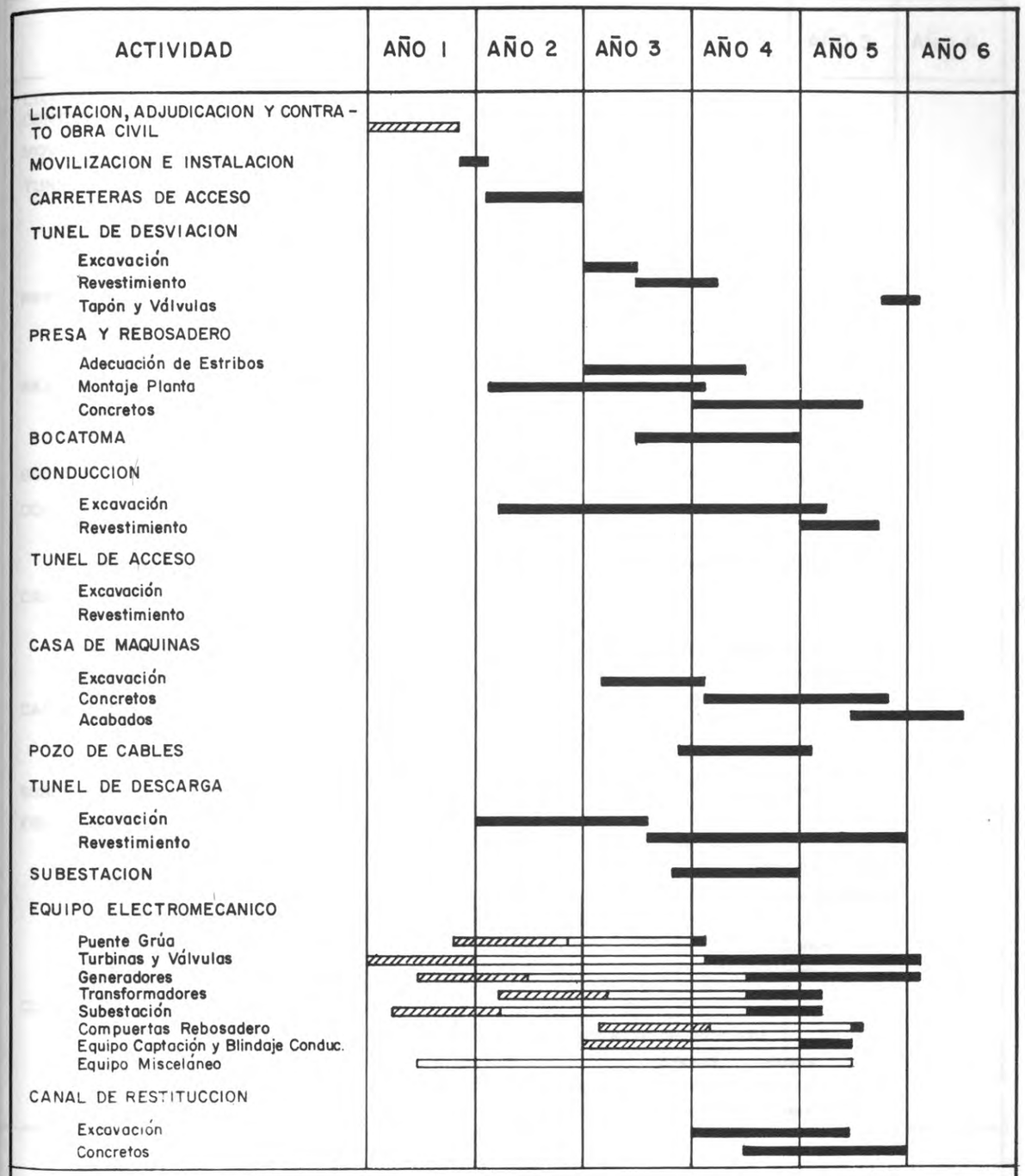
CUADRO 8.4

PROYECTO QUETAME
PROGRAMA DE CONSTRUCCION



CUADRO 8.5

PROYECTO GUAYABETAL
PROGRAMA DE CONSTRUCCION

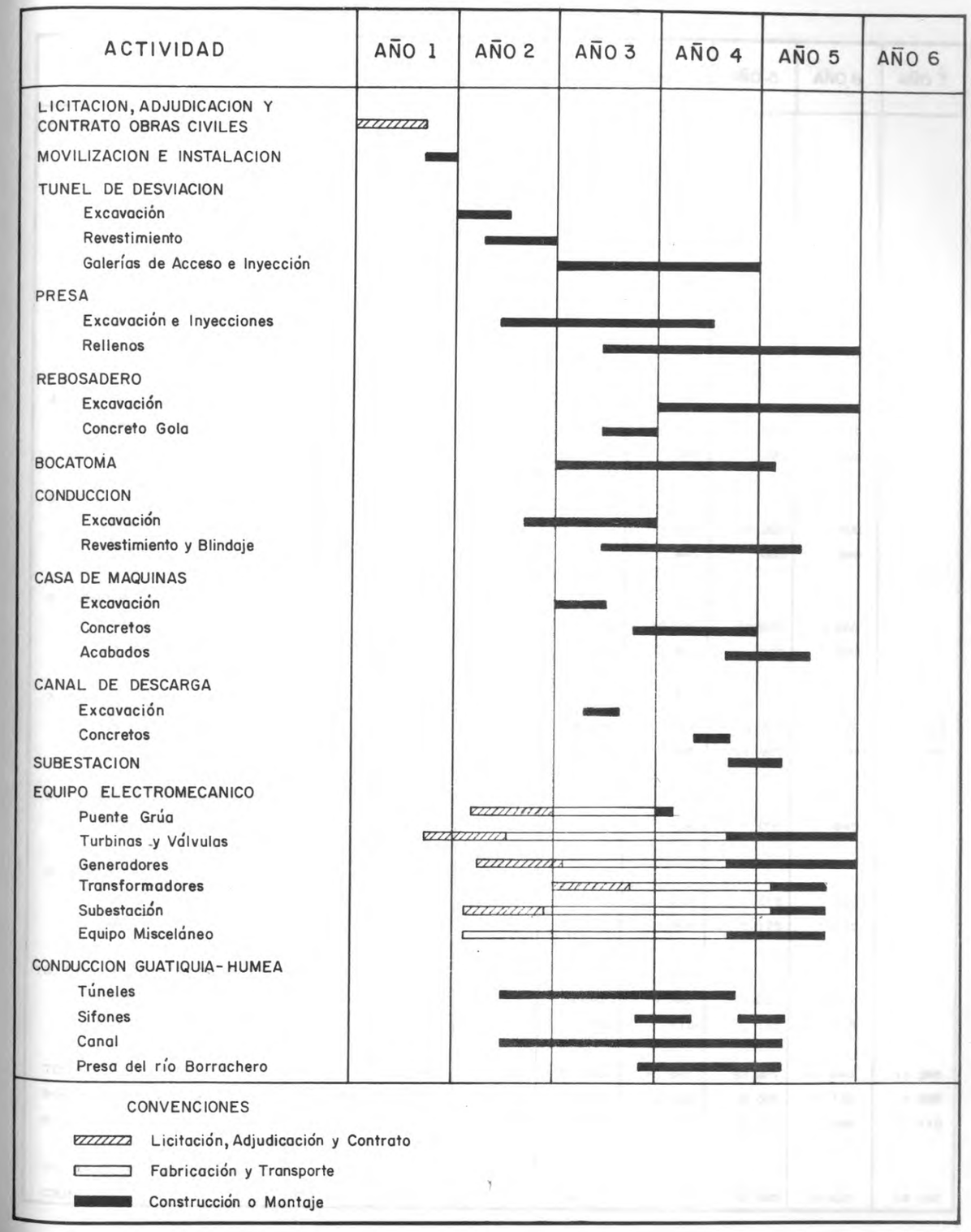


CONVENCIONES

- Licitación, Adjudicación y Contrato
- Fabricación y Transporte
- Construcción o Montaje

CUADRO 8.6

PROYECTO HUMEA
PROGRAMA DE CONSTRUCCION



CUADRO 8.7
PROYECTO QUETAME
PROGRAMA DE DESEMBOLSOS

ITEM	TOTAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
1. INFRAESTRUCTURA								
Obra Civil	26 980	13 490	13 490					
Equipos	300	150	150					
2. DESVIACION								
Obra Civil	10 130		3 980	4 340	1 810			
Equipos	500		195	215	90			
3. PRESA								
Obra Civil	68 130		12 700	13 855	13 855	13 860	13 860	
4. REBOSADERO								
Obra Civil	34 330			4 185	10 050	10 050	10 045	
Equipos	3 400			415	995	995	995	
5. OBRAS DE CAPTACION								
Obra Civil	2 700				800	1 200	700	
Equipos	1 500				445	665	390	
6. CONDUCCION								
Obra Civil	42 015			10 925	10 925	10 925	9 240	
Equipos	3 000			680	820	820	680	
7. CASA DE MAQUINAS								
Obra Civil	15 315			3 225	3 225	3 225	3 225	2 415
Equipos	56 190			11 830	11 830	11 830	11 830	8 870
8. TUNEL DE DESCARGA								
Obra Civil	3 005				1 030	1 030	945	
9. SUBESTACION								
Obra Civil	1 905				270	815	820	
Equipos	2 750				400	1 175	1 175	
10. DESVIACION RIO BLANCO								
Obra Civil	25 305			3 645	7 220	7 220	7 220	
Equipos	405			60	115	115	115	
TOTAL COSTO DIRECTO	297 860	13 640	30 515	53 375	63 880	63 925	61 240	11 285
Imprevistos 15%	44 680	2 045	4 575	8 045	9 580	9 590	9 150	1 695
Administración e Ing. 10%	29 460	1 350	3 020	5 305	6 315	6 320	6 035	1 115
TOTAL COSTO CONSTRUCCION :	372 000	17 035	38 110	66 725	79 775	79 835	76 425	14 095

CUADRO 8.8

PROYECTO GUAYABETAL
PROGRAMA DE DESEMBOLSOS

ITEM	TOTAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
1. INFRAESTRUCTURA							
Obra Civil	7 180	3 590	3 590				
Equipos	300	150	150				
2. TUNELES DE DESVIACION							
Obra Civil	3 770			3 015	755		
Equipos	50			40	10		
3. PRESA							
Obra Civil	31 010			11 625	11 630	7 755	
Equipos	5 150			1 935	1 935	1 280	
4. OBRAS DE CAPTACION							
Obra Civil	3 950			985	1 975	990	
Equipos	2 800			700	1 400	700	
5. CONDUCCION							
Obra Civil	116 130		27 870	30 195	30 195	27 870	
Equipos	9 680		2 325	2 515	2 515	2 325	
6. CASA DE MAQUINAS							
Obra Civil	18 720		3 930	4 305	4 305	4 305	1 875
Equipos	57 670		12 110	13 265	13 625	13 625	5 765
7. SUBESTACION							
Obra Civil	1 000				250	750	
Equipos	4 200				1 050	3 150	
8. CANAL DE RESTITUCION							
Obra Civil	3 540				1 770	1 770	
Equipos	450				200	250	
TOTAL COSTO DIRECTO	265 600	3 740	49 975	68 580	71 255	64 410	7 640
IMPREVISTOS 15%	39 800	560	7 490	10 275	10 680	9 650	1 145
ADMINISTRACION E INGENIERIA 10%	26 600	375	5 005	6 870	7 135	6 450	765
TOTAL COSTO CONSTRUCCION	332 000	4 675	62 470	85 725	89 070	80 510	9 550

CUADRO 8.9
PROYECTO HUMEA
PROGRAMA DE DESEMBOLSOS

ITEM	TOTAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
1. INFRAESTRUCTURA							
Obra Civil	31 110	15 555	15 555				
Equipos	300	150	150				
2. DESVIACION							
Obra Civil	5 810		1 785	1 785	1 785	455	
Equipos	500		150	150	150	50	
3. PRESA							
Obra Civil	35 965		4 390	10 525	10 525	10 525	
4. REBOSADERO							
Obra Civil	16 080			3 325	6 655	6 100	
5. OBRAS DE CAPTACION							
Obra Civil	10 950			5 050	5 050	850	
Equipos	4 000			1 845	1 845	310	
6. CONDUCCION							
Obra Civil	12 630		1 460	5 830	5 340		
Equipos	5 000		575	2 310	2 115		
7. CASA DE MAQUINAS							
Obra Civil	20 395			6 795	6 795	6 805	
Equipos	60 805			20 265	20 265	20 275	
8. CANAL DE DESCARGA							
Obra Civil	110			60	50		
9. SUBESTACION							
Obra Civil	295				145	150	
Equipos	4 530				2 265	2 265	
10. CONDUCCION GUATIQUIA-HUMEA							
Obra Civil	71 430		12 990	25 975	25 975	6 490	
Equipos	2 310		420	840	840	210	
TOTAL COSTO DIRECTO	282 220	15 705	37 475	84 755	89 800	54 485	
Imprevistos 15 %	42 340	2 355	5 615	12 720	13 475	8 175	
Ingeniería y Administración 10%	28 440	1 580	3 770	8 545	9 055	5 490	
TOTAL COSTO DE CONSTRUCCION	353 000	19 640	46 860	106 020	112 330	68 130	

CAPITULO IX

Conclusiones y recomendaciones

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios realizados bajo la Etapa B, Contrato 3280, que en el nivel de factibilidad incluyeron : investigación de campo, los levantamientos geológicos, estudio preliminar de riesgo sísmico, ensayos de materiales y análisis de alternativas, son la base para presentar las conclusiones siguientes y hacer recomendaciones orientadas hacia la acción futura para llevar al proyecto a su fase de construcción.

9.1 CONCLUSIONES

- Los estudios realizados permiten concluir que el desarrollo hidroeléctrico de los ríos Negro y Humea es técnicamente viable y económicamente favorable. Las dos plantas sobre el río Negro y la planta sobre el río Humea, con sus respectivas desviaciones de hoyas vecinas, se comparan favorablemente con otros proyectos en el país.

- El sistema combinado de las tres plantas permite afirmar la generación anual por la gran capacidad del embalse de Humea que estaría operando con máxima utilización en el tiempo de verano y la alta caída de las plantas del río Negro que tendrían su mayor utilización en el tiempo de invierno. Por otra parte, dentro del sistema interconectado nacional, la hidrología de la cuenca oriental es complementaria con aquella del occidente del país.

- Aunque en este informe de factibilidad se han enfocado los proyectos y se ha calculado su beneficio con base exclusiva en la generación eléctrica, uno de los grandes aportes para la economía nacional será la posibilidad de establecer un gran distrito de riego de 200 000 ha. sobre el valle del Humea abajo de la planta del mismo nombre.

- Las plantas del río Negro están geográficamente localizadas a 60 y a 80 km por carretera del gran centro de consumo que es

Bogotá y la planta del Humea está a 50 km de Villavicencio también por carretera. Las distancias de transmisión a Bogotá son de 45 km para la central de Quetame y de 65 para la de Guayabetal. La longitud de las líneas del proyecto Humea, sería de 35 km hasta la central del Guavio y de 50 km hasta la de Guayabetal.

- Las características topográficas de las plantas sobre el río Negro son favorables, puesto que el salto combinado de ambas es de 900 m. Asimismo, ambos sitios de presa son privilegiados, puesto que la presa de Quetame con más de 180 m de altura tiene un volumen relativamente pequeño y en Guayabetal fue posible diseñar una presa de concreto muy económica. Naturalmente estos cañones estrechos no permiten crear embalses de gran capacidad. Por el contrario, la presa de Humea emplazada en un sitio topográficamente favorable crea un embalse de 4 120 Mm3.

- Las condiciones geológicas son en general favorables y adecuadas para los esquemas presentados en este informe.

  En las plantas del Río Negro tanto los sitios de presa como los túneles de conducción estarán localizados en rocas metamórficas muy competentes; el túnel de descarga del Proyecto Guayabetal presenta condiciones menos favorables pues atraviesa lutitas blandas. El Proyecto Humea está localizado en areniscas y rocas terciarias de mediana dureza que para las características del proyecto son adecuadas.

  Los estudios muestran que hay dos desviaciones de hoyas vecinas que incrementarían la capacidad de las plantas a saber : el Río Blanco que se proyecta llevar por medio de un túnel al embalse de Quetame y la conducción de las aguas turbinadas del Proyecto Guayabetal, previa restitución para los distritos de riego existentes, que llevarán al embalse del Humea por medio de túneles y canales. Es especialmente importante esta última conducción, ya que a su paso el canal capta el río Guacavía y sus afluentes y el aporte total duplica la capacidad de generación de la planta.

- La energía promedio anual de las tres plantas operando con un factor de planta combinado de 0.53 es de 6 000 GWh/año; la capacidad instalada es de 1 310 MW. La energía que se puede

garantizar con una confiabilidad del 95% es de 5 500 GWh/año. La energía primaria o sea aquella que se garantiza mes a mes con una confiabilidad del 95% se estima en 4 650 GWh/año.

- Con precios actualizados hasta julio de 1982 e incluyendo un 15% de imprevistos y un 10% adicional para administración del proyecto, el costo de las plantas y de la energía producida es el siguiente :

Proyecto	Costo Total Millones US$	Costo KW Instalado US$ / KW	Costo Energía Promedio US$ Mils/kWh
Quetame	372	886	31.4
Guayabetal	332	772	18.6
Humea	353	767	26.2
Sistema Combinado	1 057	807	24.5

Es necesario aclarar en los datos anteriores, que la planta más económica que es Guayabetal requiere la construcción de la planta menos económica que es Quetame para almacenar los sedimentos de la parte alta de la hoya y para regular los caudales del río Negro. Asimismo, la alternativa más económica del Proyecto Humea es aquella que incluye aportes de la Planta Guayabetal.

- El programa de construcción elaborado en términos reales y conservadores muestra que la planta de Quetame es la que requiere mayor tiempo, 7 años; las plantas de Guayabetal y Humea se pueden construir en 6 y 5 años respectivamente.

- El impacto ecológico de los proyectos sobre el río Negro será mínimo en razón de la pequeña área inundada por los embalses y por la pobreza de los suelos existentes. En el embalse del Humea existe ganadería no intensiva en tierras relativamente pobres y el embalse producirá más que todo beneficio en cuanto a fauna y flora.

- El impacto socioeconómico de los proyectos del río Negro en la región se ha minimizado al no inundar los municipios de Quetame y Guayabetal. La Inspección de Policía de Puente Queta-

me, con 400 habitantes, no requiere relocalización sino compra directa a sus propietarios cuya fuente de ingresos son las ventas a orillas de la carretera. La nueva carretera les mantendrá esta posibilidad en el casco urbano de la población de Quetame. El embalse de Humea no inundará ninguna población, ni inspección ni corregimiento.

