

223

934

Instituto Colombiano de Energía Eléctrica



Electrificadora de Boyacá S.A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DEL RIO CUSIANA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

INFORME PRINCIPAL

ESTUDIO FINANCIADO POR

- FONADE -

FONDO NACIONAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO

BOGOTA - AGOSTO DE 1982

SODEIC LTDA

INGENIEROS CONSULTORES E INTERVENTORES



Instituto Colombiano de Energía Eléctrica



Electrificadora de Boyacá S.A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DEL RIO CUSIANA

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

INFORME PRINCIPAL

ESTUDIO FINANCIADO POR

- FONADE -

FONDO NACIONAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO

BOGOTA - AGOSTO DE 1982

SODEIC LTDA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
INGENIEROS CONSULTORES E INTERVENORES

CONTENIDO DEL INFORME PRINCIPAL

RESUMEN Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

C A P I T U L O

I. GENERALIDADES

II. ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

III TOPOGRAFIA, CARTOGRAFIA Y AEROFOTOGRAMETRIA

IV GEOLOGIA, MATERIALES Y SISMOLOGIA

V HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS

VI ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA

VII ESTIMATIVO DE COSTOS

VIII EVALUACION DE ALTERNATIVAS

IX ALTERNATIVA SELECCIONADA

X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I N D I C E

CAPITULO	DESCRIPCION	PAGINAS
CAPITULO I	GENERALIDADES	
	1.1 INTRODUCCION	I - 1
	1.2 ANTECEDENTES	I - 2
	1.3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS	I - 5
	1.4 ESTUDIOS ANTERIORES	I - 6
	1.5 ENUMERACION DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS	I - 8
	1.6 ENUMERACION DE LOS PROYECTOS DIFERENTES DENTRO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	I - 9
	1.7 LOCALIZACION	I - 10
CAPITULO II	ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO	
	2.1 INTRODUCCION	II - 1
	2.2 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS DE DESARROLLO Y DE SUS PROYECTOS	II - 1
	2.3 CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS PROYECTOS	II - 8
CAPITULO III	TOPOGRAFIA, CARTOGRAFIA Y AEROFOTOGRAMETRIA	
	3.1 GENERALIDADES	III - 1
	3.2 TRABAJOS EJECUTADOS	III - 1

CAPITULO	DESCRIPCION	PAGINAS
	3.3 RESTITUCIONES Y TRIANGULACIONES RECOMENDADAS PARA LA ETAPA DE FACTIBILIDAD DE LOS ESTUDIOS	III - 5
CAPITULO IV	GEOLOGIA, MATERIALES Y SISMOLOGIA	
	4.1 ANTECEDENTES	IV - 1
	4.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO	IV - 2
	4.3 GEOLOGIA GENERAL	IV - 3
	4.4 LITOLOGIA	IV - 4
	4.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	IV - 5
	4.6 SISMOLOGIA	IV - 6
	4.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION	IV - 8
CAPITULO V	HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS	
	5.1 INTRODUCCION	V - 1
	5.2 CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DEL AREA DE ESTUDIO	V - 1
	5.3 INFORMACION Y RED HIDROMETEOROLOGICA EXISTENTE	V - 4
	5.4 CAUDALES MEDIOS	V - 7
	5.5 CAUDALES MINIMOS	V - 8
	5.6 CAUDALES DE CRECIENTE PARA DISEÑO DE VERTEDEROS Y DESVIACIONES	V - 9
	5.7 TRANSITO DE CRECIENTES PARA DISEÑO DE VERTEDEROS DE EXCESOS	V - 10
	5.8 SEDIMENTOS	V - 12

CAPITULO	DESCRIPCION	PAGINAS
CAPITULO VI	ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA	
6.1	INTRODUCCION	VI - 1
6.2	DEFINICION DE TERMINOS	VI - 1
6.3	CRITERIOS Y METODOLOGIA PARA LOS ESTUDIOS	VI - 2
6.4	MODELO MATEMATICO DE SIMULACION PARA ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA	VI - 9
CAPITULO VII	ESTIMATIVO DE COSTOS	
7.1	INTRODUCCION	VII - 1
7.2	PRECIOS UNITARIOS	VII - 1
7.3	CANTIDADES	VII - 1
7.4	PRESUPUESTOS	VII - 2
7.5	COSTOS DE LOS PROYECTOS	VII - 2
7.6	COSTO DE LAS ALTERNATIVAS	VII - 3
CAPITULO VIII	EVALUACION DE ALTERNATIVAS	
8.1	INTRODUCCION	VIII - 1
8.2	EVALUACION DE ALTERNATIVAS	VIII - 1
CAPITULO IX	ALTERNATIVA SELECCIONADA	
9.1	INTRODUCCION	IX - 1
9.2	DESCRIPCION DE OBRAS	IX - 1
9.2.1	PRESA DE ALISAL	IX - 1

CAPITULO

DESCRIPCION

PAGINA

9.2.2	PROYECTO GUSPAQUIRA	IX - 3
9.2.3	PROYECTO RANCHERIA	IX - 4
9.2.4	PROYECTO CANDELAS	IX - 6
9.2.5	PROYECTO SABANALARGA	IX - 7
9.2.6	PROYECTO CHAMEZA	IX - 8
9.2.7	PROYECTO BOCAS DEL SALINERO	IX - 9

CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1	CONCLUSIONES	X - 1
10.2	RECOMENDACIONES	X - 1