9.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá presentar los proyectos de río Negro y Humea a las entidades encargadas del desarrollo energético del país, puesto que estos proyectos pueden generar un bloque de energía importante dentro del ámbito nacional.

- Económicamente la situación más favorable es construír los proyectos simultáneamente; sin embargo, de acuerdo con la disponibilidad y recursos de la Empresa se podría acometer inicialmente la construcción solamente de las dos plantas de río Negro. No se considera ventajosa la construcción de una sola de estas plantas.

- Se recomienda continuar los estudios hidrológicos y de sedimentación, ya que se reconoce que una de las características fundamentales que requiere mayor precisión es la evaluación de sedimentos transportados. Se recomienda continuar el programa de perforaciones profundas, especialmente en los túneles y las centrales en caverna. La Empresa con sus propios equipos podría realizar estas investigaciones.

- Considerando la obligación que tendrá la Empresa de reforestar la hoya de acuerdo con la legislación vigente y el beneficio indudable que tendría sobre el arrastre de sedimentos, se recomienda comenzar un plan de control de erosión en hoyas piloto para evaluar los resultados de diferentes métodos en un tiempo oportuno.

ANEXO 1

Información Básica
Proyecto Quetame

ANEXO No. 1

INFORMACION BASICA
PROYECTO QUETAME

POTENCIA Y ENERGIA

Capacidad instalada		420	MW
Generación Primeros 10 años :			
- Energía Promedio	(f_p = 0.45)	190	MW continuos
- Energía Confiable	(f_p = 0.38)	160	MW continuos
- Energía Primaria	(f_p = 0.36)	150	MW continuos
Generación 50 años :			
- Energía Promedio	(f_p = 0.45)	190	MW continuos
- Energía Confiable	(f_p = 0.37)	155	MW continuos
- Energía Primaria	(f_p = 0.36)	150	MW continuos

HIDROLOGIA

Río Negro		
Area de la cuenca	1325	km^2
Precipitación media anual	1430	mm
Caudal medio	39	m3/s
Creciente máxima probable	7500	m3/s
Volumen anual de sedimentos	3.10	Mm3/año
Río Blanco y Afluentes		
Area de la cuenca	840	km2
Precipitación media anual	2000	mm
Caudal medio	33	m3/s
Aporte anual de sedimentos	0.35	Mm3/año

NIVELES PRINCIPALES Y SALTOS

Cresta de la presa	1438
Nivel fundación del núcleo	1250
N.A. máximo normal	1428
N.A. mínimo	1365

Nivel eje de turbinas	945	
Salto máximo bruto	483	m
Salto mínimo bruto	420	m
Salto neto de diseño	444	m

EMBALSE

Area	895	ha
Volumen total	450	Mm3
Volumen útil inicial	360	Mm3
Volumen útil a los 10 años	335	Mm3
Volumen útil a los 50 años	270	Mm3

DESVIACION DEL RIO BLANCO

Cota de desviación	1452	
Caudal medio desviado	15	m3/s
Capacidad máxima de desviación	20	m3/s
Longitud de la conducción	16	km
Diámetro de la conducción	4.0	m
Pendiente	0.2	%

DESVIACION DEL RIO CHIQUITO

Longitud de la conducción	2.6	km
Diámetro de la conducción	2.8	m

PRESA

Tipo	Enrocado con núcleo
Altura	188 m
Ancho de la cresta	12 m
Longitud de la cresta	280 m
Talud aguas arriba	2.0 H : 1.0 V
Talud aguas abajo	1.8 H : 1.0 V
Volúmenes	
- Núcleo impermeable	1' 060 000 m3
- Filtros y transiciones	440 000 m3
- Enrocado	7' 500 000 m3
- Ataguía y berma	250 000 m3
- Total	9' 250 000 m3

DESVIACION Y DESCARGA DE FONDO

Ataguía	
- Tipo	Enrocado con núcleo
- Altura	30 m
Túnel de Desviación	
- Longitud total	865 m
- Sección	Herradura 9.3 x 9.3 m
- Capacidad	1260 m3/s
- Pendiente	2.54 %
Descarga de Fondo	
- Localización	Túnel de desviación
- Tipo	Compuertas
- Capacidad máxima	140 m3/s

REBOSADERO

Tipo	En túneles
Control	Gola de concreto con compuertas
Caudal de Diseño	7500 m3/s
Túneles	
- Número	2
- Sección	Herradura 13.3 x 13.3 m
- Longitud total	1600 m
Compuertas	
- Tipo	Radial
- Número	2
- Dimensiones	18.0 x 18.0 m

BOCATOMA

Estructura de Rejas	
- Tipo	Torre semicircular
- Altura	16.5 m
- Diámetro	5.6 m

Túnel de Captación		
- Diámetro	5.6	m
- Longitud	120	m
Pozo Intermedio		
- Diámetro	5.6	m
- Longitud	30	m
- Inclinación	45°	
Pozo de Compuertas		
- Sección	Semiovalada 8x12m	
- Altura	85	m
- Compuertas	Principal y auxiliar	
- Dimensiones	5.6x 4.0 m	
CONDUCCION DE CARGA		
Túnel		
- Sección	Herradura modificada	
- Dimensiones	6.4	m
- Longitud	9100	m
- Pendiente	0.5	%
- Capacidad de diseño	112	m3/s
Pozo de Presión		
- Sección	Circular	
- Diámetro	5.1	m
- Longitud	450	m
- Inclinación	48°	
Blindaje		
- Diámetro	4.3	m
- Longitud	120	m
Distribuidor		
- Diámetro	2	m
- Longitud total	163	m
CASA DE MAQUINAS		
Tipo	En caverna	
Capacidad instalada	420	MW
Número de unidades	4	

Turbinas		
- Tipo	Pelton, eje vertical	
- Número de unidades	4	
- Descarga nominal	28	m3/s
- Salto neto de diseño	444	m
- Potencia nominal por unidad	109	MW
- Velocidad sincrónica	277	rpm
Generadores		
- Tipo	Sincrónico, eje vertical	
- Número de unidades	4	
- Voltaje nominal	13.8	kV
- Potencia nominal	110	MVA Δt60°C
- Velocidad sincrónica	277	rpm
- Factor de potencia	0.95	en retardo
Transformadores		
- Tipo	Monofásico	
- Número de unidades	7	
- Voltaje de alta	230	kV
- Voltaje de bajas	13.8	kV
- Potencia nominal	85	MVA Δ t65°C
- Enfriamiento	FOW	
Túnel de Fuga		
- Sección	Herradura 8.1x8.1m	
- Longitud	640	m
Túnel de Acceso		
- Sección	Herradura modificada	
- Dimensiones	5.6 x 7.5 m	
- Longitud	740	m
- Pendiente	10.2	%
CARRETERAS		
Relocalización Bogotá-Villavicencio		
Longitudes :		
- Carretera	16	km
- Túneles	1.2	km
- Puentes	0.4	km
Total	17.6	km

Carreteras Secundarias	
- Longitud	26.8 km
SUBESTACION	
Patio de Conexiones	
- Localización	Margen izquierda del río Blanco

ANEXO 2

Información Básica
Proyecto Guayabetal

ANEXO No. 2
INFORMACION BASICA

PROYECTO GUAYABETAL

POTENCIA Y ENERGIA

Capacidad Instalada	430	MW
Energía Promedio Anual (f_p=0.66)	285	MW
Energía Confiable Anual (f_p=0.60)	260	MW

HIDROLOGIA

Area de la Cuenca	2 462	km^2
Precipitación Media Anual	2 000	mm
Caudal Medio	100	m^3/s
Creciente Máxima Probable	10 600	m^3/s
Volumen Anual de Sedimentos	3.30	Mm^3

NIVELES PRINCIPALES Y SALTOS

Cresta de la Presa	948	
Nivel Fundación	851	
N. A. Máximo Normal	935	
N. A. Mínimo	935	
Nivel de Eje de Turbinas	495	
Salto Máximo Bruto	440	m
Salto Mínimo Bruto	440	m
Salto Neto de Diseño	409	m

EMBALSE

Area	90	ha
Volumen Total Inicial	20	Mm^3
Volumen Util	0	

PRESA

Tipo	Gravedad en concreto	
Altura Máxima	97	m

Longitud de la Cresta	174 m
Talud Aguas Arriba	Vertical
Talud Aguas Abajo	0.75 H : 1 V
Volumen Total	265.000 m^3

DESVIACION

Ataguía

Tipo	Concreto
Altura	27 m
Volumen	17 500 m^3

Túneles de Desviación

Número	2
Longitud Total	450 m
Sección	Herradura 10 x 10 m
Pendiente	1.74 %
Capacidad	2 000 m^3/s

DESCARGA DE FONDO

Número	2
Localización	Incorporada en la presa
Sección	Circular blindada
Diámetro	4.0 m
Tipo	Con dos compuertas deslizantes
Capacidad Máxima	120 m^3/s

REBOSADERO

Localización	Incorporado en la presa
Sección Central	Con compuertas
Sección Lateral	Sin control
Capacidad	10 600 m^3/s

Compuertas

Tipo	Radial
Número	2
Dimensiones	17.0 x 21.0 m

BOCATOMA

Estructura de Rejas

Tipo	Rejas Coladeras	
Altura	14	m
Ancho	21	m

Compuertas

Tipo	Ruedas Fijas	
Número	2 Principales y 2 Auxiliares	
Dimensiones	3.5 x 6.0	m
Nivel de Captación	923	

CONDUCCION

Túnel de Carga

Longitud	13 800	m
Sección	Herradura modificada	
Dimensiones	7.4 x 7.3	m
Pendiente	1 y 1.5	%

Pozo Blindado

Longitud	380	m
Diámetro	4.8	m
Pendiente	48°	%

Distribuidor

Diámetro	3.4 y 2.4	m
Longitud Total	300	m

CASA DE MAQUINAS

Tipo	Subterránea	
Capacidad Instalada	430	MW
Número de Unidades	4	

Turbinas

Tipo	Pelton, Eje Vertical	
Número de Unidades	4	
Descarga nominal	32.2	m^3/s
Salto Neto de Diseño	409	m
Potencia Nominal por Unidad	121	MW
Velocidad Sincrónica	240	rpm

Generadores

Tipo	Sincrónico, Eje Vertical	
Número de Unidades	4	
Voltaje Nominal	13.8	kV
Potencia Nominal	113	MVA Δt 60°C
Velocidad Sincrónica	240	rpm
Factor de Potencia	0.95	en retardo

Transformadores

Tipo	Monofásico	
Número de Unidades	7	
Voltaje de Alta	230	kV
Voltaje de Bajas	13.8	kV
Potencia Nominal	87	MVA Δt 65°C
Enfriamiento		FOA

Túnel de Descarga

Sección	Herradura Revestida	
Dimensiones	6.70 x 6.70 m	
Longitud	3 900	m
Capacidad de Diseño	125	m^3/s

CANAL DE RESTITUCION AL RIO GUAYURIBA

Sección	Trapezoidal	
Dimensiones	b = 4.0	m
	h = 2.5	m

Taludes	1.5 H : 1.0 V	
Longitud	16.6	km
Pendiente	1 ‰	
Caudal de Diseño	40	m^3/s
Nivel de Captación en el Río Guatiquía	400	

SUBESTACION

Patio de Conexiones

Localización	Frente a Casa de Máquinas, en margen derecha del río Guatiquía

CARRETERAS

Relocalización a Manzanares

Longitud	4.1	km

Carreteras Secundarias

Longitud	6.0	km

ANEXO 3

Información Básica
Proyecto Humea

ANEXO No. 3

PROYECTO HUMEA

INFORMACION BASICA

POTENCIA Y ENERGIA

Capacidad Instalada		460	MW
Energía promedio anual	(f_p = 0.47)	215	MW
Energía confiable anual	(f_p = 0.44)	205	MW

HIDROLOGIA

Río Humea

- Area de la cuenca	950	km2
- Precipitación media anual	3 840	mm
- Caudal medio	115	m3/s
- Creciente máxima probable	9 000	m3/s
- Volumen anual de sedimentos	1.8	Mm3

Río Guacavía y Afluentes

- Area de la cuenca	356	km2
- Precipitación media anual	6 000	mm
- Caudal medio	62 .5	m3/s

Caudales Aprovechados

- Río Humea	115	m3/s
- Río Guacavía y afluentes	39	m3/s
- Proyecto Guayabetal	72	m3/s
Caudal Total	226	m3/s

NIVELES PRINCIPALES Y SALTO

Cresta de la presa	413	
Nivel fundación del núcleo	275	
N.A. máximo normal	405	
N.A. mínimo	370	
N. eje de turbinas	276	
Salto máximo bruto	129	m
Salto mínimo bruto	93	m
Salto neto de diseño	106	m

EMBALSE

Area	9 300	ha
Volumen total	4 120	Mm3
Volumen útil	2 400	Mm3

PRESA

Tipo	Gravas con núcleo	
Altura	138	m
Ancho de la cresta	12	m
Longitud de la cresta	430	m
Talud aguas arriba y aguas abajo	2.0 H : 1.0V	

Volúmenes

- Núcleo impermeable	1'330 000	m3
- Filtros y transiciones	430 000	m3
- Gravas	4'740 000	m3
- Ataguía y Berma	54 000	m3
- Total	6'450 000	m3

DESVIACION Y DESCARGA DE FONDO

Ataguía

- Tipo	Enrocado con núcleo	
- Altura	28	m

Túnel de Desviación

- Longitud total	850	m
- Sección	Herradura 6.0 x 6.0 m	
- Capacidad	300	m3/s
- Pendiente	7.1	‰

Descarga de Fondo

- Localización	Túnel de desviación
- Tipo	Compuertas verticales
- Capacidad máxima	78 m3/s

REBOSADERO

Tipo	Canal rectangular	
Ancho	60	m
Longitud	550	m
Control	Gola de concreto	
Longitud gola	180	m
Caudal de diseño	4 650	m3/s
Cota de Gola	405	m

BOCATOMA

Canal de Aducción

Longitud	230	m
Ancho variable	70 a 50	m
Cota Canal	348	m

Estructura de Captación

Tipo	Torres-aducción frontal con rejas coladeras	
Altura	62	m
Compuertas	2 principales y 2 auxiliares.	
Dimensiones Compuertas	5.5 x 7.6	m

CONDUCCIONES DE CARGA

Pozo de Presión

- Número	2	
- Diámetro	7.6	m
- Longitud total	145	m
- Inclinación	-.45	o

Tubería de Carga Subterránea

- Número	2	
- Diámetro	7.2	m
- Longitud total	865	m
- Pendiente	10	%

CASA DE MAQUINAS

Tipo	Superficial	
Capacidad instalada	460	MW
Número de unidades	2	

Turbinas

- Tipo	Francis, eje vertical	
- Número de unidades	2	
- Descarga nominal	252	m3/s
- Salto neto de diseño	106	m
- Potencia nominal por unidad	240	MW
- Velocidad sincrónica	150	rpm

Generadores

- Tipo	Sincrónicos, eje vertical.	
- Número de unidades	2	
- Voltaje nominal	13.8 a 18.0	kV
- Potencia nominal	246	MVA, At 60° C.
- Velocidad sincrónica	150	rpm
- Factor de potencia	0.95	en retardo

Transformadores

- Tipo	Monofásico	
- Número de unidades	7	
- Voltaje de alta	230	kV
- Voltaje de bajas	13.8 a 18.0	kV
- Potencia nominal	94	MVA, At, 65° C.
- Enfriamiento	FOA	

Canal de Descarga

- Sección	Rectangular	
- Longitud	90	m
- Contra pendiente	6.0 H : 1.0	V

CARRETERAS

Relocalización a Medina :

- Longitud	26	km

Carreteras Secundarias :

- Longitud	2	km

SUBESTACION

Patio de Subestación

- Localización	Margen derecha río Humea. Frente a casa de máquinas.

CONDUCCION GUATIQUIA-HUMEA

Túnel Guatiquía-La Camelia

Longitud : sifón	490	m
túnel	6.4	km
Caudal de diseño	125	m3/s

Sección	Herradura 6.3 x 6.3 m	
Pendiente	0.5	%

Canal La Camelia-Guacavía

Longitud	12.0	km
Caudal de diseño	125	m3/s
Caudal medio	72	m3/s
Sección	Trapezoidal revestido	
Dimensiones	b=10 m h=3.4 m	
Taludes	1.0 H : 1.0 V	
Pendiente	0.1	%

Canal Guacavía-Borrachero

Longitud	11.0	km
Caudal de diseño	190	m3/s
Caudal medio	111	m3/s
Sección	Trapezoidal revestido	
Dimensiones	b=12 m h=3.8 m	
Taludes	1.0 H : 1.0 V	
Pendiente	0.1	%

Canal Borrachero-Humea

Longitud (en dos tramos)	1.5	km
Caudal de diseño	120	m3/s
Sección	Trapezoidal sin revestir	
Dimensiones	b=10 m h=3.4 m	
Taludes	1.0 H : 1.0 V	
Pendiente	0.1	%

Túnel Caño Sucio-Humea

Longitud	1.5	km
Caudal de diseño	120	m3/s
Sección	Herradura 5.5 x 5.5 m	
Pendiente	1	%

Presa Río Borrachero

Tipo	Gravas con núcleo
Altura	45 m.
Ancho de la cresta	10 m.
Longitud de la cresta	393 m.
Taludes	2.0 H : 1.0 V.
Volumen Total	960 000 m^3