INDICE DE FIGURAS

No.	CAPITULO I
1.1	Localización General
	CAPITULO II
2.1	Localización de los Proyectos
2.2	Embalse Toquilla, Presa Toquilla
2.3	Embalse Toquilla, Presa Alisal
2.4	Embalse Toquilla, Presa Vado Hondo
2.5	Presa Toquilla. Planta General, sección máxima, perfiles
2.6	Presa Alisal. Planta General, sección máxima, perfiles
2.7	Presa Vado Hondo. Planta General, sección máxima, perfiles
2.8	Proyecto Guspaquirá y Proyecto Ranchería. Esquemas generales
2.9	Proyecto Guspaquirá. Presa de Derivación : Planta general y cortes
2.10	Proyecto Ranchería. Presa de Derivación : Planta general y cortes
2.11	Proyecto Salto Candelas. Esquema general
2.12	Proyecto Candelas. Presa de Derivación : Planta general y cortes
2.13	Proyecto Sabanalarga. Esquema general
2.14	Proyecto Sabanalarga. Presa de Derivación : Planta general y cortes
2.15	Proyecto Chámeza. Esquema general
2.16	Proyecto Chámeza. Presa Volador : Planta general, sección máxima, perfiles.
2.17	Proyecto Bocas del Salinero. Esquema general, alternativas

- No.
- 2.18 Presa Bocas del Salinero. Planta general, sección máxima, perfiles
 - 2.19 Proyecto Vado Hondo (ESEE). Esquema general
 - 2.20 Proyecto Ranchería (ESEE). Esquema general
 - 2.21 Proyecto Unete (ESEE). Esquema general
 - 2.22 Proyecto Pajarito. Esquema general
 - 2.23 Casa de máquinas para 2 turbinas Pelton, cortes y características básicas.
 - 2.24 Casa de máquinas para 2 turbinas Francis, cortes y características básicas.
 - 2.25 Subestación 230 KV. Planta y cortes típicos

C A P I T U L O III

- 3.1 Cartografía y Aerotografías
- 3.2 Proyectos Seleccionados. Zonas a restituir en etapa de factibilidad

C A P I T U L O IV

- 4.1 Mapa Geológico General
- 4.2 Información Sísmica
- 4.3 Embalse Toquilla. Geología Zonas de Préstamo
- 4.4 Geología y Suelos. Presas Toquilla, Alisal y Vado Hondo
- 4.5 Proyectos Guspaquirá y Ranchería. Geología Planta Investigaciones de campo
- 4.6 Proyectos Guspaquirá y Ranchería, perfil geológico
- 4.7 Proyecto Ranchería, perfil geológico
- 4.8 Proyecto Salto Candelas, Geología y Suelos

- No.
- 4.9. Proyecto Salto Candelas, perfil geológico
 - 4.10. Proyecto Sabanalarga. Geología
 - 4.11. Proyecto Sabanalarga, perfil geológico
 - 4.12. Proyecto Chámeza, Geología y Suelos. Investigaciones de campo
 - 4.13. Proyecto Chámeza, perfil geológico
 - 4.14. Proyecto Bocas del Salinero, Geología y Suelos. Investigaciones de campo
 - 4.15. Proyecto Bocas del Salinero, perfil geológico (alternativas)
 - 4.16. Proyecto Vado Hondo (ESEE) Geología
 - 4.17. Proyecto Ranchería (ESEE) Geología
 - 4.18. Proyectos Vado Hondo y Ranchería (ESEE). Perfiles geológicos
 - 4.19. Proyecto Unete (ESEE). Geología
 - 4.20. Proyecto Unete (ESEE). Perfil Geológico

C A P I T U L O V

- 5.1 Curvas Isohietas

C A P I T U L O VIII

- 8.1 Esquema de la Alternativa I
- 8.2 Esquema de la Alternativa II
- 8.3 Esquema de la Alternativa III
- 8.4 Esquema de la Alternativa III-A
- 8.5 Esquema de la Alternativa V

- Las figuras No. 2-3, 2-4, 2-6 y 2-7 del capítulo II no fueron incluidas en la presentación final. Solo se ilustra la Presa Toquilla en las figuras 2-2 y 2-5. Las figuras 2-19, 2-20, 2-21 y 2-22 no se redujeron.
- En el estudio Salto Candelas o Candelas es el mismo proyecto

INDICE DE TABLAS

No.	TITULO
TABLA 2-1	CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS PROYECTOS
TABLA 6-1	DATOS BASICOS DE LOS PROYECTOS
TABLA 7-1	COSTOS DE LOS PROYECTOS
TABLA 8-1	EVALUACION DE LOS PROYECTOS
TABLA 8-2	CARACTERISTICAS Y COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS
TABLA 8-3	EVALUACION DE CONJUNTOS DE PROYECTOS

A N E X O S

- A. CARTOGRAFIA
 - AEROFOTOGRAFIAS
 - TOPOGRAFIA

- B. HIDROLOGIA
 - INFORME
 - ADENDO

- C. GEOLOGIA
 - SUELOS Y MATERIALES
 - SISMOLOGIA

- D. COSTOS
 - PROGRAMAS DE CONSTRUCCION

- E. ECOLOGIA
 - CONSERVACION DE CUENCAS
 - SOCIO - ECONOMIA

- F. INFRAESTRUCTURA
 - (VIAS Y SISTEMA ELECTRICO)

- G. POTENCIA Y ENERGIA
 - MEMORIAS DE CALCULO

RESUMEN Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del presente estudio es el aprovechamiento hidroeléctrico de las corrientes de la Hoya del Río Cusiana, y corresponde a la Etapa A, la cual contempló dos fases:

Fase 1. Identificación y evaluación de los posibles aprovechamientos hidroeléctricos más atractivos dentro de la Hoya del Río Cusiana.