Niveles Principales

Nivel de la Cresta	425
N.A. Máximo Normal	421
N.A. Mínimo	414

Desviación

Tipo	Conducto de Concreto
Diámetro	4.0 m.
Longitud	160 m.
Capacidad	310 m^3/s

Rebosadero

- Tipo	Canal Rectangular
- Longitud Gola	230 m.
- Caudal de diseño	1 080 m^3/s

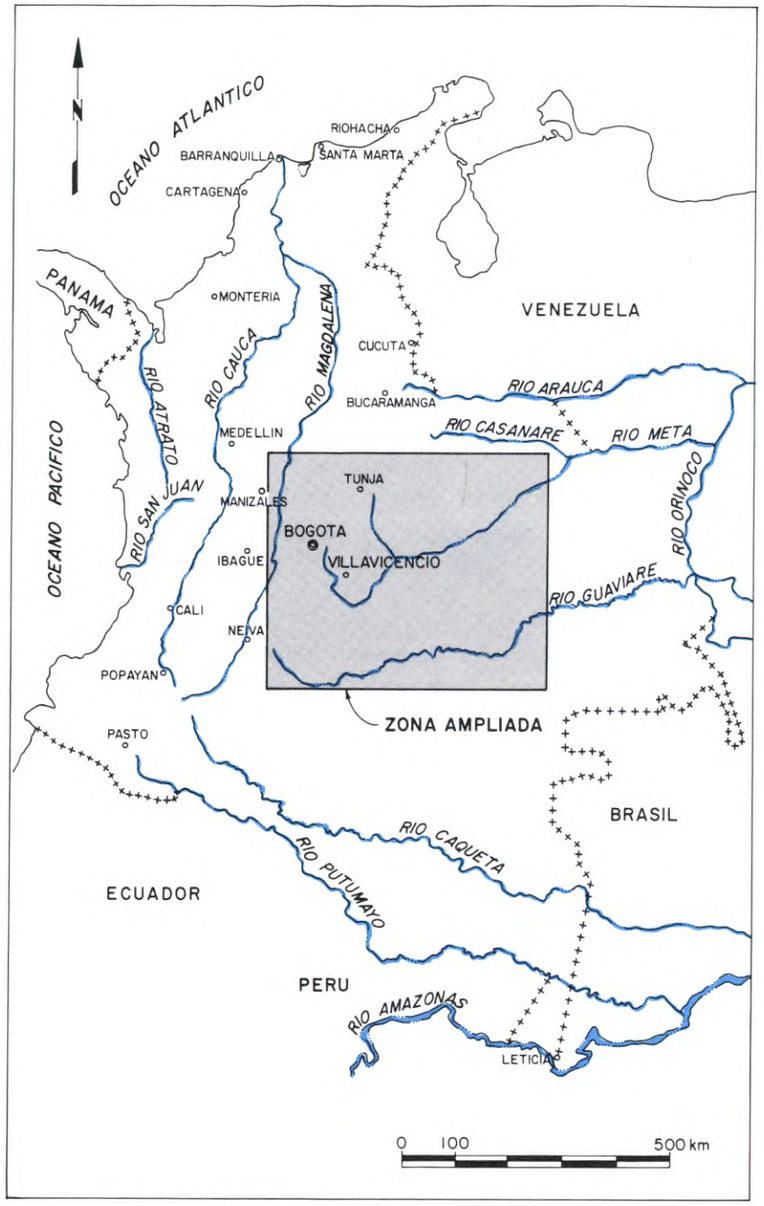
Presas de Captación

Caudales Medios Desviados :

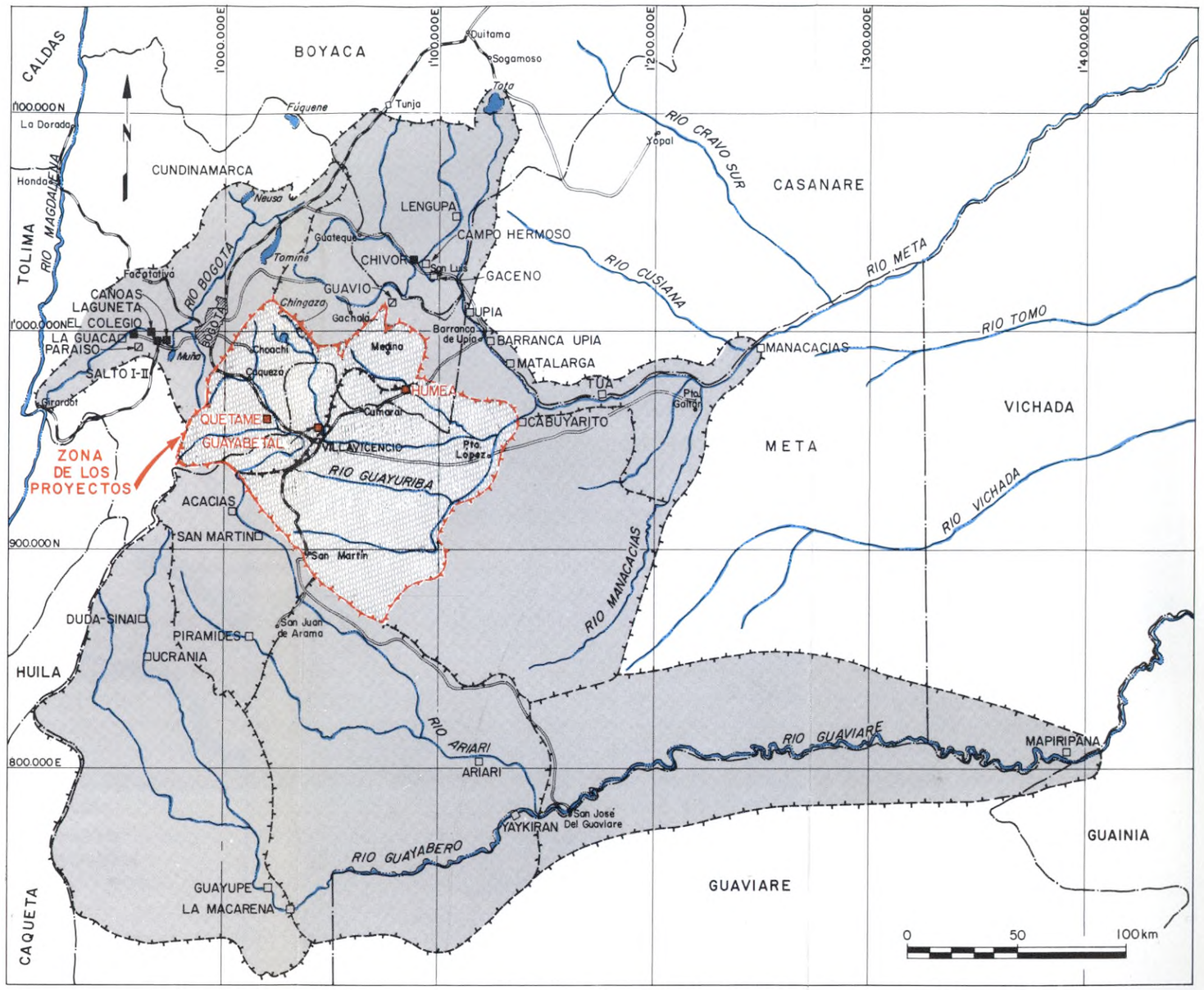
- Río Guacavía	19.0 m3/s
- Río Niporé	4.1 m3/s
- Río Piri	5.0 m3/s
- Río Guajaray	5.6 m3/s
- Río Borrachero	5.3 m3/s

ANEXO 4

Planos



MAPA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA

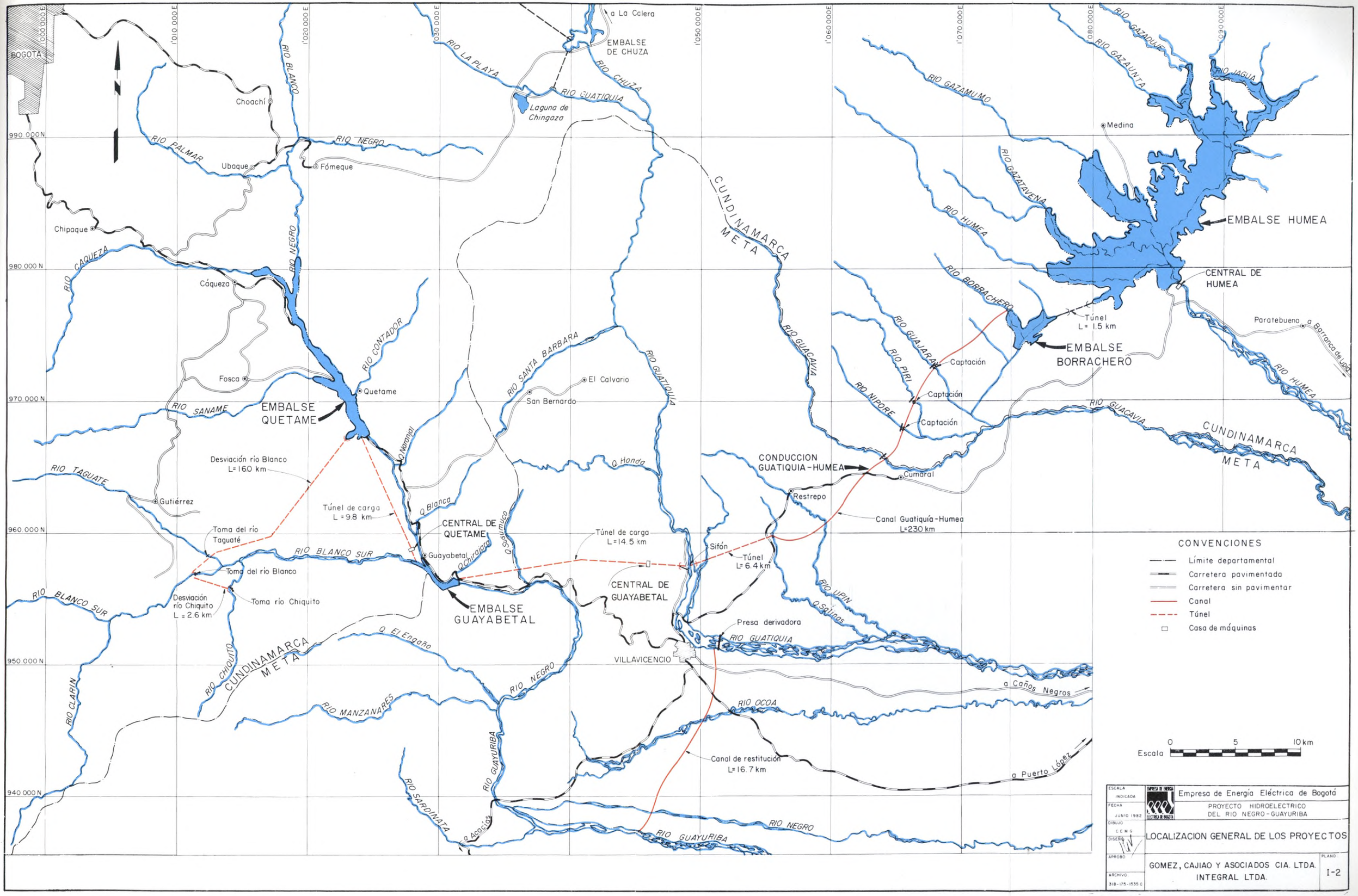


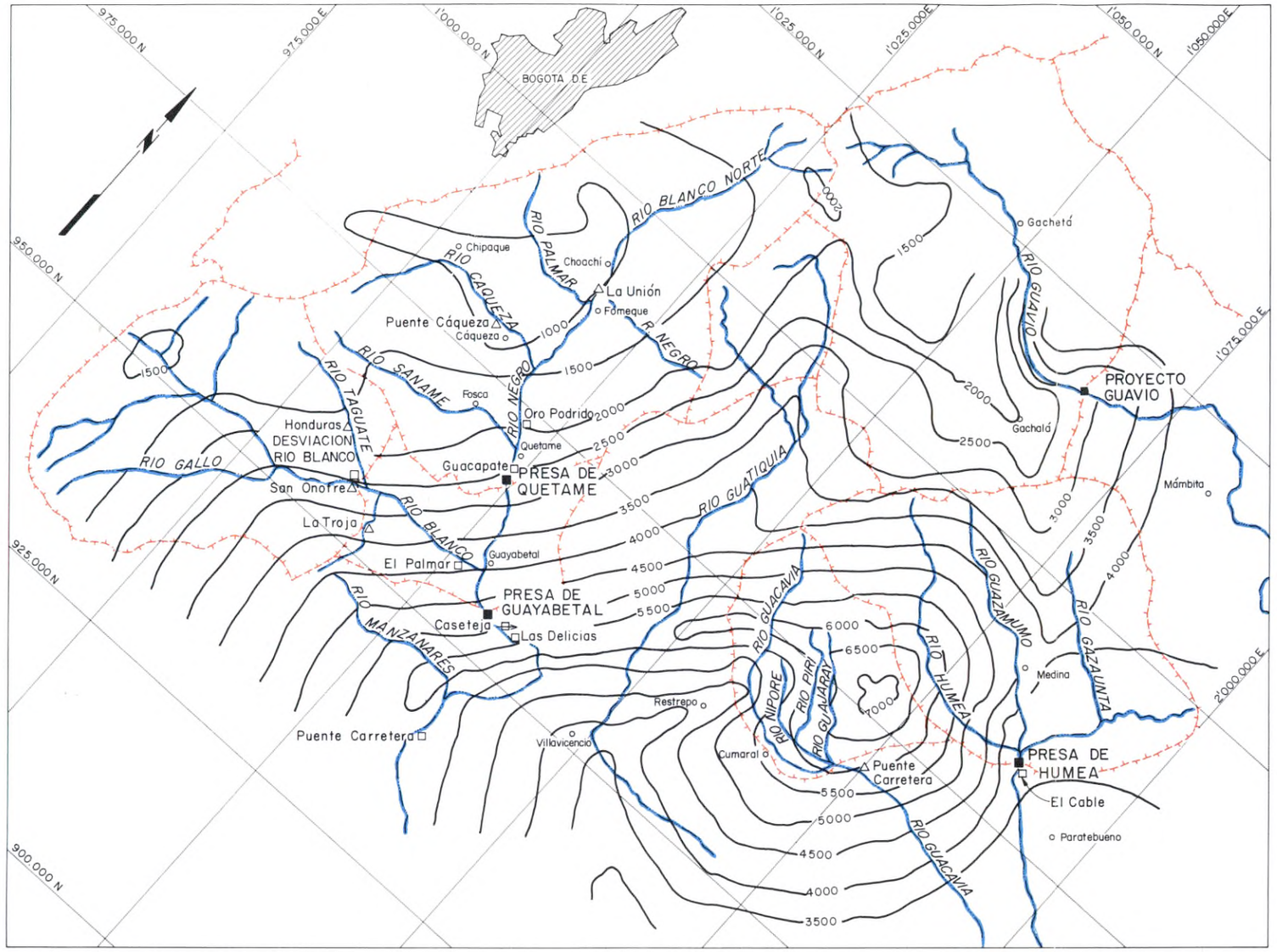
PROYECTOS HIDROELECTRICOS
ZONA ESTUDIADA POR LA E.E.E.B.

CONVENCIONES

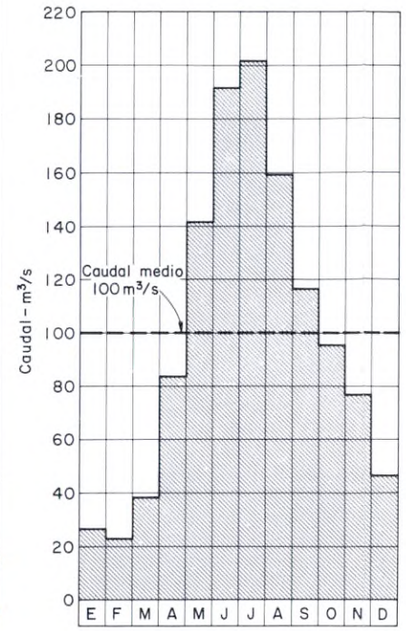
- Carretera pavimentada
- Carretera sin pavimentar
- Límite departamental
- Límite de hoya hidrográfica
- ■ Central construída
- ▨ Central en construcción
- □ Central en estudio

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA
DIBUJO: O.I.C.P.	REGION DE LOS ESTUDIOS
DISEÑO:	
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.
ARCHIVO: 318-077-0597 C	PLANO: I-1


BOGOTA
1'000.000 E
1'010.000 E
1'020.000 E
1'030.000 E
1'050.000 E
1'060.000 E
1'070.000 E
1'080.000 E
1'090.000 E
990.000 N
980.000 N
970.000 N
960.000 N
950.000 N
940.000 N
a La Calera
EMBALSE DE CHUZA
RIO LA PLAYA
RIO CHUZA
RIO GUATIQUIA
Laguna de Chingaza
RIO BLANCO
Choachí
RIO PALMAR
Ubaque
RIO NEGRO
Fómeque
Chipaque
RIO CAQUEZA
Cáqueza
RIO NEGRO
RIO CONTADOR
Fosca
Quetame
RIO SANAME
EMBALSE QUETAME
RIO TAGUATE
Gutiérrez
Desviación río Blanco L=160 km
Túnel de carga L=9.8 km
Toma del río Taguaté
RIO BLANCO SUR
Toma del río Blanco
Toma río Chiquito
Desviación río Chiquito L=2.6 km
RIO BLANCO SUR
RIO CHIQUITO
RIO CLARIN
CUNDINAMARCA
META
Q. Naranjal
Q. Blanca
CENTRAL DE QUETAME
Guayabetal
Q. Chiraiara
Q. Susumuco
EMBALSE GUAYABETAL
Q. El Engaño
RIO MANZANARES
RIO SANTA BARBARA
El Calvario
San Bernardo
RIO GUATIQUIA
Q. Honda
Túnel de carga L=14.5 km
CENTRAL DE GUAYABETAL
RIO NEGRO
RIO GUAYURIBA
RIO SARDINATA
Q. Acacías
CUNDINAMARCA
META
RIO GUACAVIA
RIO GUAJARA
RIO PIRI
RIO NIPORE
Captación
Captación
Captación
CONDUCCION GUATIQUIA-HUMEA
Cumaral
Restrepo
Canal Guatiquía-Humea L=23.0 km
Sifón
Túnel L=6.4 km
RIO UPIN
Q. Spinas
Presa derivadora
RIO GUATIQUIA
VILLAVICENCIO
RIO OCOA
Canal de restitución L=16.7 km
RIO NEGRO
RIO GUAYURIBA
a Caños Negros
a Puerto López
RIO GAZAMUMO
RIO GAZATAVENA
RIO HUMEA
RIO BORRACHERO
RIO GAZAQUE
RIO GAZAUNTA
RIO JAGUA
Medina
EMBALSE HUMEA
CENTRAL DE HUMEA
Túnel L=1.5 km
EMBALSE BORRACHERO
Paratebueno
a Barranca de Upía
RIO HUMEA
CUNDINAMARCA
META
CONVENCIONES
Límite departamental
Carretera pavimentada
Carretera sin pavimentar
Canal
Túnel
Casa de máquinas
Escala 0 5 10 km
ESCALA INDICADA
FECHA JUNIO 1982
DIBUJO C.E.M.G.
DISEÑO
APROBO
ARCHIVO 318-175-1535 C
Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA
LOCALIZACION GENERAL DE LOS PROYECTOS
GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INTEGRAL LTDA.
PLANO I-2



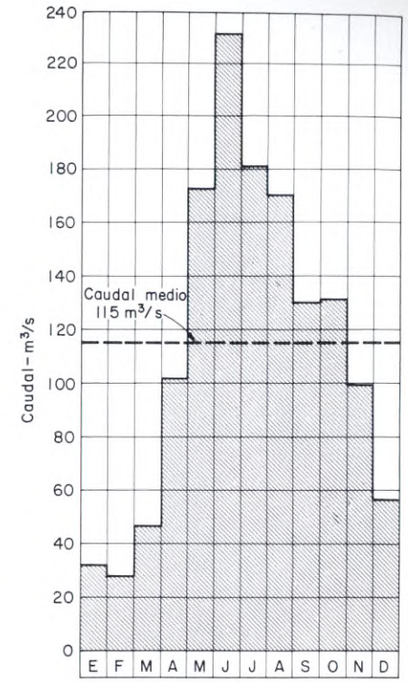
DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION MULTIANUAL



CAUDALES MEDIOS MENSUALES

PROYECTO GUAYABETAL

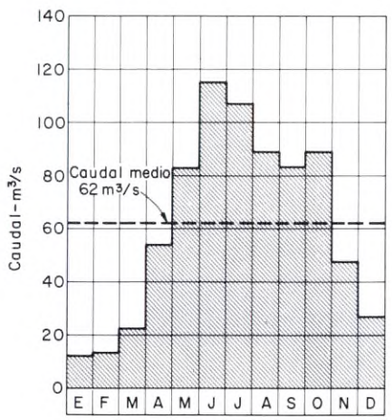
SITIO DE PRESA 2/



CAUDALES MEDIOS MENSUALES

PROYECTO HUMEA

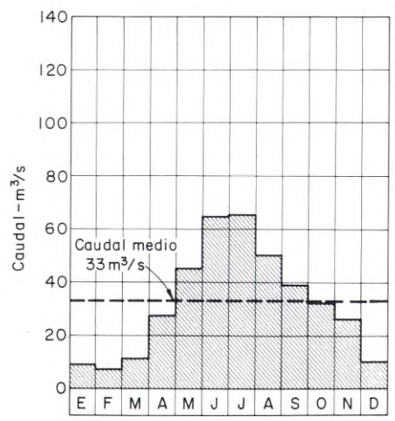
SITIO DE PRESA



CAUDALES MEDIOS MENSUALES

RIO GUACAVIA

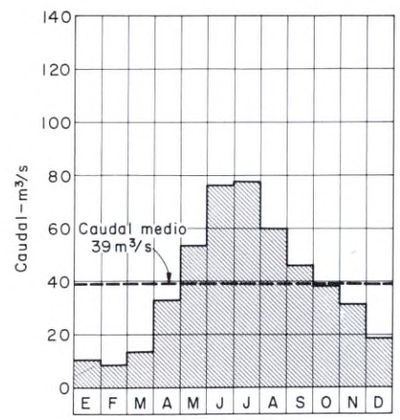
ESTACION PUENTE CARRETERA



CAUDALES MEDIOS MENSUALES

PROYECTO QUETAME

SITIO DE DESVIACION DEL RIO BLANCO



CAUDALES MEDIOS MENSUALES

PROYECTO QUETAME

SITIO DE PRESA 1/ 2/

CONVENCIONES:

△ Estación limnimétrica

□ Estación limnigráfica

⊟→ Estación abandonada

NOTAS:

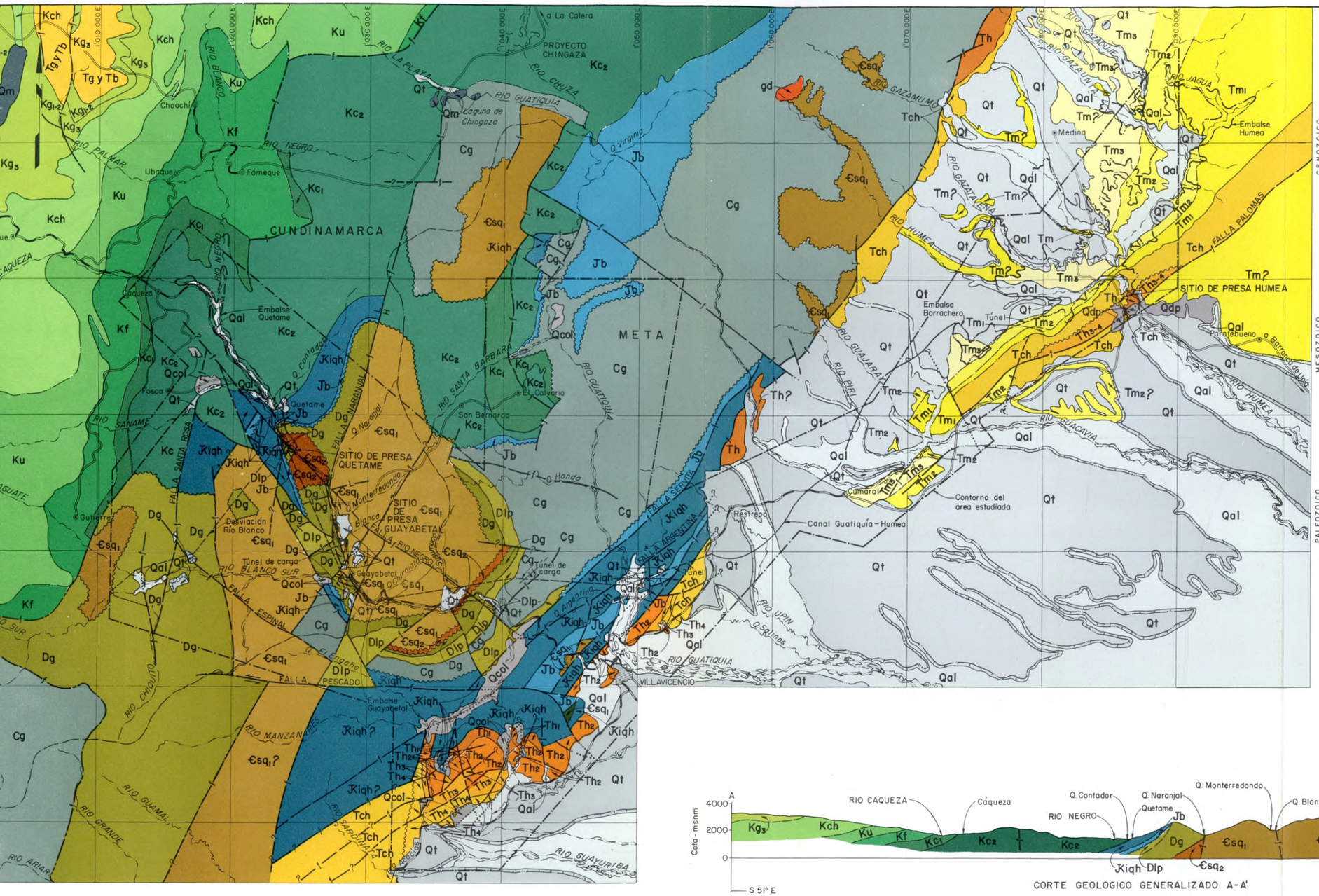
Los caudales medios mensuales multianuales en los sitios de interés se obtuvieron a partir de la serie histórica reconstruída mediante un modelo de regresión múltiple.

1/ No incluye desviación del río Blanco.

2/ No incluye desviación hacia el acueducto de Bogotá.

Escala 0 5 25 km

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá	
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	
DIBUJO: C.E.M.G. de D.	INFORMACION HIDROLOGICA	
DISEÑO:		
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.	PLANO: I-3
ARCHIVO: 318-176-1536 H		



CONVENCIONES ESTRATIGRAFICAS

CENOZOICO

CUATERNARIO

- **Qal** — DEPOSITOS ALUVIALES-Bloques, cantos y gravas sueltos en matriz limo-arenosa
- **Qdp / Qcol** — SUELO COLUVIAL.- Depositos de fragmentos, tamaños bloque a grava, en matriz areno-arcillosa
- **Qt** — TERRAZAS-Depósitos de grava, arena y limo, formando superficies planas en uno o en varios niveles
- **Qm** — DEPOSITOS GLACIARES (MORRENAS)-Grandes bloques de material heterogéneo en una matriz areno-arcillosa

TERCIARIO

TERCIARIO ANDINO

- **Tg y Tb** — FORMACIONES GUADUAS Y BOGOTA-Arcilla roja, gris y gris-verdosa en la base, arenisca blanca de grano grueso hasto conglomerática, localmente con pequeñas intercalaciones de arcilio-lita gris rojiza clara en la parte media, arcillolita arenosa abi-garrada con arcillolita violácea y gris azulada en la parte su-perior

TERCIARIO LLANERO

- **Tm** — GRUPO MEDINA
  - **Tm3** — FORMACION PUERTO RICO-Lodolitas, arcillolitos porádicas intercalaciones de arenisca y conglomera
  - **Tm2** — FORMACION CAÑO SUCIO - Aternancia de sub-l nitas y lodolitas
  - **Tm1** — FORMACION EL TIRO-Sub-litoarenitas de grano a conglomerático
- **Tch** — FORMACION CHOAPAL-Arcillolitas con intercalaciones de lim y esporádicos bancos de arenisca. Hacia la parte media un de carbón. Arenisca y arcillolita en la parte inferior, limolita, lita y cintas de carbón en la parte superior
- **Th** — GRUPO HUMEA
  - **Th4** — Arenisca asfáltica
  - **Th3** — Lutitas con esporádicas intercalaciones de arenis
  - **Th2** — Areniscas friables, con manifestaciones de carbó intercalaciones de lutita
  - **Th1** — Areniscas duras y lutitas limo-arcillosas

MESOZOICO

CRETACEO

- **Kg1** — FORMACION GUADALUPE SUPERIOR-Arenisca Tierna: arenisca friable grano grueso a medio
- **Kg2** — FORMACION GUADALUPE MEDIO- Arenisca de Labor: are-nisca friable
- **Kg3** — FORMACION GUADALUPE INFERIOR-Pleaners: lidita y Are-nisca Dura: arenisca de grano grueso
- **Kch** — FORMACION CHIPAQUE-Lutita gris oscura con capas de caliza
- **Ku** — FORMACION UNE-Arenisca clara masiva con intercalaciones laminares de lutita arenosa finamente estratificada
- **Kf** — FORMACION FOMEQUE-Lutita negra con capas de arenisca cuarcítica y caliza
- **Kc1, Kc2** — GRUPO CAQUEZA-
  - Areniscas, arcillolitas y margas
  - Lutita silícea, arenisca cuarzosa y lutita arcillosa negra

JURASICO

- **Jkiqh** — FORMACION QUEBRADA HONDA- En la base conglomerados polimícticos regularmente seleccionados, calizas y margas gris oscuras con riaciones graduales. Hacia el tope lutita arcillosa, fisible. El nivel inferior está probablemente en transición con la Formación Brecha c Buenavista (Jb)
- **Jb** — FORMACION BRECHA DE BUENAVISTA- Brecha-conglomerado de bloques y guijarros (Paleozoicos) redondeados a angulares en matri arenosa, localmente con algunas capas de lutita, limolita y arenisca

PALEOZOICO

CARBONIFERO-PERMIANO

- **Cg** — FORMACION CAPAS ROJAS DEL GUATIQUIA - Arenisca, limolita y arcillolita verde y roja, caliza y conglomerado oligo Su extremo SW corresponde a las Capas Rojas del Valle del Clarín (Renzoni, 1965) y su extremo NE corresponde al Farallones (Segovia, 1965)

DEVONIANO

- **Dlp** — FORMACION LUTITAS DE PORTACHUELO-Lutita laminar n masiva y arglilita, algo pizarrosa ; arenisca de grano fino
- **Dg** — FORMACION ARENISCAS DE GUTIERREZ-Arenisca cuarcítica a cuarcita masiva con intercalaciones de pizarra y lutita silícea, glomerado basal cuarcítico

CAMBRO-SILURICO

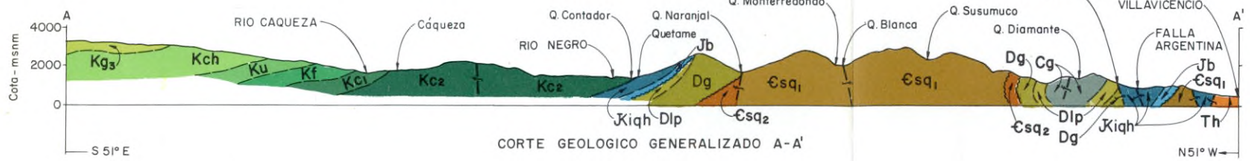
- **Csq2, Csq1** — GRUPO QUETAME
  - FORMACION PUENTE LA BALSA-Pizarra gris oscura, laminar con intercalaciones de meta-arenisca grau y cuarcita hacia la base
  - FORMACION GUAYABETAL- Filita gris violácea, con intercalaciones esporádicas de filita verde cuarcita gris, venas de cuarzo y clorita
- **gd** — GRANODIORITA LA MINA- Granodiorita gris clara a rosada, textura hipidiomórfica holocristalina

CONVENCIONES ESTRUCTURALES

- Falla observada
- Falla fotogeológica
- Falla inferida
- Falla de rumbo
- Eje anticlinal
- Eje sinclinal
- Eje sinclinal invertido
- Contacto observado
- Contacto fotogeológico
- Contacto inferido
- Contacto discordante
- Escarpes
- Límite del área estudiada

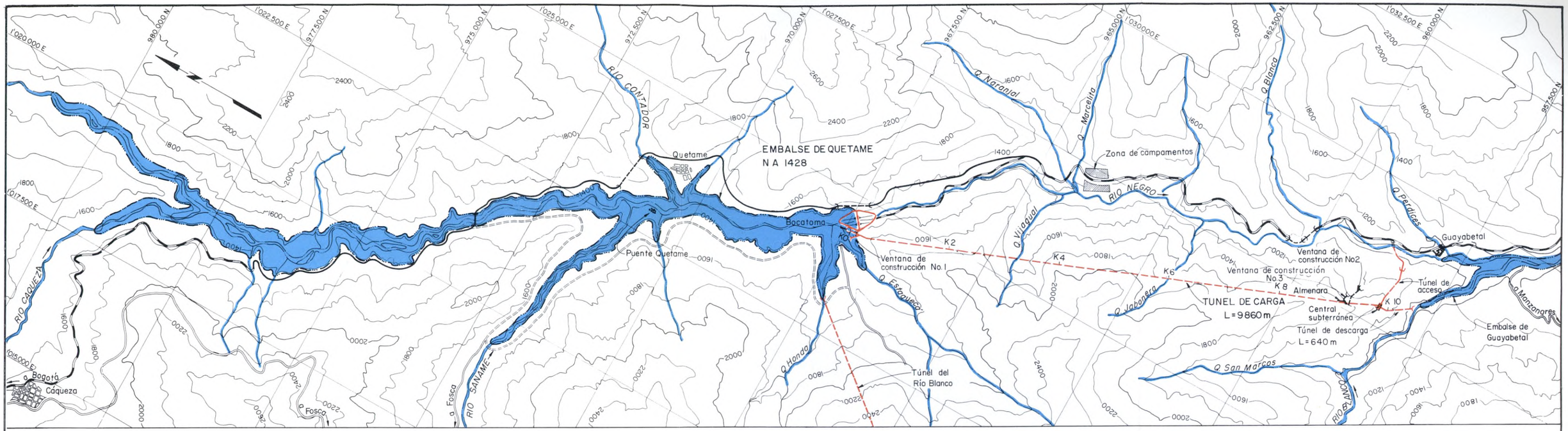
NOTA:
Geología según Segovia (1965), Renzoni (1965 G.C.A. (1980, 1981, 1982) modificado

Escala: 0 1 5 10 km

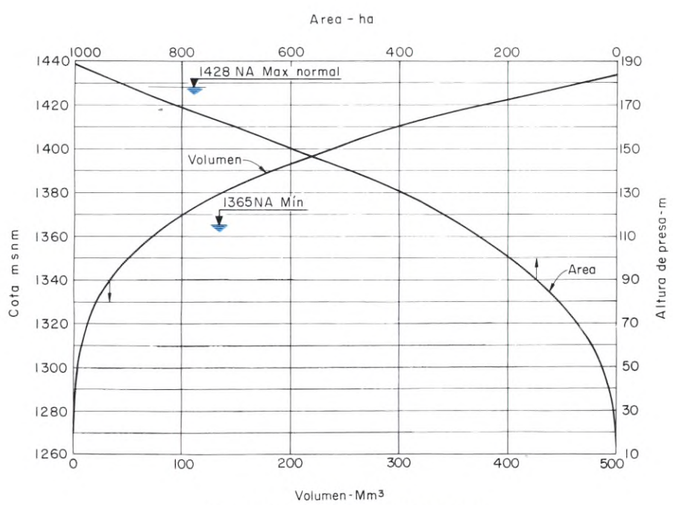


CORTE GEOLOGICO GENERALIZADO A-A'

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de E
FECHA: JULIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA
DIBUJO: C.J.G.R.	MAPA GEOLOGICO REGIONAL
DISEÑO:	
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
ARCHIVO: 318-182-1546 G	INTEGRAL LTDA.