Fase 2. Estudios de Prefactibilidad de los aprovechamientos seleccionados en la fase 1, e incluyen los siguientes aspectos :

- . Hidrometeorología y Sedimentos
- . Geodesia y Topografía
- . Geología, Suelos, materiales de construcción y sismología
- . Esquemas Preliminares
- . Estudios de Generación
- . Estudios Ecológicos y Socio-Económicos
- . Estudios de infraestructura
- . Programas de Construcción

1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS PROYECTOS

Los proyectos que resultaron más atractivos se ilustran en el esquema adjunto, y son los siguientes :

- PRESA DE EMBALSE DE TOQUILLA

Con el propósito de regular el caudal se ha proyectado una presa de embalse en el área de Toquilla para un embalse del orden de $120 \times 10^6 \text{ m}^3$,

provista de un vertedero de azud con tres compuertas radiales y una descarga regulada de fondo .

- PROYECTO GUSPAQUIRA

Consta de una presa-vertedero de derivación localizada en el lecho del Río Cusiana túnel de conducción de 8.550m de longitud y 2.5m de diámetro, almenara y tubería de presión de 1.130m y 1.8m de diámetro. Casa de máquinas superficial con dos turbinas Pelton con capacidad instalada de 73.4 MW.

- PROYECTO RANCHERIA

Está constituido por una presa de derivación, túnel de conducción de 820m y 2.6m de diámetro, almenara y tubería de presión de 1.620m de longitud y 2.1m de diámetro. La casa de máquinas superficial y alojará dos turbinas Pelton para una capacidad instalada de 94.6 MW.

- PROYECTO CANDELAS

Consiste de una presa de derivación con vertedero localizada aguas abajo del Salto de Candelas, túnel de conducción de 10.650m de longitud y 2.9m de diámetro, por el cual se desvía el Río Cusiana al Río Charte -- afluente del Río Cusiana, almenara y tubería de presión de 1.600m de longitud y 2.5m de diámetro, casa de máquinas superficial con dos turbinas Pelton y capacidad de 84.5 MW.

- PROYECTO SABANALARGA

Al igual que los tres anteriores consta de una pequeña presa-vertedero localizada en el Río Charte, túnel de conducción de 7.125m de longitud y 3.2m de diámetro, almenara y tubería de presión de 2.420m de longitud y 2.8m de diámetro. La casa de máquinas es del tipo superficial con dos turbinas Pelton y capacidad instalada de 144.2 MW.

- PROYECTO CHAMEZA

En las cercanías de la confluencia de los Ríos Tonce y Sunce con el Salinero, afluentes del Río Cusiana, se ha localizado una presa de enrocado cuya altura máxima será de 165m para embalsar cerca de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$, estará provista de un vertedero de azud con compuertas radiales, tendrá una estructura de captación y un túnel de conducción de 5.900m de longitud y 3.4m de diámetro, almenara y tubería de presión de 940m de longitud y 2.8m de diámetro, casa de máquinas superficial con dos turbinas - Francis y capacidad instalada de 96.1 MW.

- PROYECTO BOCAS DEL SALINERO

Inmediatamente aguas abajo de la desembocadura del Río Salinero al Río Cusiana se ha proyectado una presa de embalse con altura máxima de 153m, para una capacidad de almacenamiento total de $252 \times 10^6 \text{ m}^3$ contará con un vertedero tipo azud con compuertas radiales, tendrá una captación seguida de un túnel de conducción de 1.700m y 5.6m de diámetro y una tuberiá de presión de 470m y 4.5m de diámetro.

La casa de máquinas sería superficial con dos unidades Francis y 133.9 MW de capacidad.

2. CARACTERISTICAS BASICAS DEL AREA

LOCALIZACION

La zona de los proyectos está ubicada en el Departamento de Boyacá y en la intendencia de Casanare, entre los 4° 30' y 5° 40' de latitud norte entre los 71° 50' y 72° 55' de longitud oeste. La cuenca hidrográfica del Río Cusiana está situada en la vertiente oriental de la cordillera oriental y es uno de los afluentes del Río Meta. En la figura 1-1 se ilustra la localización en la región y en el territorio Colombiano.

TOPOGRAFIA Y VEGETACION

Podemos distinguir cuatro sectores :

- 1er. Sector. Entre los 3.700 m.s.n.m, Páramo de la Sarna y los 2.700 m.s.n.m., con terrenos ondulados y pendientes relativamente suaves; con vegetación de páramo predominio de rastrojo, gramíneas, musgo, fraylejón y algunas zonas con pastos y pequeños cultivos de papa.
- 2do. Sector. De 2.700 a 800 m.s.n.m, con fuertes pendientes y terrenos escarpados.
Rastrojos altos y bosques naturales, pastos, cultivos de café, caña y maíz.
- 3er. Sector. De 800 a 400 m.s.n.m, terrenos montañosos con pendientes medias y suaves.
Rastrojo alto y bosques nativos entresacados, pastos naturales y cultivos de café, caña, maíz, huertas.
- 4to. Sector. Por debajo de los 400 m.s.n.m, en el piedemonte y comienzo de los llanos, caracterizados por terrenos planos.

Con predominio de rastrojos, pastos naturales y cultivos de arroz, pastos artificiales.