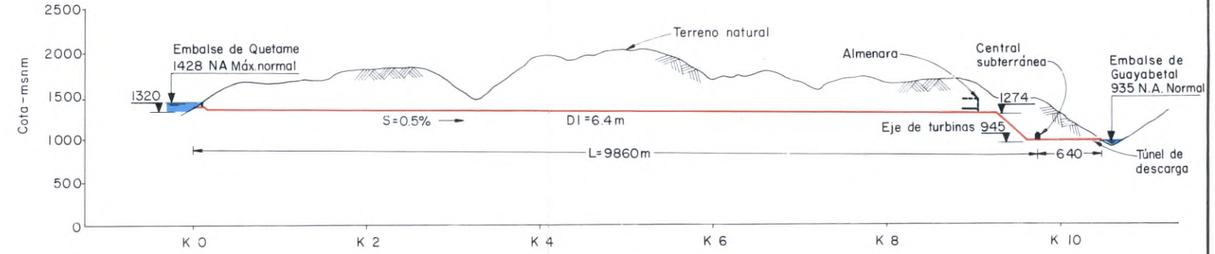


PLANTA



CURVAS DE AREA Y CAPACIDAD

COTA m	AREA ha	VOLUMEN Mm³
1440	1016	561
1430	915	464
1420	815	378
1410	705	302
1400	598	237
1390	494	182
1380	392	138
1370	318	103
1360	252	74
1350	203	51
1340	143	34
1330	102	22
1320	60	14
1310	45	8
1300	30	5
1290	19	2
1280	8	0.8
1270	4	0.2
1260	0	0



PERFIL CONDUCCION

CONVENCIONES

- Carretera existente pavimentada
- Carretera existente sin pavimentar
- Carretera proyectada pavimentada
- Carretera proyectada sin pavimentar

Escala 0 0.5 2.5 km

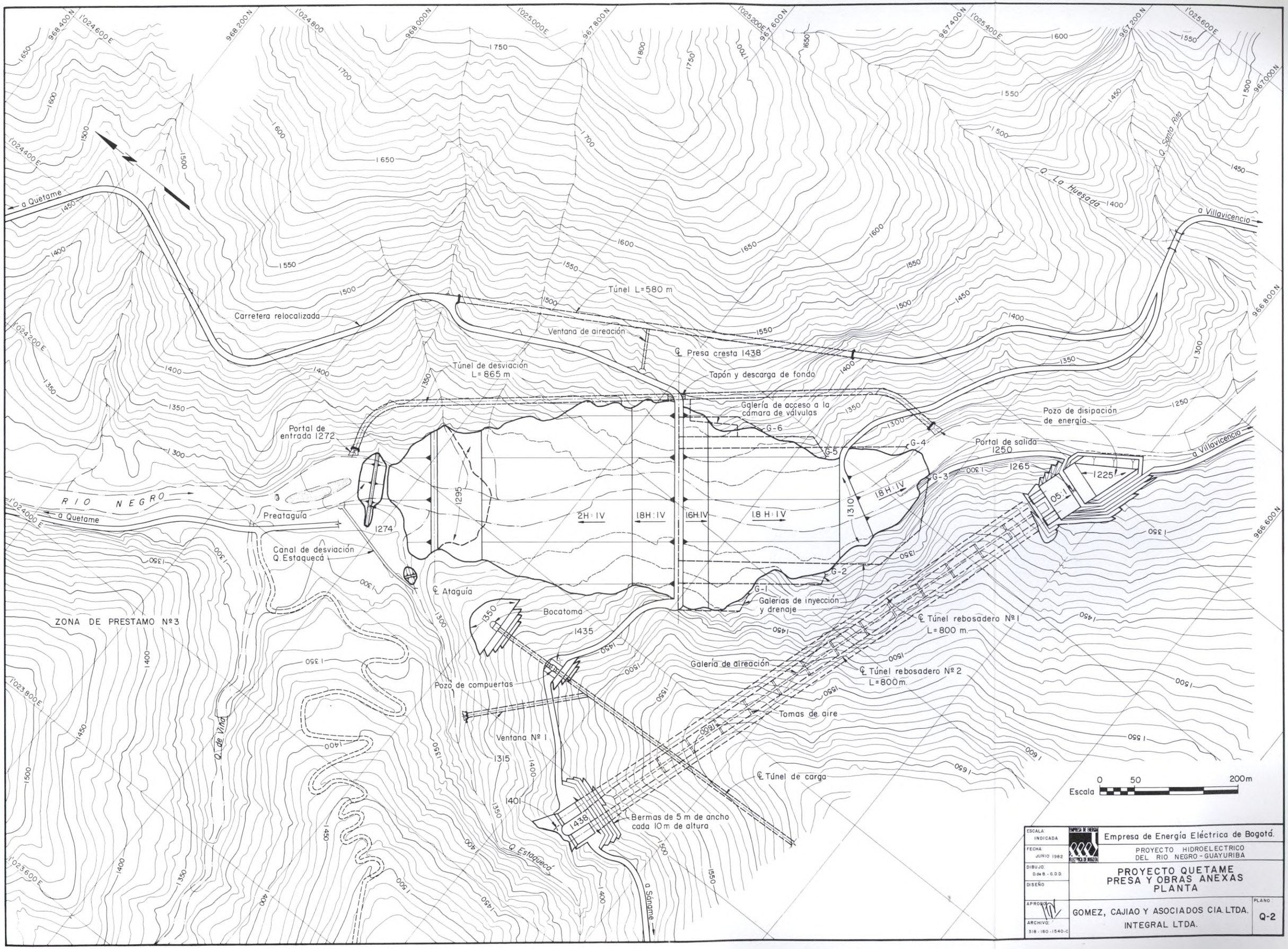
ESCALA: INDICADA
FECHA: JUNIO 1982
DIBUJO: G.D.D. C.E.M. de D.
DISEÑO:
APROBO:
ARCHIVO: 318-190-1561-C

Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA

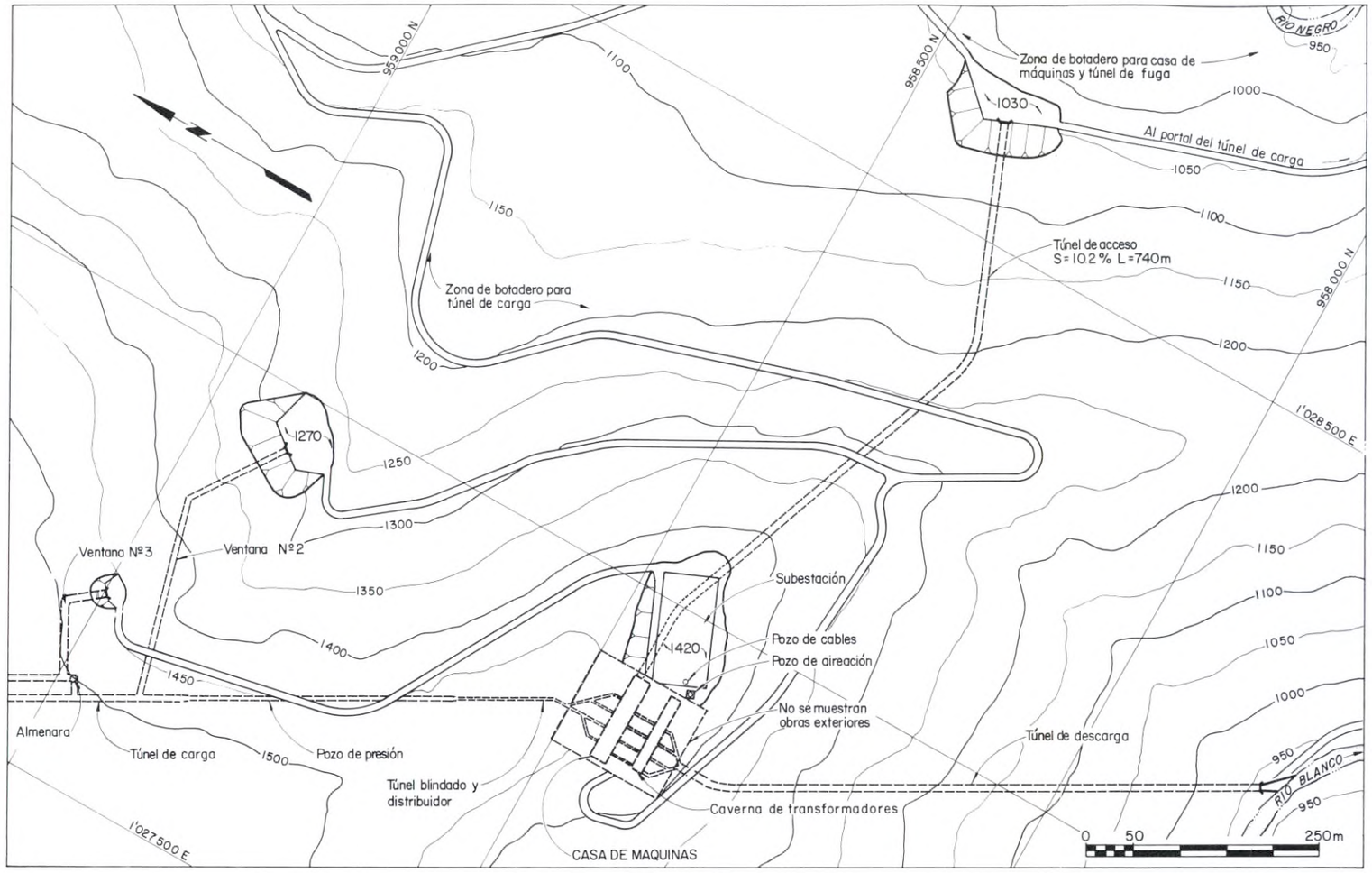
PROYECTO QUETAME
EMBALSE Y CONDUCCION

GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INTEGRAL LTDA.

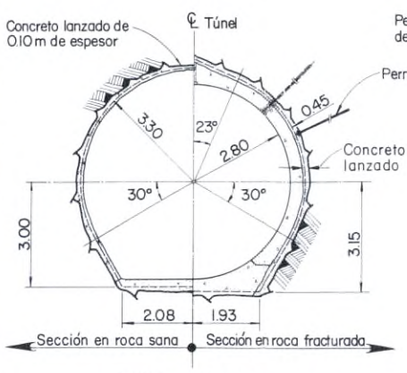
PLANO: Q-1



ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá.	
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA	
DIBUJO: D.de B. - G.D.D.	PROYECTO QUETAME PRESA Y OBRAS ANEXAS PLANTA	
DISEÑO		
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.	PLANO: Q-2
ARCHIVO: 318-180-1540-C		

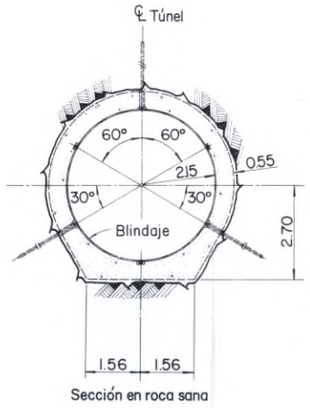


PLANTA GENERAL

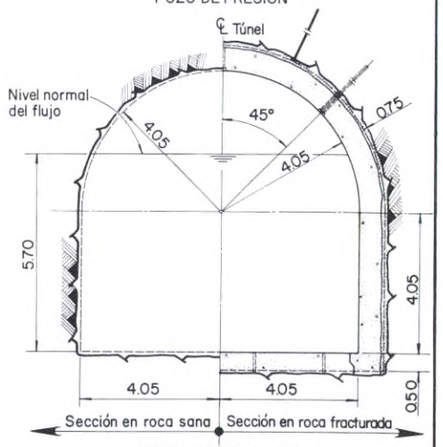


TUNEL DE CARGA

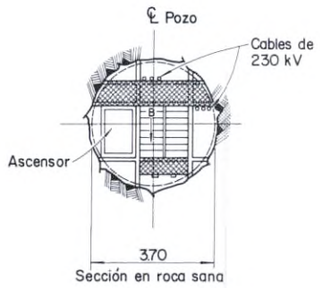
POZO DE PRESION



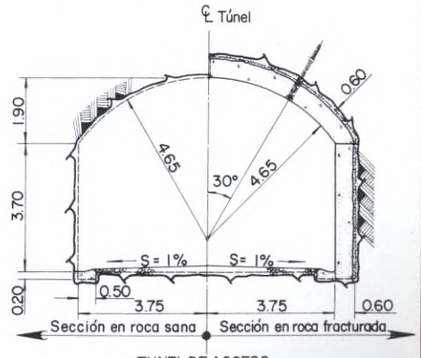
TUNEL BLINDADO



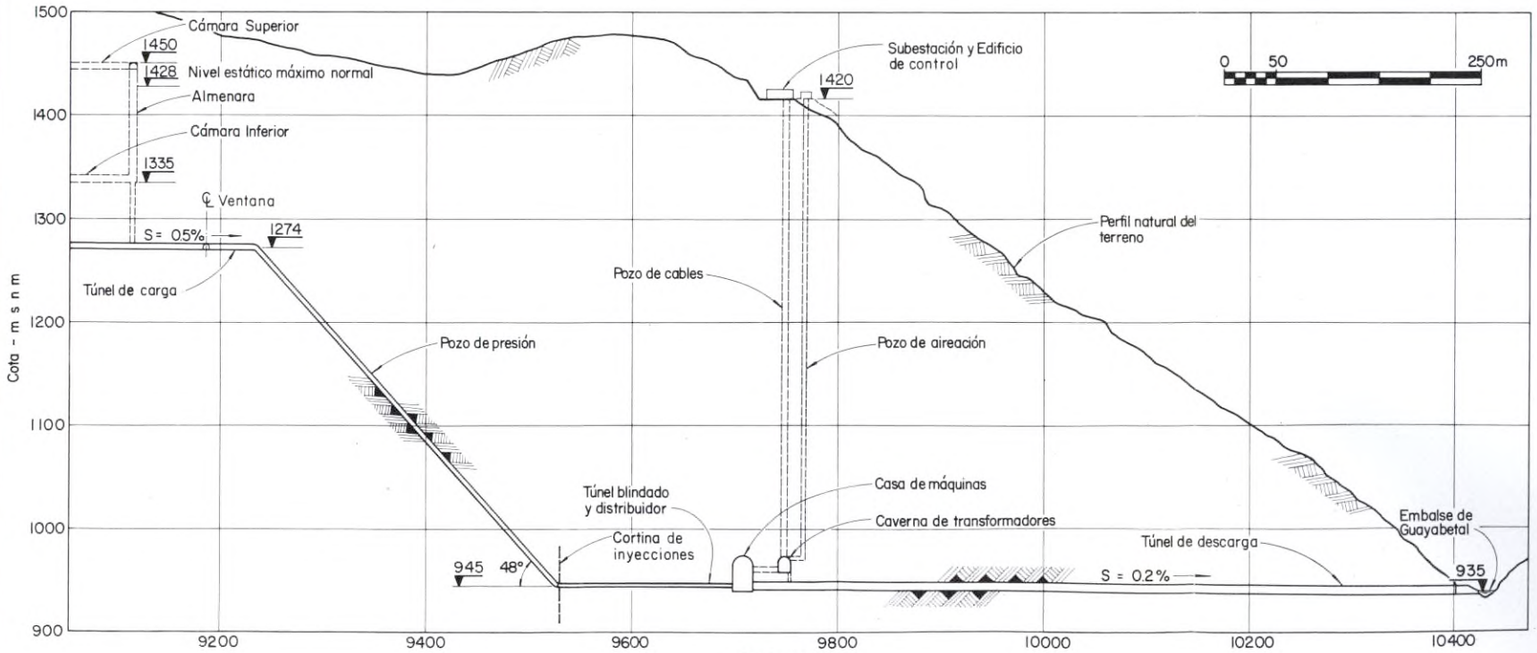
TUNEL DE DESCARGA



POZO DE CABLES



TUNEL DE ACCESO



PERFIL GENERAL

SOPORTES DE CONSTRUCCION		
TIPO DE ROCA	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO
Sana	Ninguno	Pernos donde se requieran
Poco fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Pernos donde se requieran 1 Capa de concreto lanzado
Muy fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Pernos sistemáticos 1 Capa de concreto lanzado
Descompuesta	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Entibado metálico 2 Capas de concreto lanzado

0 1 7m

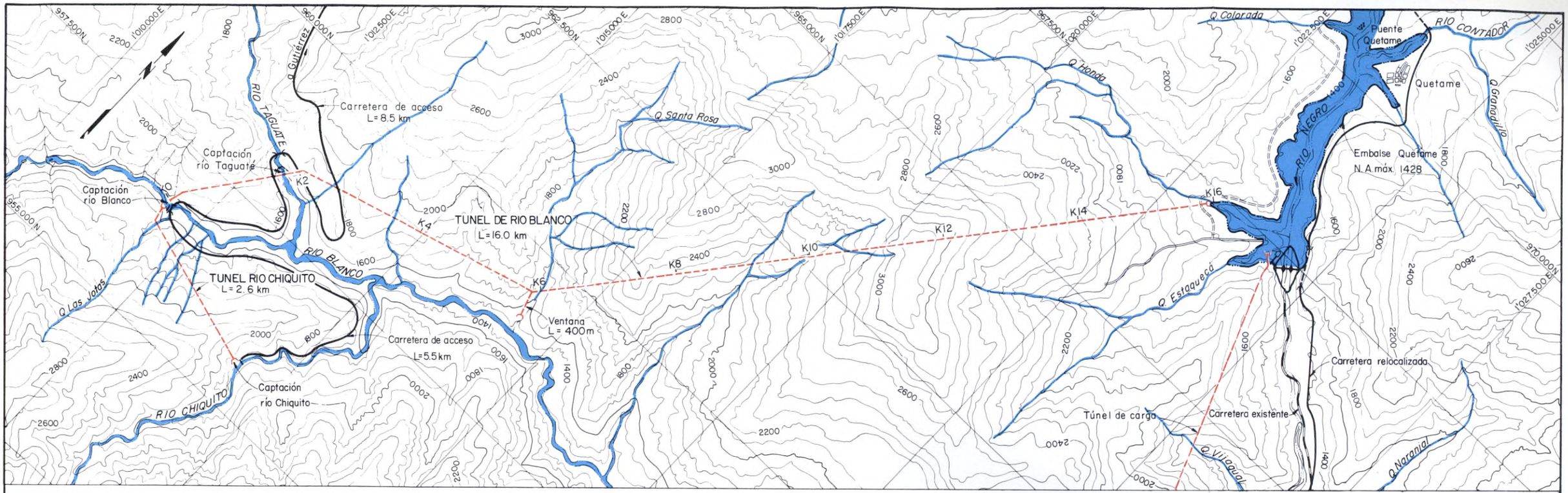
ESCALA: INDICADA
FECHA: JUNIO 1982
DIBUJO: G.M.R.
DISEÑO: INTEGRAL
APROBO:
ARCHIVO: 318-189-1560-C

Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA

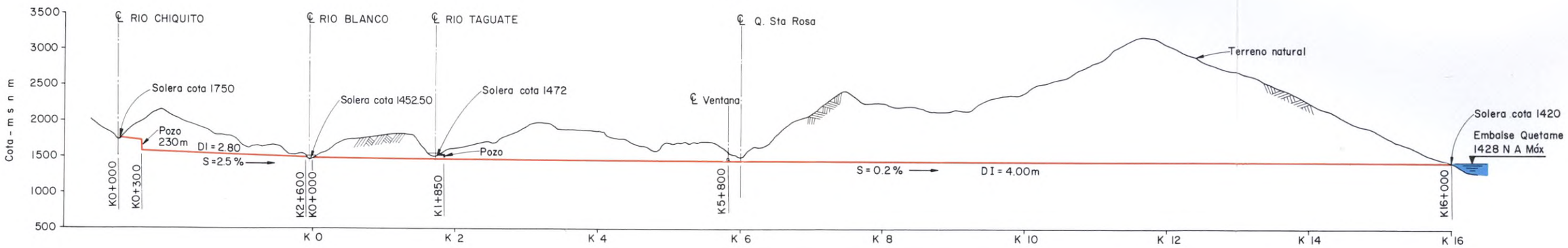
PROYECTO QUETAME
ZONA DE CASA DE MAQUINAS
Y SECCIONES DE TUNELES

GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INTEGRAL LTDA.

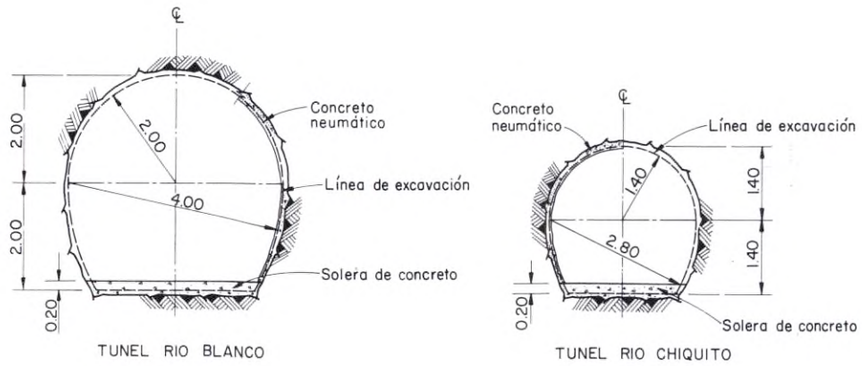
PLANO: Q-3



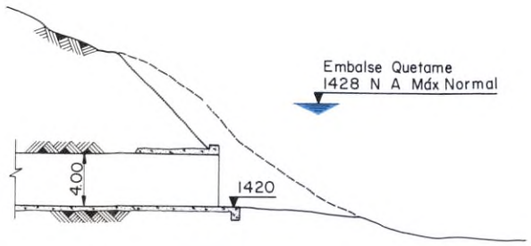
PLANTA
Escala A



PERFIL
Escala A

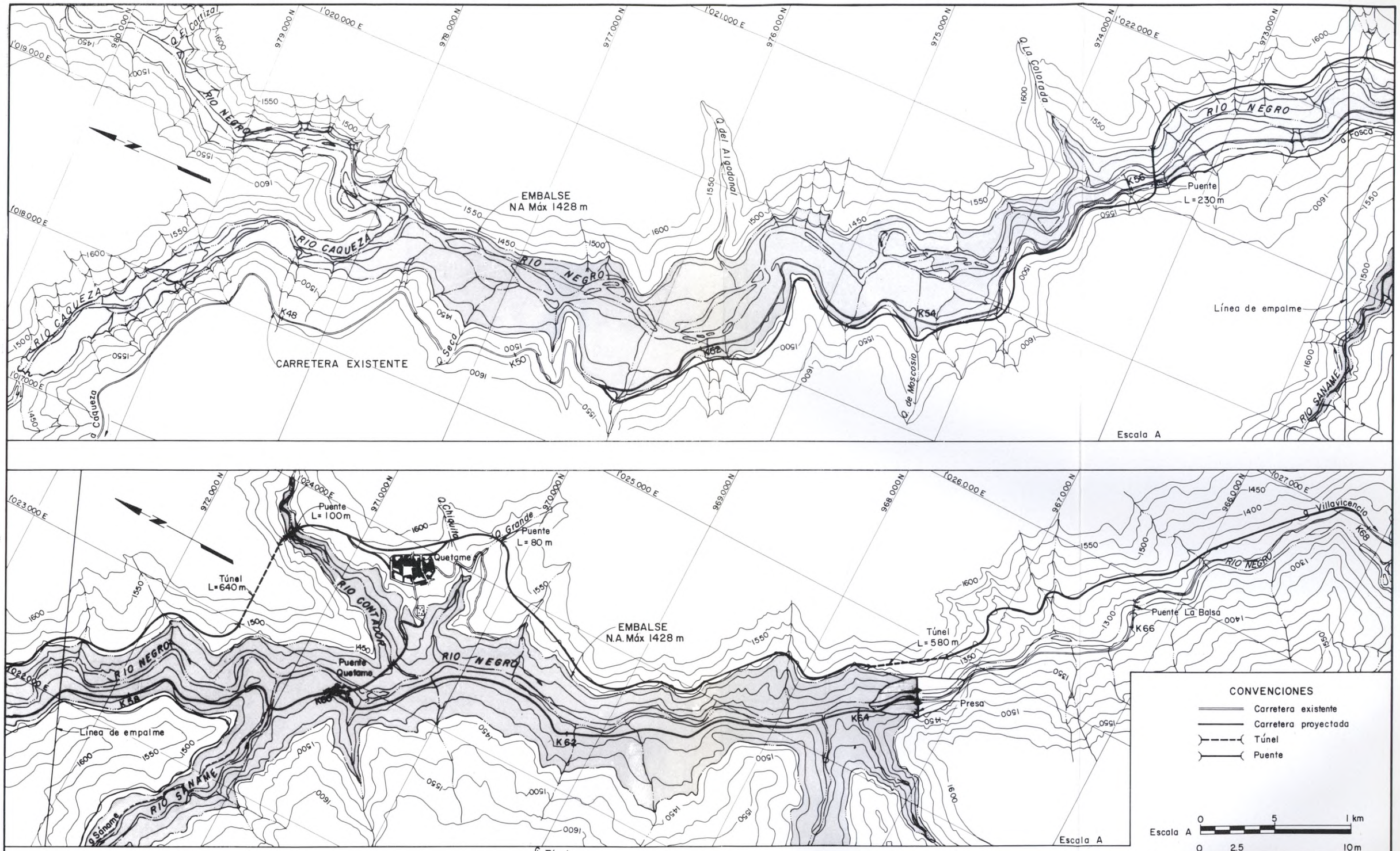


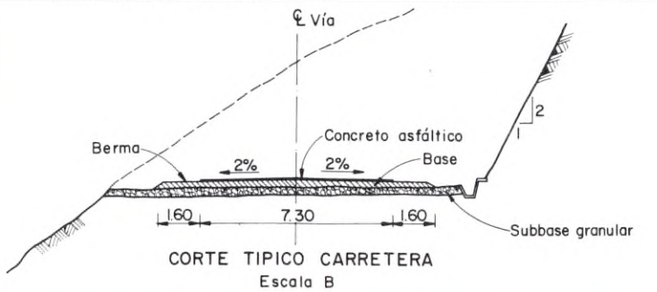
SECCIONES TIPICAS
Escala B



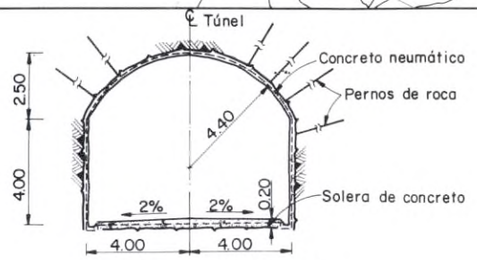
PORTAL DE SALIDA
Escala C

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO – GUAYURIBA
DIBUJO: A.C.de G. O. de B.	PROYECTO QUETAME DESVIACION RIO BLANCO PLANTA Y PERFIL
DISEÑO:	
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.
ARCHIVO: 318-192-1563-C	PLANO Q-4





CORTE TIPICO CARRETERA
Escala B



SECCION TUNEL CARRETERA
Escala B

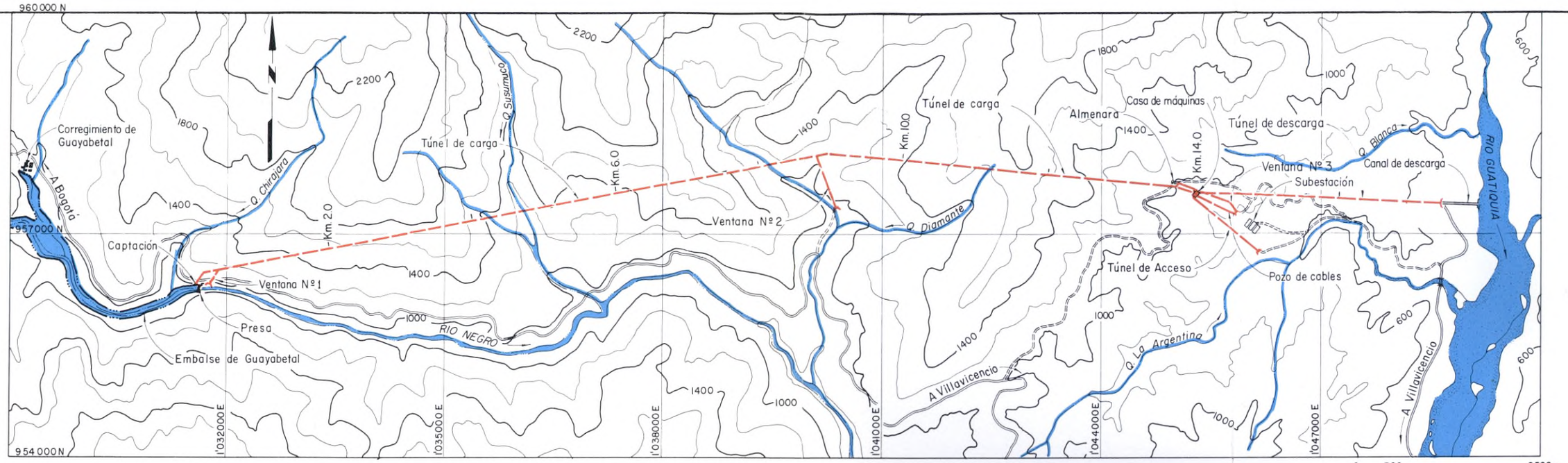
CONVENCIONES

- Carretera existente
- Carretera proyectada
- Túnel
- Puente

Escala A: 0 — 5 — 1 km

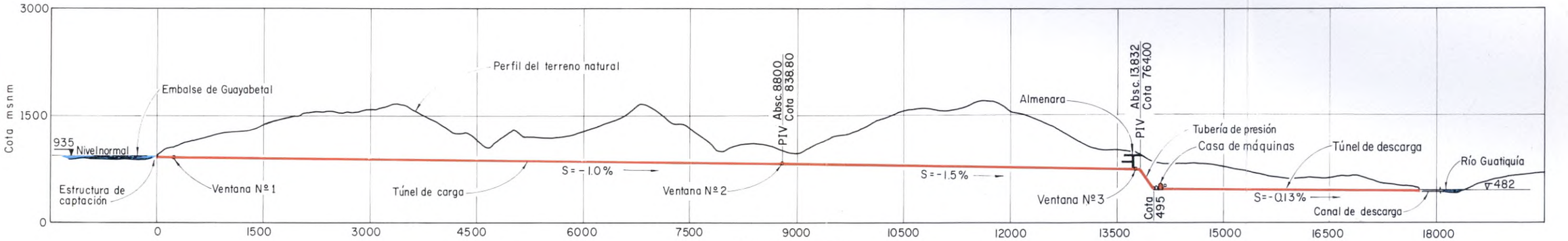
Escala B: 0 — 2.5 — 10 m

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA
DIBUJO: G.E.T.T.	PROYECTO QUETAME
DISEÑO	RELOCALIZACION CARRETERA BOGOTA - VILLAVICENCIO
APROBO	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
ARCHIVO: 318-174-1534 C	INTEGRAL LTDA. — PLANO: Q-5



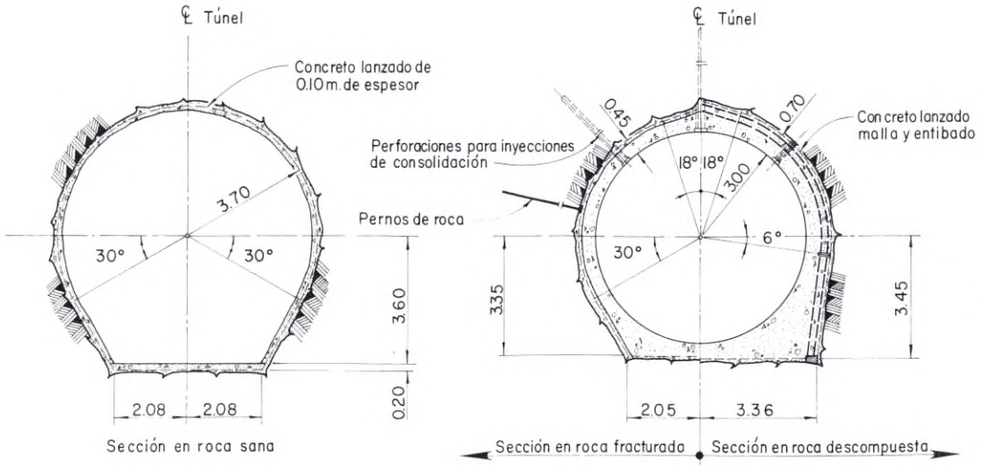
PLANTA GENERAL

Escala 0 500 2500 m.

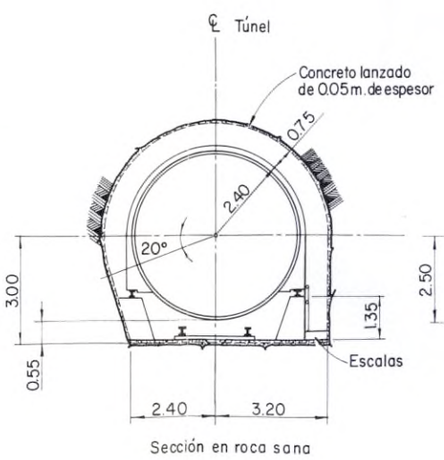


PERFIL GENERAL

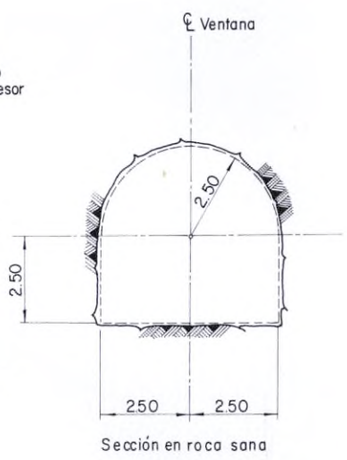
Escala 0 500 2500 m.



TUNEL DE CARGA



TUBERIA DE PRESION

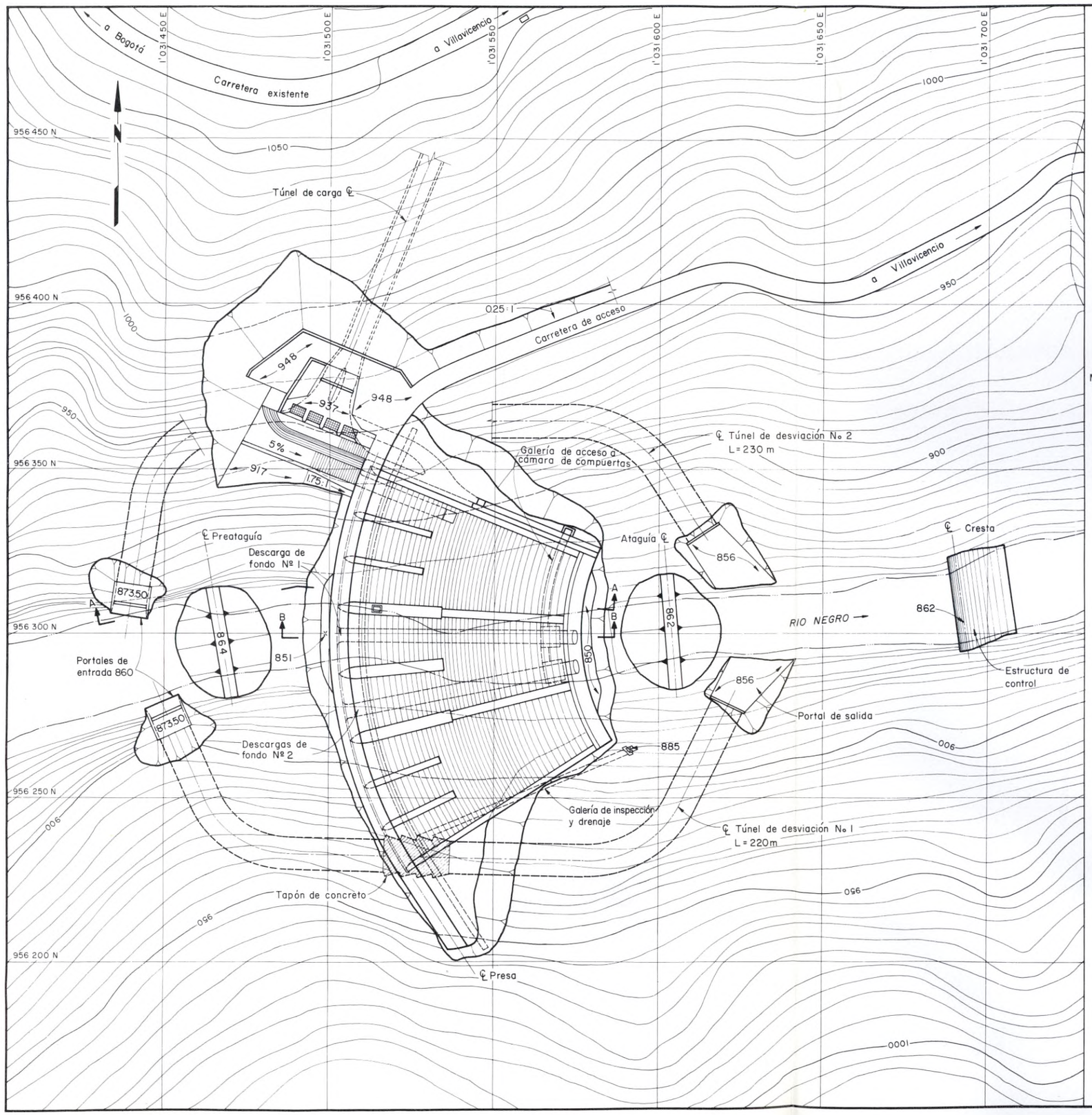


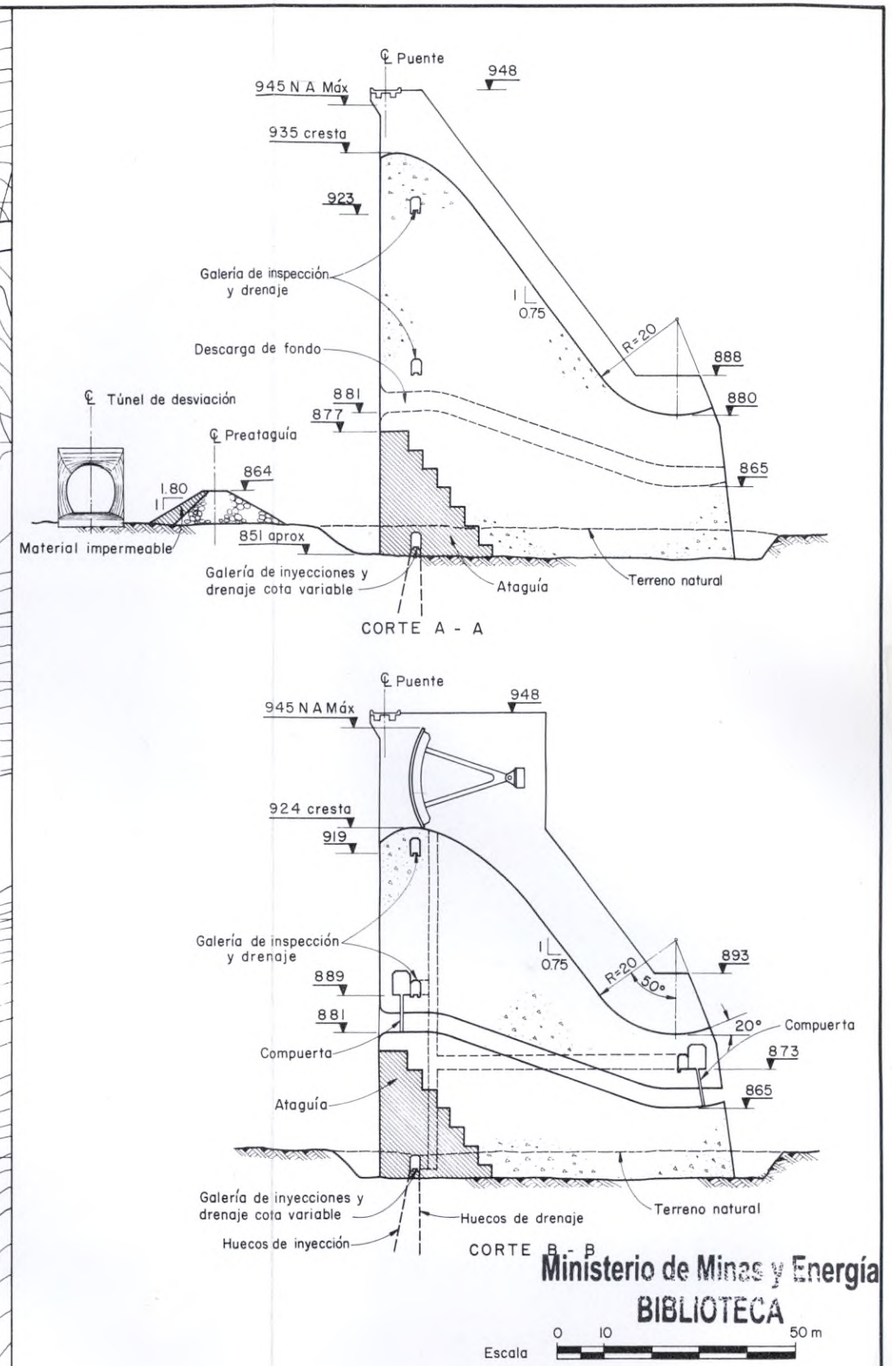
VENTANAS DE CONSTRUCCION

0 1 7 m.