PRECIPITACION

En la zona montañosa alta por encima de 2.700 m.s.n.m, la precipitación anual está entre 1000 y 2000 mm.

En la zona intermedia entre 2.700 y 400 m.s.n.m, la precipitación media anual fluctúa entre 2000 y 5000 mm.

En la zona baja por debajo de los 400 m.s.n.m, la precipitación es de 2000mm por año y va disminuyendo gradualmente con la altitud.

GEOLOGIA

En el área afloran rocas sedimentarias de edad cretácea y terciaria; las cretáceas tienen un mayor grado de litificación y son de origen marino, mientras que las rocas terciarias son continentales y están medianamente consolidadas. Estas rocas están cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados. En la zona noroeste predominan los depósitos glaciares y fluvio-glaciares mientras que al Sur este se presentan terrazas, llanuras aluviales y depósitos de detritos.

Las estructuras en el área están representadas por pliegues anticlinales y sinclinales con rumbo noreste y fallas inversas.

LITOLOGIA

En el área de los proyectos, las rocas cretácicas y terciarias se componen de areniscas y lutitas. Se observan no solamente estratos de grandes espesores de areniscas y lutitas, sino también estratificaciones alternadas de los dos.

MORFOLOGIA Y APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

Desde el punto de vista del aprovechamiento hidroeléctrico y teniendo en cuenta la morfología del terreno podemos distinguir tres zonas y su aptitud natural es la siguiente :

- La parte alta de la cuenca es apta para localizar embalses
- La parte media es propia para localizar conducciones en túnel sin posibilidades de embalses pero con caídas considerables.
- En la parte inferior de la cuenca es posible ubicar embalses y conducciones de mediana longitud, las caídas no son apreciables pero los caudales ya son considerables.

De acuerdo con estas condiciones lo más aconsejable resulta construir un embalse regulador en Toquilla y desarrollar en primera instancia el proyecto Ranchería para continuar en etapas posteriores el desarrollo de la cascada de acuerdo con la demanda. Es necesario en la etapa de factibilidad estudiar y optimizar la operación combinada de las plantas con el fin de aumentar la energía firme del sistema.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

Como resultado del estudio de Prefactibilidad del aprovechamiento hidroeléctrico del Río Cusiana vale destacar algunos aspectos relevantes :

- El conjunto de proyectos más atractivo está constituido por la presa de embalse en Toquilla y los desarrollos de Guspaquirá, Ranchería, Candelas y Sabanalarga. Este conjunto tendrá una capacidad instalada de 393.2 MW, la energía firme llegaría a 1.327 GWH/Año para un costo total 251.7 millones de dólares con costos unitarios muy favorables :
U.S.\$ 643/KW instalado
U.S.\$ 0.019/KW-H generado

Si distribuimos el costo de la Presa de Toquilla, U.S.\$ 39.2 millones, entre los cuatro proyectos de la cascada tendríamos las siguientes cifras :

<u>Proyecto</u>	<u>Capacidad Instalable</u>	<u>Costo millones US\$</u>	<u>COSTOS US\$/KW</u>	<u>UNITARIOS US\$/KW-H</u>
Guspaquirá	73.4	44.7	615	0.025
Ranchería	92.8	50.0	539	0.021
Candelas	83.9	78.5	936	0.028
Sabalarga	143.8	79.4	552	0.018

De acuerdo con estas cifras convendría construir en primer término la Presa de embalse en Toquilla a continuación el proyecto Ranchería y luego el Proyecto Guspaquirá con lo cual tendríamos una capacidad instalable de 167 MW, energía firme de 666 GWH/Año para una inversión de U.S.\$ 114.5 millones y los costos unitarios serían de U.S.\$ 687.6/KW -

instalado y de U.S.\$ 0.019 / KWH generado.

3.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un levantamiento aerofotogramétrico, fotos en escala 1:20.000, que continúe la banda existente Aguazul-Pajarito, hasta Toquilla con - la adición de una banda o corredor a lo largo del río Salinero desde - Chámeza hasta su desembocadura en el río Cusiana.
- Establecer redes de triangulación geodésica de control que permitan de finir la localización futura de las obras. Estas triangulaciones deben realizarse en los ejes San Benito-Recetor y San Benito-Chámeza.
- Realizar restituciones de las zonas de presa y casas de máquinas de los proyectos de la alternativa recomendada en escala 1:2.000 con curvas de nivel cada 2m.
- Realizar una red de triangulaciones geodésicas mediante la cual se asignen tres coordenadas a puntos de interés en la zona de ejes de estructuras principales.
- Para la etapa de factibilidad se recomiendan investigaciones en cuanto a geología, geotecnia y materiales de construcción :

Excavaciones a cielo abierto : pozos, tajos y trincheras

Socavones o túneles de exploración

Sondeos de percusión con pruebas de permeabilidad (SPT)

Sondeos de rotación con pruebas de permeabilidad a presión

Secciones geofísicas : sísmicas y eléctricas

Observaciones hidrogeológicas

Pruebas de mecánica de rocas in situ

Pruebas de mecánica de suelos in situ

- Se proponen las siguientes actividades en lo concerniente a hidrología :
Instalación de las siguientes estaciones climatológicas :
Toquilla sobre el Río Cusiana : Climatológica principal; sería representativa de la zona alta del proyecto.
Pajarito : evaporímetro, termómetro, anemómetro, psicrómetro y pluviógrafo.
Municipio de Chámeza : estación climatológica principal
Bocas del Salinero : evaporímetro, termómetro, anemómetro.
Puente Charte, sobre el Río Charte : evaporímetro, termómetros, anemómetros, psicrómetro y pluviógrafo.
Instalación de estaciones pluviométricas en Toquilla, en el extremo este de la cuenca ; en las proximidades de la serranía del Gallo y parte alta de las cuencas de los ríos Unete y Charte.
Acondicionamiento de las estaciones existentes instaladas por SODEIC
- Para las zonas media y baja de las cuencas es indispensable que el Indereña tome medidas para evitar que continúe la destrucción del bosque. Se recomienda también desarrollar en lo posible el programa de conservación de la cuenca alta del Río Cusiana, permitiendo el desarrollo de la vegetación de rastrojo de páramo y estableciendo un vivero forestal en las cercanías de la Vereda Cañas.
- Son necesarios estudios más detallados de impacto ambiental, hidráulicos e hidrológicos con el fin de definir el comportamiento futuro del río -- Charte con el aumento de caudal desviado desde el río Cusiana.

- Sería conveniente estudiar el aspecto de propósito múltiple de proyectos atractivos como los de Charate y Bocas del Salinero, en lo referente a riego de las zonas del Piedemonte en inmediaciones de la carretera marginal de la Selva.
- Llevar a cabo un muestreo de peces que contemple la parte alta y media de la cuenca del Río Cusiana con el fin de poder determinar con mayor precisión el recurso pesquero existente en estas zonas. En el embalse de Toquilla conviene estudiar el manejo del recurso piscícola, el cual ofrecería una alternativa económica a los habitantes de la región.

3.3 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DESARROLLOS HIDROELECTRICOS

Los siete (7) desarrollos proyectados de acuerdo con las características técnicas y la problemática ambiental que generan, se analizan de la siguiente forma : Los proyectos con presas altas y con embalse, como son los desarrollos de Toquilla, Chámeza y Bocas del Salinero, los desarrollos en escalera en los que intervienen el vertimiento de Toquilla y los proyectos de Guspaquirá, Ranchería y Salto de Candelas, y la desviación y vertimiento de las aguas del Río Cusiana desde el Salto de Candelas al río Charte en el proyecto Sabanalarga.

A. Proyecto con Embalse

1. Proyecto Toquilla. Los conflictos que genera este proyecto están relacionados con el área inundada y con la detención del flujo regular de las aguas del río Cusiana. La zona de inundación presenta suelos de páramo, tiene una densidad rural de habitantes relativamente alta y una cobertura vegetal que en su mayoría es cultural. La subcuenca de este proyecto se encuentra en buen estado y -- aunque no se tienen datos exactos de la calidad del agua del río Cusiana se espera que por estar originada en el páramo, sea limpia y oxigenada.

El embalse generará la detención del flujo regular de -- las aguas afectando el ecosistema acuático; sin embargo,

dadas las condiciones de la calidad del agua y de la com
posición íctica del río Cusiana en la zona con especies
de trucha y carpa, se podría con un buen manejo, aprove-
char el recurso piscícola del embalse, que ofrecería una
alternativa económica a los habitantes de la región.

2. Proyecto Chámeza y Bocas de Salinero : Los conflictos am
bientales generados pro estos proyectos se relacionan --
principalmente con el ecosistema acuático. En primera ins
tancia, los datos de calidad del agua de sus afluentes in
dican unos niveles de fosfatos muy altos aumentando los -
riesgos de eutroficación en los embalses. Además, la de-
tención del flujo regular y natural de las aguas del río
Cusiana junto con la transformación de la calidad de sus
aguas por efecto del embalsamiento afectarán negativament
e un recurso pesquero de importancia localizando entre -
el piedemonte y la desembocadura del río Cusiana en el -
río Meta. Este hecho se basa en que al ser estos embalses
relativamente profundos, el agua vertida saldrá con unos
niveles muy bajos y nulos de oxígeno y con productos de -
la anaerobiósis como son el H_2S , metanos, mercaptanos,
etc., que inciden sobre la vida acuática. Por otro lado,
el hecho de detener el flujo regular y natural de las --
aguas afectará directamente las migraciones anuales de .
los peces. Sería recomendable contemplar variaciones en
los caudales de salida, teniendo en cuenta el ciclo natuu

ral del río, cuando se hagan los estudios acerca de la operación y manejo de los embalses.

Adicionalmente, se considera que el vertimiento del proyecto Chámeza no deberá realizarse directamente al embalse de Bocas de Salinero, sino que se deberá permitir que estas aguas tengan un tramo de recorrido en el cual puedan elevar el contenido de oxígeno y, a su vez, oxidar los productos de la anaerobiósis. En forma general, éstos proyectos presentan los dos tipos básicos de conflicto ambiental : el primero de ellos va del ambiente hacia los proyectos y lo conforman los riesgos de eutroficación de los embalses; el segundo va de los proyectos hacia el ambiente al afectarse la vida acuática aguas abajo del Río Cusiana.

B. Proyectos en Escalera

Estos proyectos se basan en el proceso de captación, conducción, generación y vertimiento directo al proyecto siguiente y así sucesivamente. Incluyen los desarrollos de Toquilla, Guspaquirá, Ranchería y Candelas. Todos ellos afectarán el ecosistema acuático del río Cusiana, por la detención del flujo regular de las aguas. La distancia entre uno y otro desarrollo da origen a subcuencas pequeñas, las cuáles, en época de verano pueden no tener un rendimiento hídrico suficiente

te como para mantener la vida acuática presente. Por lo tanto, se deberá estudiar el rendimiento de cada una de las subcuencas para que, con base en los resultados, se pueda determinar el caudal requerido, el cual sería aconsejable no captar en los proyectos. Este caudal debe corresponder al caudal mínimo de verano.