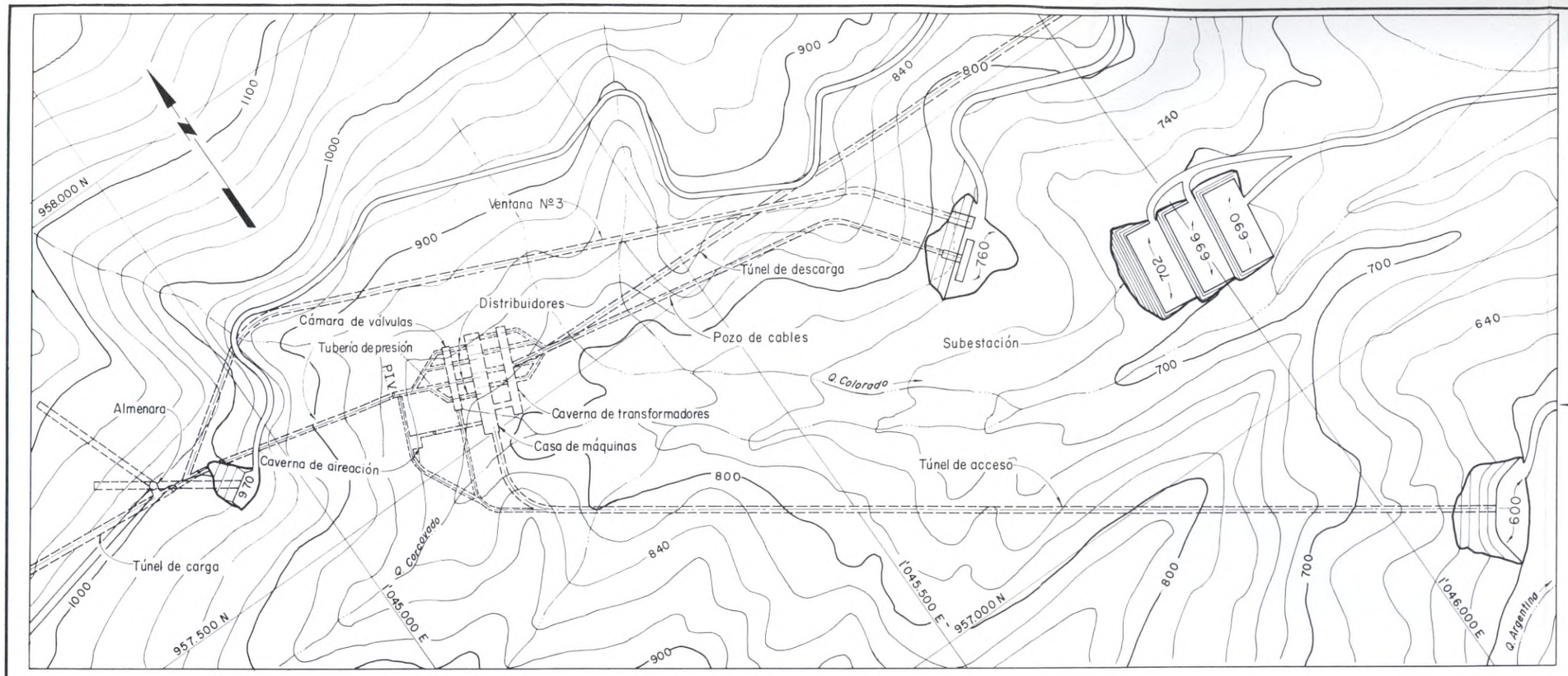
SOPORTES DE CONSTRUCCION		
TIPO DE ROCA	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO
Sana	Ninguno	Pernos donde se requieran
Poco fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Pernos donde se requieran 1 Capa de concreto lanzado
Muy fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Pernos sistemáticos 1 Capa de concreto lanzado
Descompuesta	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Entibado metálico 2 Capas de concreto lanzado

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá	
FECHA: JULIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	
DIBUJO: G. G. E.	PROYECTO GUAYABETAL ESQUEMA GENERAL CENTRAL SUBTERRANEA	
DISEÑO: INTEGRAL		
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.	PLANO: G-1
ARCHIVO 318-269-1849-C		



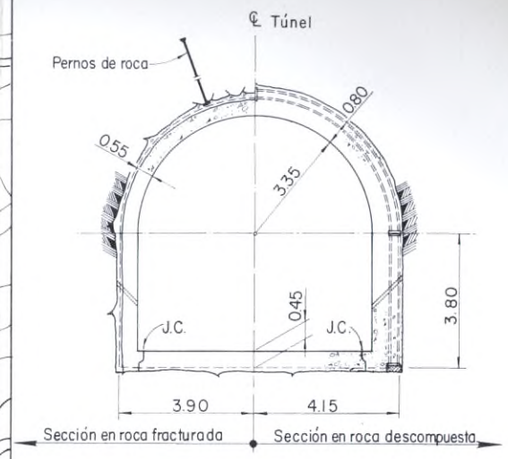


ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA
DIBUJO: G.D.D.	PROYECTO GUAYABETAL PRESA Y OBRAS ANEXAS PLANTA Y CORTES
DISEÑO:	
APROBÓ:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.
ARCHIVO/ 318-238-1704 C	PLANO: G-2

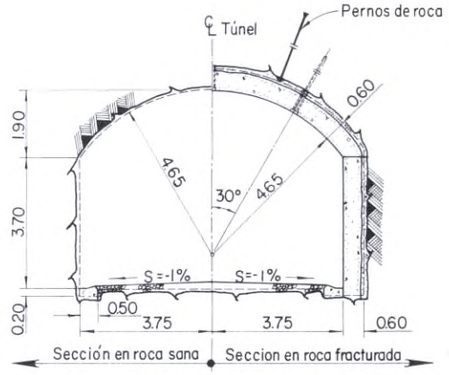


PLANTA GENERAL

Escala 0 50 250m

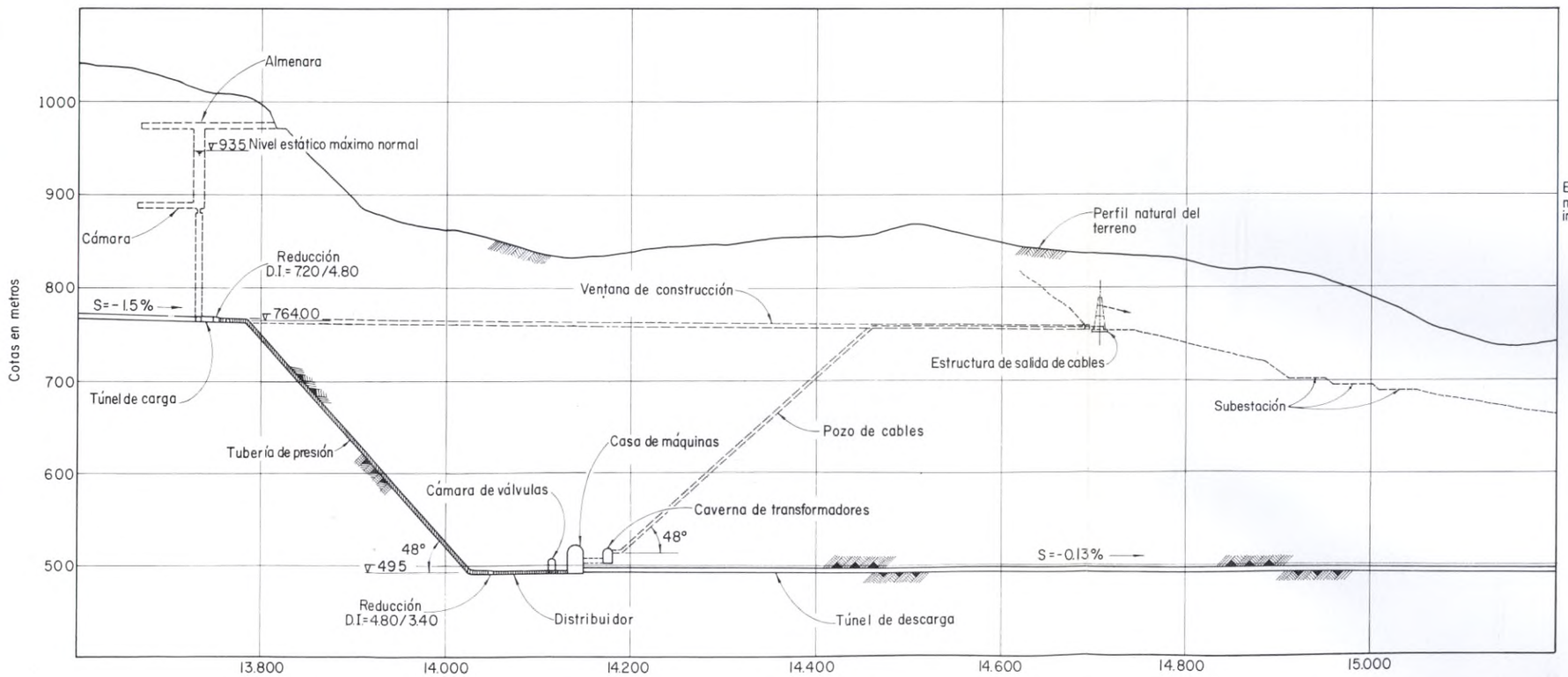


TUNEL DE DESCARGA



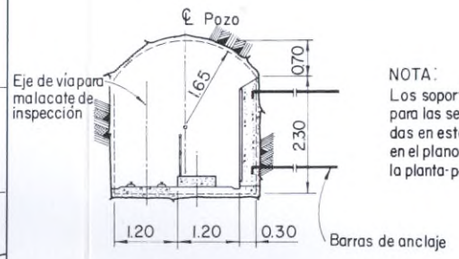
TUNEL DE ACCESO

Escala 0 1 7m



PERFIL GENERAL

Escala 0 50 250m



Sección en roca sana

POZO DE CABLES

NOTA:
Los soportes de construcción para las secciones mostradas en este plano, se indican en el plano correspondiente a la planta-perfil generales.

Escala 0 1 5m

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá	
FECHA: JULIO/82	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA	
DIBUJO: G. G. E.	PROYECTO GUAYABETAL CENTRAL SUBTERRANEA ZONA DE CASA DE MAQUINAS	
DISEÑO: INTEGRAL		
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.	FIGURA G-3
ARCHIVO 318-277-1867C		

Carretera relocalizada
L = 26.0 km

Carretera existente

Medina

Embalse de Humea
N.A. Max 405

RIO GAZAMUMO

RIO GAZAUNTA

RIO GAZATAVENA

RIO HUMEA

RIO LAGUA

Cano Sucio

Canal Guatiquia
Humea

a Cumaral

Rebosadero

Conducción

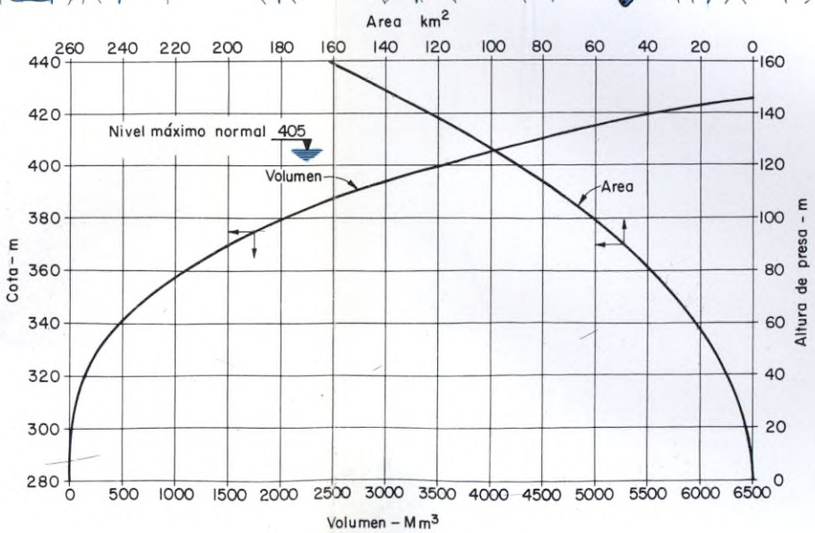
Presa

Casa de máquinas

Zona 18

Zona 21

a Paratebueno



CURVAS DE AREA Y CAPACIDAD

COTA m	AREA km²	VOLUMEN Mm³
425	131.7	6332
400	89.6	3565
375	54.4	1764
350	29.2	718
325	11.9	202
300	2.8	18
280	0.0	0

CONVENCIONES

- Carretera existente pavimentada
- Carretera existente sin pavimentar
- Carretera proyectada
- Zona de préstamo

Escala 0 0.5 2.5 km

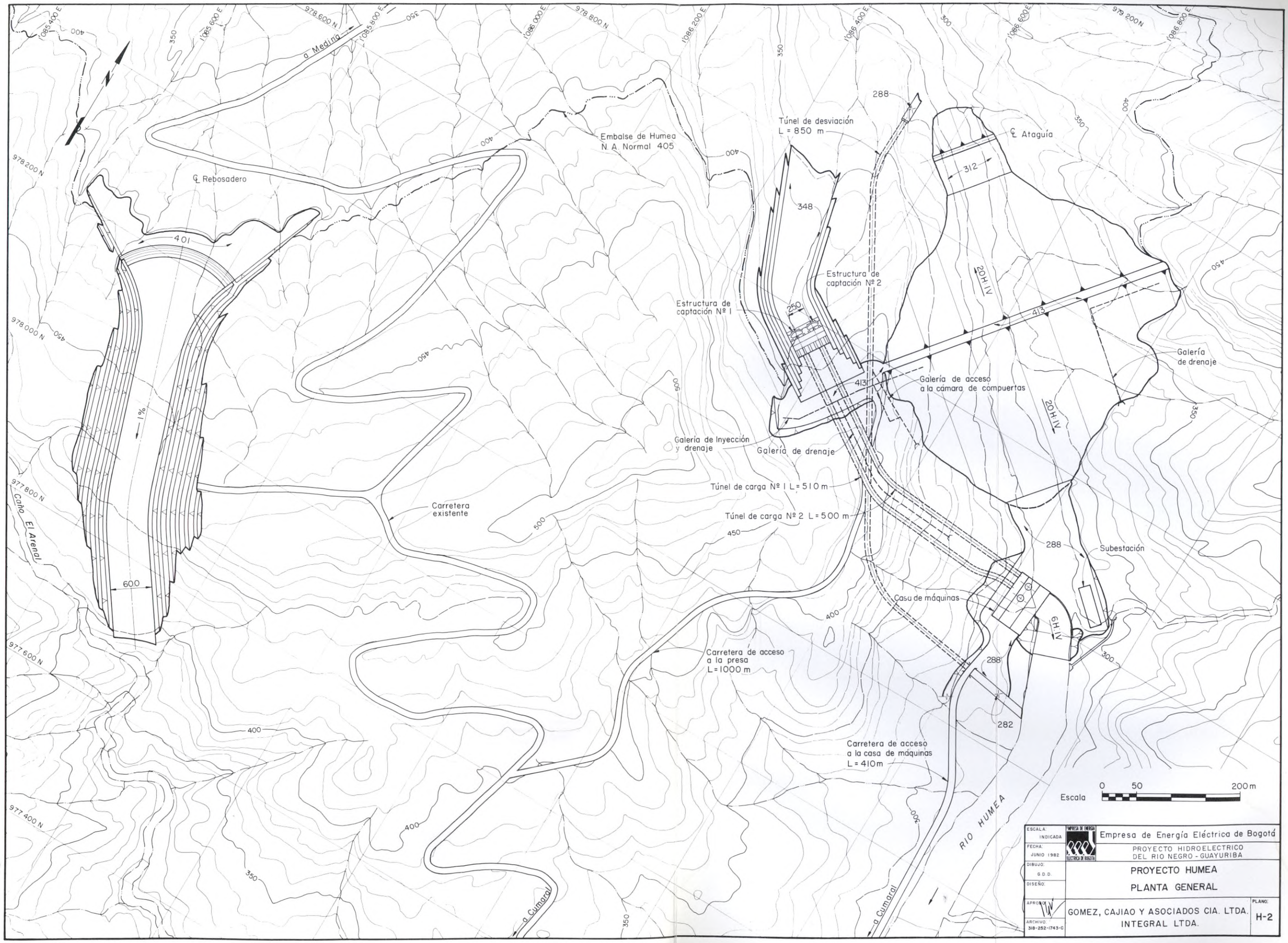
ESCALA: INDICADA
FECHA: JUNIO 1982
DIBUJO: A. I. G. A.
DISEÑO:
APROBO:
ARCHIVO: 318-097-0617-C