C. Desviación del Río Cusiana

La desviación de las aguas del río Cusiana consta de la captación en el proyecto Candelas y el vertimiento de estas aguas al Río Charte en el proyecto Sabanalarga. Adicionalmente, el proyecto Candelas también contempla la captación de las quebradas, Congutá, Rocha y La Legía, afluentes que desembocan al río Aguas abajo del proyecto. Las características anteriores hacen que el río Cusiana pueda secarse durante un buen tramo de su recorrido, especialmente durante la época de verano, aunque la zona se encuentre en una región de alta pluviosidad.

Por lo tanto, para la subcuenca creada entre el proyecto Candelas y el proyecto Bocas de Salinero se deberá evaluar el rendimiento hídrico a nivel mensual con el fin de poder determinar la magnitud del tramo que se secaría o que presentaría un déficit hídrico por debajo del caudal de verano y así se podrá determinar el caudal recomendable en el proyecto Candelas.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS DEL RÍO CUSIANA
Laboratorio y Corredor Biológico
de las Playas

SABANALARGA

Por otro lado, el vertimiento de las aguas del Río Cusiana al río Charte en el proyecto Sabanalarga presenta conflicto por las diferencias en cuanto a la calidad de sus aguas. Mientras que las aguas que drenan al río Cusiana presentan niveles altos de fosfatos, las aguas del río Charte no contienen este elemento. Por lo tanto, para no transformar la dinámica natural de las aguas del río Charte, se deberá efectuar un muestreo seriado en diferentes épocas del año para conocer la calidad físicoquímica y poder predecir el impacto real del vertimiento.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO CUSIANA

Localización y Características de los Proyectos

GUSPAQUIRA

POTENCIA INSTALABLE 74.3 MW
 ENERGIA FIRME 35.7 MW-mes
 COSTO INVERSION U.S. \$ 47'6
 COSTO INSTALACION U.S. \$ 648/KW
 COSTO GENERACION U.S. \$ 0,025/KWh.

SABANALARGA

144.2 MW
 46.4 MW-mes
 U.S. \$ 85'
 U.S. \$ 589/KW
 U.S. \$ 0,018/KWh.

CANDELAS

84.5 MW
 32.5 MW-mes
 U.S. \$ 81.8
 U.S. \$ 969/KW
 U.S. \$ 0,028/KWh

RANCHERIA

94.6 MW
 40.3 MW-mes
 U.S. \$ 53'8
 U.S. \$ 569/KW
 U.S. \$ 0,021/KWh

BOCAS DE SALINERO

133.9 MW
 63.6 MW-mes
 U.S. \$ 180'6
 U.S. \$ 1.349/KW
 U.S. \$ 0,029/KWh.

CHAMEZA

96.1 MW
 47.1 MW-mes
 U.S. \$ 183'8
 U.S. \$ 1.912/KW
 U.S. \$ 0,050/KWh.

RIO CUSIANA

EMBALSE
 PRESA EN TOQUILLA

LIMITE DE LA MOYA

LAGUNA DE TOTA

RIO CUSIANA
 RIO SINCE
 RIO TONCE
 RIO SALINERO
 RIO UPIA

2.720

2.165

1.560

1.095

475

PRESA DERIVACION

CASA DE MAQUINAS
 ALMENARA

RIO CHARTE

EMBALSE

PRESA

475

660

PRESA

1.004

EMBALSE

ESCALA 1 : 250.000

CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El Instituto Colombiano de Energía Eléctrica - ICEL, y la Electricadora de Boyacá S. A., de acuerdo con lo dispuesto en los decretos 150 de 1976, 106 de 1977 y complementarios, mediante Resolución No. 0787 de Julio 26 de 1978 abrieron el Concurso de Méritos DECP No. 1127 para los estudios de Prefactibilidad y Factibilidad Técnica de los Aprovechamientos Hidroeléctricos de la Hoya del Río Cusiana, en el Departamento de Boyacá y la Intendencia del Casanare.

Los estudios se desarrollarán en dos (2) etapas : Etapa A : Comprende las siguientes fases : Fase 1 : Identificación y Evaluación de los posibles sitios de aprovechamientos hidroeléctricos más atractivos dentro de la hoya del río Cusiana. Fase 2 : Estudios de Prefactibilidad de los aprovechamientos seleccionados en la Fase 1. Etapa B : Estudios de Factibilidad Técnica de los proyectos hidroeléctricos seleccionados en la Etapa A.

La Honorable Junta Directiva del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, en su reunión del 23 de Enero de 1979, Acta No. 724, autorizó a la Gerencia para seleccionar a la firma SODEIC LTDA y aprobó solicitarle propuesta económica para adelantar los estudios de prefactibilidad de los aprovechamientos hidroeléctricos existentes en la hoya del río Cusiana.

En su reunión del 24 de Abril de 1979, Acta No. 733, la Honorable Junta Di-

rectiva aprobó la propuesta económica presentada por SODEIC LTDA, para adelantar los estudios preliminares y de prefactibilidad de los aprovechamientos hidroeléctricos existentes en la hoya del río Cusiana.

Los estudios preliminares y de prefactibilidad de los aprovechamientos hidroeléctricos existentes en la hoya del río Cusiana fueron adjudicados por el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica - ICEL, a la firma SODEIC LTDA mediante Resolución No. 0709 del 16 de Mayo de 1979.

Los estudios preliminares y de prefactibilidad se ejecutaron mediante el contrato Número 3979, firmado en Bogotá el 26 de Enero de 1981.

La financiación proviene del Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo - FONADE - mediante el préstamo FO-338 otorgado al Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL y a la Electrificadora de Boyacá S. A., y de apropiaciones presupuestales del Instituto y de la Electrificadora de Boyacá.

1.2 ANTECEDENTES

El 26 de Enero de 1981 se firmó en Bogotá el Contrato No. 3979 mediante el cual el ICEL encomendó a SODEIC LTDA, todos los servicios de Ingeniería que requerían los estudios de Prefactibilidad de los Aprovechamientos Hidroeléctricos de la hoya del río Cusiana. Este contrato se perfeccionó el 6 de Febrero de 1981.

El 30 de Marzo de 1981, fecha de recepción del anticipo, se dió comienzo a la ejecución del contrato.

El plazo inicial fué de 14 meses contados a partir de la fecha de recibo del anticipo. El plazo fué ampliado, según contrato No. 3979-B, firmado en

Bogotá el 21 de Julio de 1982, hasta el día 30 de Agosto de 1982.

En cumplimiento del alcance establecido en el contrato No. 3979, para la Fase 1, Etapa A. Reconocimiento y Estudios Preliminares, SODEIC LTDA ejecutó una investigación general de la hoya del río Cusiana, con el objeto de identificar los posibles sitios de aprovechamientos hidroeléctricos más atractivos.

Entre los de alta y media caída están los siguientes :

-	Los Armadillos	Cusiana
-	La Horqueta	Cusiana
-	Toquilla	Cusiana
-	Alisal	Cusiana
-	Vado Hondo	Cusiana
-	Guspaquirá	Cusiana
-	El Gallo	Cusiana
-	Ranchería	Cusiana
-	Candelas	Cusiana
-	Rocha	Q. La Rocha
-	Legía	Q. La Legía
-	Conguta	Q. La Congutá
-	Curisí	Q. Curisí
-	Unete	Unete
-	Pajarito	Cusiana
-	Magavita	Magavita
-	Sabanalarga	Charte
-	Presa Charte	Charte

- Presa Unete	Unete
- Recetor	Cusiana
- Chámeza	Salinero
- Bocas	Cusiana-Salinero
- Quiquífa	Cusiana
- Tauramena	Cusiana-Chitamena
- Desvío río Upía	Salinero
- Desvío río Cravo Sur	Charte
- Tonce	Tonce
- Sunce	Sunce

En la parte baja del río Cusiana se investigaron proyectos de tipo fluvial, los cuáles no aparecen en los Planos Generales.

En el pié de monte se investigaron los proyectos Tauramena, Presa Unete y Presa Charte los cuáles podrían ser de propósito múltiple.

Esta Fase 1 fué terminada y entregada al ICCEL en Septiembre de 1981.

En cumplimiento de la Fase 2 Etapa A, Estudios de Prefactibilidad de los aprovechamientos seleccionados en la Fase 1, SODEIC LTDA continuó con los estudios de los aprovechamientos seleccionados por ICCEL, con el objeto de recomendar cuáles de ellos deben ser estudiados a nivel de factibilidad.

Los sitios estudiados fueron :

Tres alternativas de presa en la parte superior :

- Toquilla, Alisal y Vado Hondo

y los siguientes proyectos :

- Guspaquirá (Sodeic)

- Rancharía (Sodeic)

- Candelas (Sodeic)
- Sabanalarga (Sodeic)
- Corinto (Sodeic)
- Pajarito (Esee)
- Chámeza (Sodeic)
- Bocas del Salinero (Sodeic)
- Vado Hondo (Esee)
- Ranchería (Esee)
- Unete (Esee)
- Recetor (Esee)
- Guspaquirá (Elc)
- Corinto (Elc)
- Congutá (Elc)

Los trabajos de la Fase 2 consistieron en labores de campo e investigaciones.

1.3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El alcance de los trabajos de la Etapa A, Fase 2, Prefactibilidad, se estableció en el contrato 3979, mediante el cual SODEIC LTDA, se comprometió a elaborar el estudio de prefactibilidad de los aprovechamientos hidroeléctricos del río Cusiana, seleccionados por ICEL.

Los trabajos de la Etapa A, Fase 2 incluyen los siguientes estudios :

- Estudios de hidrometeorología y sedimentos
- Estudios de geodesia y topografía

- Geología, suelos, materiales de construcción y sismología
- Esquemas preliminares
- Estudios de generación
- Estudios ecológicos y socio-económicos
- Estudios de infraestructura
- Programas de construcción

El objeto de los estudios de esta etapa de prefactibilidad es recomendar cual o cuales proyectos deben ser estudiados a nivel de factibilidad.

1.4 ESTUDIOS ANTERIORES

El 13 de Octubre de 1948 la firma OLAP presentó al Instituto de Fomento Industrial el informe titulado " Represa de Toquilla, hidroeléctrica del río Cusiana ".

Durante el transcurso de los estudios se realizaron levantamientos topográficos en las zonas de presa y embalse de San Antonio (Armadillos) y Toquilla. Estos levantamientos se efectuaron por medio de la plancheta en escala 1:1000.

Según el informe antes mencionado el planeamiento inicial del desarrollo hidroeléctrico del Cusiana fué estudiado por la casa de Frederick Snare de Colombia y presentado al Instituto de Fomento Industrial en informe de fecha 20 de Abril de 1945. Este planeamiento contemplaba la construcción de un embalse en el sitio de Toquilla, para regular el caudal del río y la utilización de dicho caudal en una caída de más de 600m, llamada de Candelas.

En el año de 1979 concluyó el estudio del sector de Energía Eléctrica que realizó el Inventario Nacional de los Recursos Hidroeléctricos. Se estudiaron las cuencas del río Cusiana y las de sus afluentes principales los ríos Unete y Charate.

El ESEE definió tres proyectos sobre el río Cusiana : el proyecto Vado Hondo con embalse regulador y los proyectos Ranchería y Unete de filo de agua. Estos últimos aprovechan los caudales regulados en el embalse del proyecto Vado Hondo. El desarrollo contempla el desvío del río Cusiana hacia la hoya del río Unete para el proyecto Unete.

Se estudió también la alternativa del esquema anterior, conformada por cuatro proyectos sobre el cauce principal del río Cusiana así : Vado Hondo, Ranchería, Pajarito y Recetor.

Esta alternativa permitirá una mayor capacidad instalada.

CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS PROYECTOS DE LA CUENCA CUSIANA INVENTARIADOS POR EL ESEE.

Proyecto	Potencia Instalada (MW)	Energía Media (GWh/año)	Caudal Medio (m)	Caída Neta (m)	Altura Presa (m)	Longitud Conducción (m)
Vado Hondo	94	431	9	658	130	9.600
Ranchería	155	805	12	923	22	9.700
Unete	137	831	21	544	22	16.100

Anteriormente en Octubre de 1978, se presentó a la Corporación Autónoma Regional (CAR) el informe correspondiente al Estudio de Conservación y Manejo del Lago de Tota y su cuenca. En dicho estudio se adelantaron trabajos hidrológicos en la cuenca del río Cusiana y se contemplaron tres alternativas

de desviación de parte de las aguas de este río al Lago de Tota.

1.5 ENUMERACION DE LAS ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

Alternativa I (ESEE)

Consta de tres (3) proyectos : Vado Hondo, Ranchería y Unete.

Alternativa II (ESEE)

Comprende cuatro (4) proyectos : Vado Hondo, Ranchería, Pajarito y Recetor.

Alternativa III (SODEIC)

a. Cascada Cusiana - Charte

Consiste en un embalse en Toquilla con tres posibles sitios de presa: Alisal, Vado Hondo y Toquilla, y en los proyectos Guspaquirá, Ranchería y desvío al río Charte con los proyectos Candelas y Sabanalarga.

b. Cascada Salinero - Cusiana

Consta de los proyectos Chámeza y Bocas del Salinero.

Para esta alternativa se estudió una variante consistente en un proyecto (Corinto), entre la entrega de Ranchería y la captación de Pajarito, con el fin de aprovechar 500 m de caída por el cauce principal.

Alternativa IV (SODEIC)

a. Cascada Cusiana-Charte

Consiste en un embalse en Toquilla, con tres posibles sitios de pre

sa : Alisal, Vado Hondo y Toquilla, y en los proyectos Guspaquirá, Ranchería y desvío al río Charte en los proyectos Candelas, Sabana larga y Charte; este último incluye presa de embalse.

- b. Cascada Salinero - Cusiana - Chitamena
Comprende los proyectos de Chámeza, Bocas del Salinero, Quiquía y Tauramena.

Alternativa V (SODEIC)

Consta de los proyectos Vado Hondo (Esee), Ranchería (Esee), Pajarito (Esee), Chámeza y Bocas del Salinero.

Alternativa VI (Sugerida por los Asesores de Electroconsult)

Consta de los proyectos : Guspaquirá, Corinto, Cónguta, Chámeza y Bocas del Salinero, con embalse en Toquilla o en Alisal.

1.6 ENUMERACION DE LOS PROYECTOS DIFERENTES DENTRO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.

Los proyectos que pueden diferenciarse claramente dentro de las seis (6) alternativas estudiadas son las siguientes :

1. Vado Hondo (ESEE)
2. Ranchería (ESEE)
3. Ranchería (SODEIC)
4. Guspaquirá I (SODEIC)
5. Guspaquirá II (ELECTROCONSULT)
6. Unete (ESEE)

7. Pajarito (ESEE)
8. Recetor (ESEE)
9. Corinto (SODEIC)
10. Corinto (ELC)
11. Cónguta (ELC)
12. Candelas (SODEIC)
13. Sabanalarga (SODEIC)
14. Chámeza (SODEIC)
15. Bocas del Salinero (SODEIC)

1.7 LOCALIZACION

La zona de los proyectos está ubicada en el Departamento de Boyacá y en la Intendencia de Casanare, dentro de las coordenadas $4^{\circ} 30'$ y $5^{\circ} 40'$ de latitud norte y $71^{\circ} 50'$ y $72^{\circ} 55'$ de longitud oeste. La cuenca hidrográfica del río Cusiana está situada en la vertiente oriental de la cordillera oriental y sus principales afluentes son : Recetor, Salinero, Caja, Upame-na, Chitamena, Unete, Charte, Chitamena y otros menores.

En la figura No.1-1 se presenta un mapa general de la zona donde se localizan los proyectos.

SANTANDER

Paipa

Tiboso

TUNJA

Ventaquemada

BOYACA