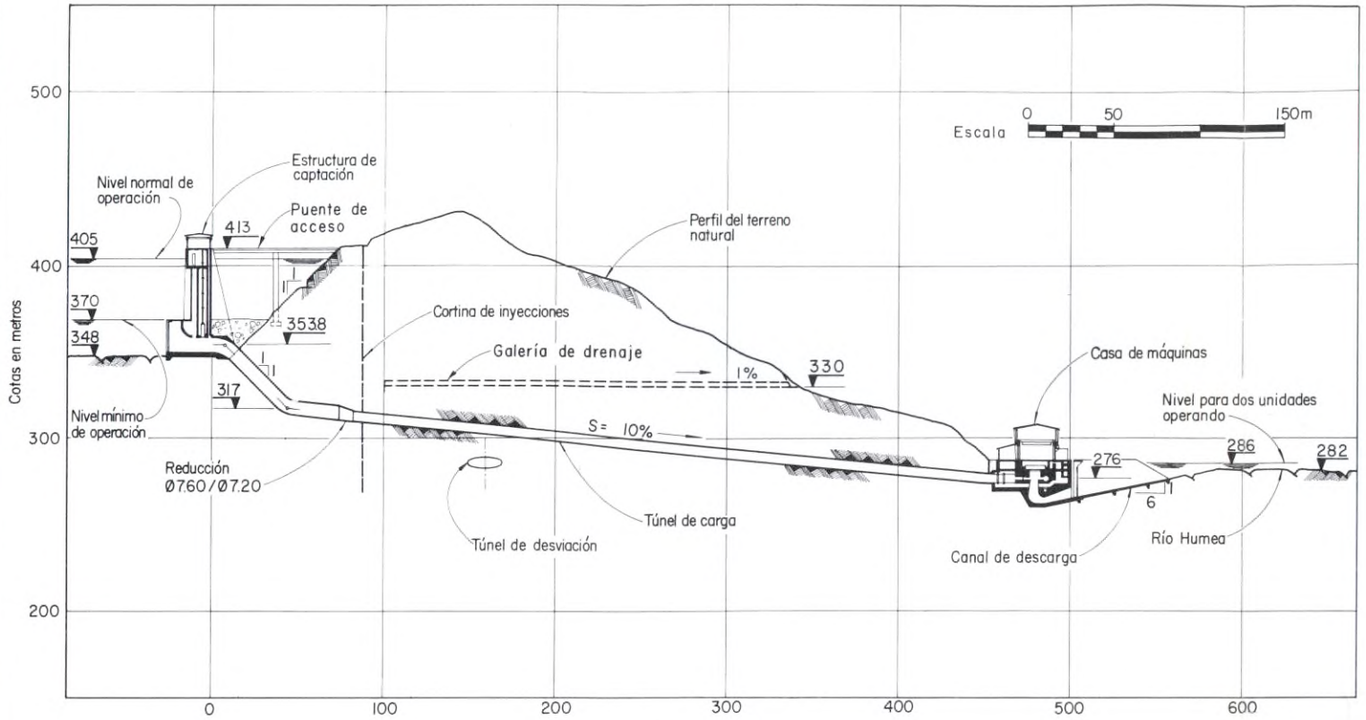
Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO-GUAYURIBA

PROYECTO HUMEA
EMBALSE

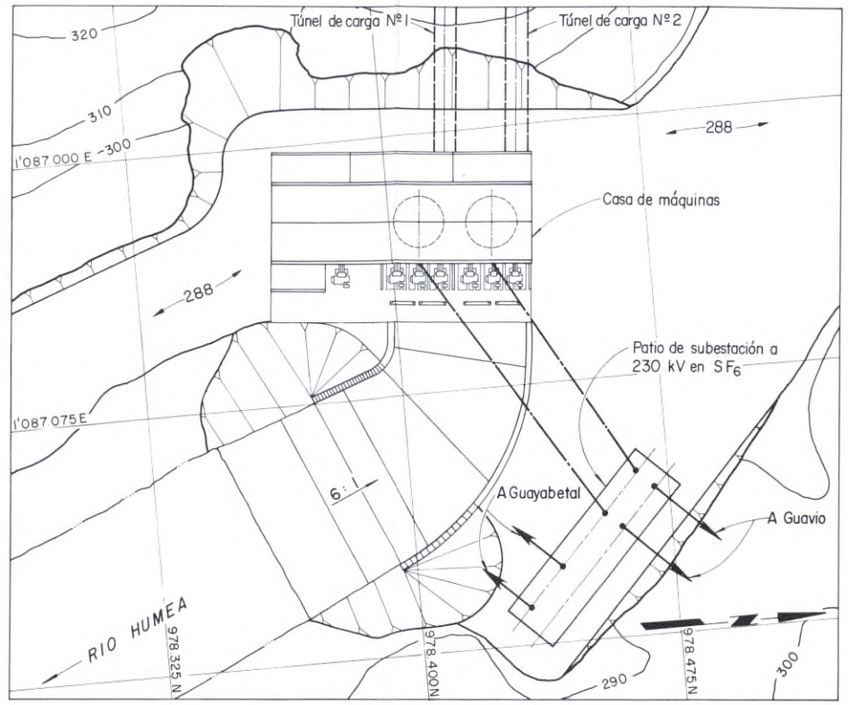
GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INTEGRAL LTDA.

PLANO: H-1


a Medina
Embalse de Humea
N. A. Normal 405
Túnel de desviación
L = 850 m
℄ Ataguía
℄ Rebosadero
Estructura de
captación Nº 2
Estructura de
captación Nº 1
Galería
de drenaje
Galería de acceso
a la cámara de compuertas
Galería de Inyección
y drenaje
Galería de drenaje
Túnel de carga Nº 1 L = 510 m
Túnel de carga Nº 2 L = 500 m
Carretera
existente
Subestación
Casa de máquinas
Carretera de acceso
a la presa
L = 1000 m
Carretera de acceso
a la casa de máquinas
L = 410m
Caño El Arenal
a Cumaral
RIO HUMEA
Escala
0 50 200 m
ESCALA: INDICADA
FECHA: JUNIO 1982
DIBUJO: G.D.D.
DISEÑO:
APROBO:
ARCHIVO: 318-252-1743-G
Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
PROYECTO HIDROELECTRICO
DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA
PROYECTO HUMEA
PLANTA GENERAL
GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA.
INTEGRAL LTDA.
PLANO: H-2

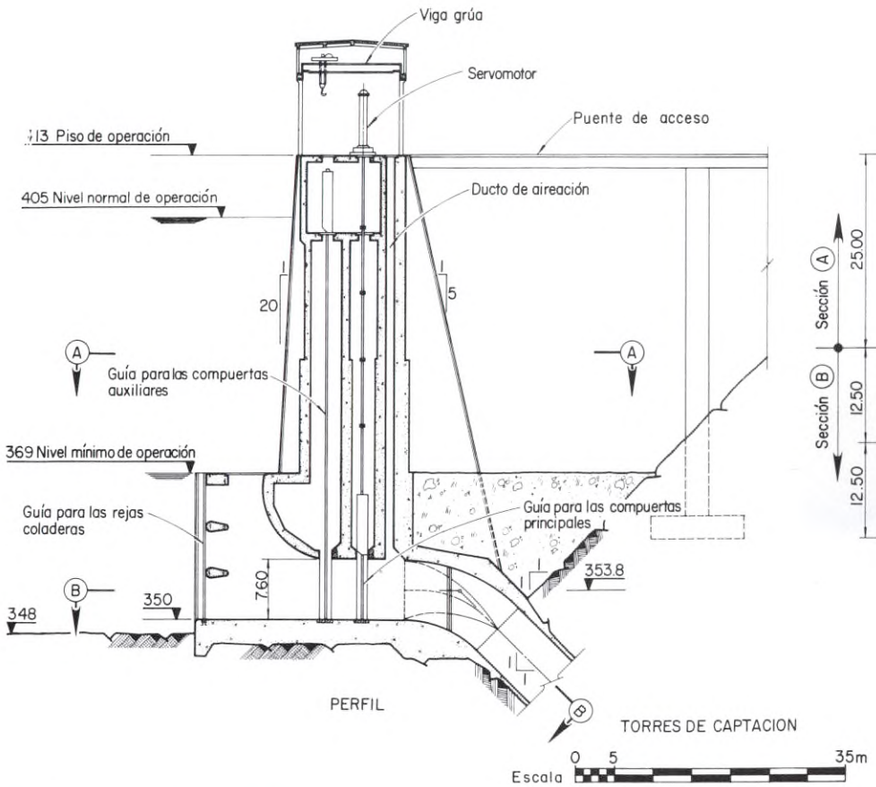


PERFIL GENERAL



ZONA DE CASA DE MAQUINAS
PLANTA

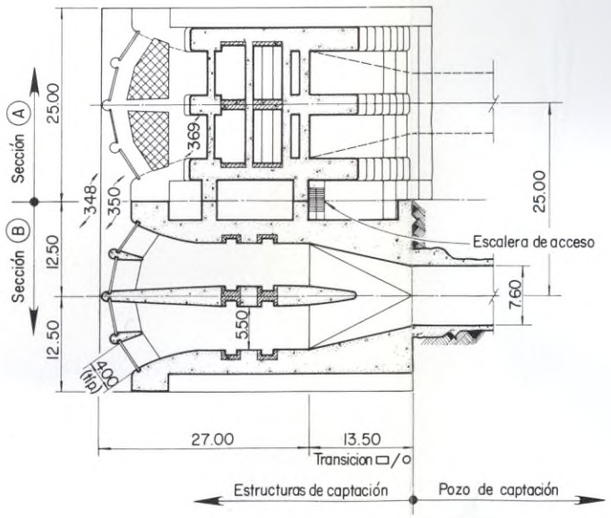
Escala 0 10 70m



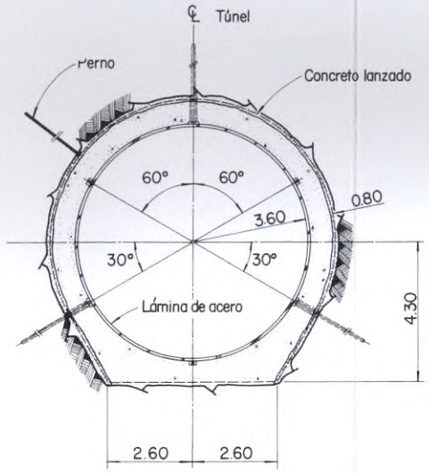
PERFIL

TORRES DE CAPTACION

Escala 0 5 35m



SECCIONES

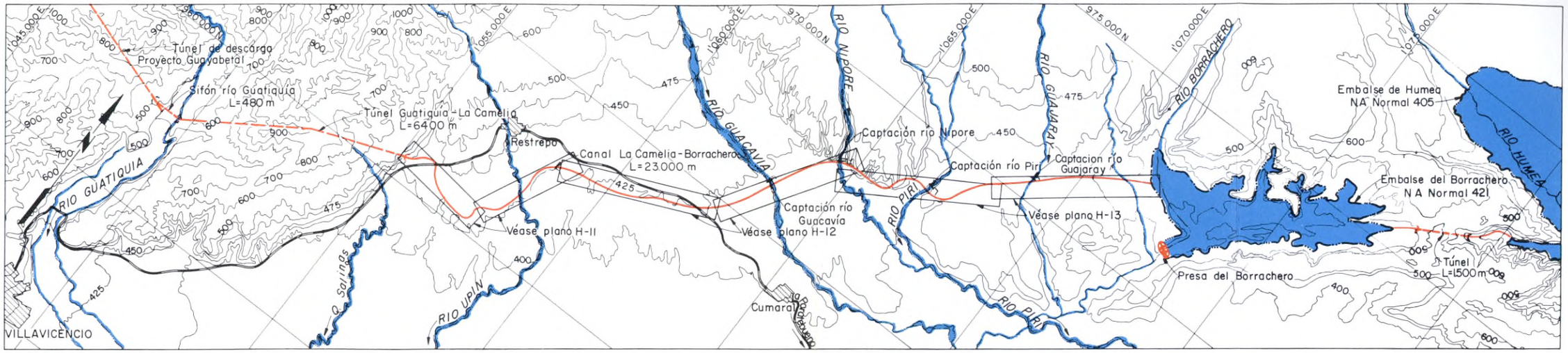


TUNEL BLINDADO

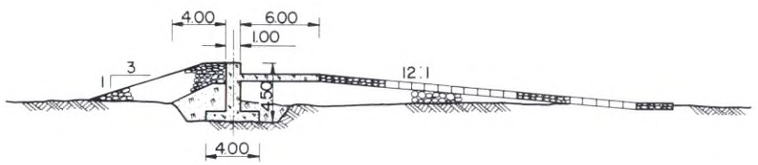
Escala 0 1 7m

SOPORTES DE CONSTRUCCION		
TIPO DE ROCA	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO
Sana	Ninguno	Pernos donde se requieran
Poco fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Pernos donde se requieran 1 Capa de concreto lanzado
Muy fracturada	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Pernos sistemáticos 1 Capa de concreto lanzado
Descompuesta	1 Capa de concreto lanzado	Malla de refuerzo Entibado metálico 2 Capas de concreto lanzado

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA
DIBUJO: G. M. R.	PROYECTO HUMEA BOCATOMA, CONDUCCION Y ZONA DE CASA DE MAQUINAS
DISEÑO: INTEGRAL	
APROBO:	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.
ARCHIVO: 318-251-1742 C	PLANO: H-3

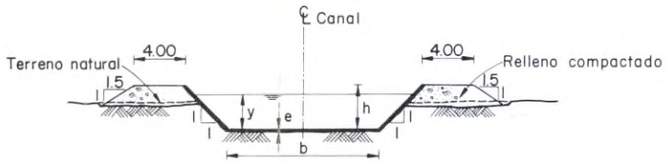


PLANTA



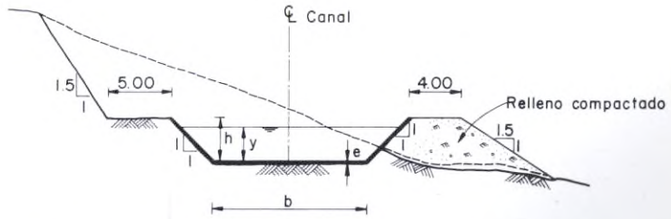
CORTE TIPICO DE PRESA DE DESVIACION

Sin escala



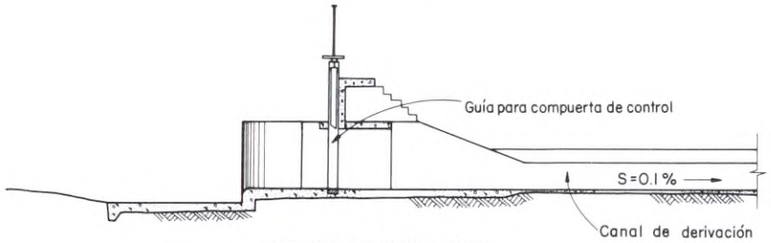
SECCION TIPICA DEL CANAL EN CORTE MINIMO

Sin escala



SECCION TIPICA DEL CANAL EN MEDIA LADERA

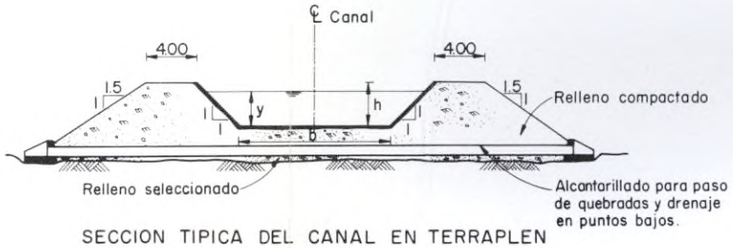
Sin escala



PRESA DE DESVIACION

CORTE TIPICO POR EL CANAL DE CAPTACION

Sin escala

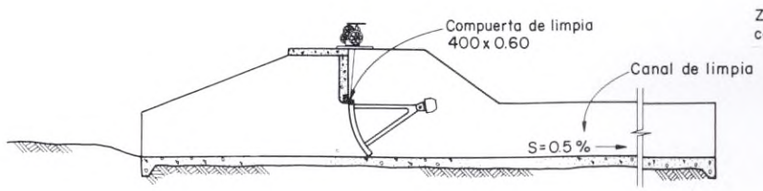


SECCION TIPICA DEL CANAL EN TERRAPLEN

Sin escala

DIMENSIONES DE LOS CANALES

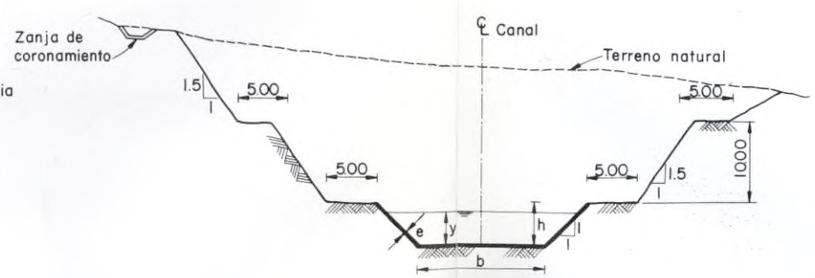
TRAMO	Caudal m^3/s	Longitud km	b m	y m	h m	e cm
La Camelia - Guacavía	125	12.0	10.0	2.70	3.40	11
Guacavía - Borrachero	190	11.0	12.0	3.05	3.80	11
Cano Sucio - Humea	120	1.5	10.0	2.65	3.40	0



PRESA DE DESVIACION

CORTE TIPICO POR EL CANAL DE LIMPIA

Sin escala



SECCION TIPICA DEL CANAL EN CORTE PROFUNDO

Sin escala

Escala 0 1 2 3 4 5 km

ESCALA: INDICADA	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá
FECHA: JUNIO 1982	PROYECTO HIDROELECTRICO DEL RIO NEGRO - GUAYURIBA
DIBUJO: C.E.M. de D.	PROYECTO HUMEA
DISEÑO:	CONDUCCION GUATIQUIA - HUMEA
APROBO:	PLANTA - SECCIONES TIPICAS
ARCHIVO: 318-278-18680	GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS CIA. LTDA. INTEGRAL LTDA.
	FIGURA: H-4

Desarrollo hidroeléctrico de los ríos Negro y Humea : informe de factibilidad / Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO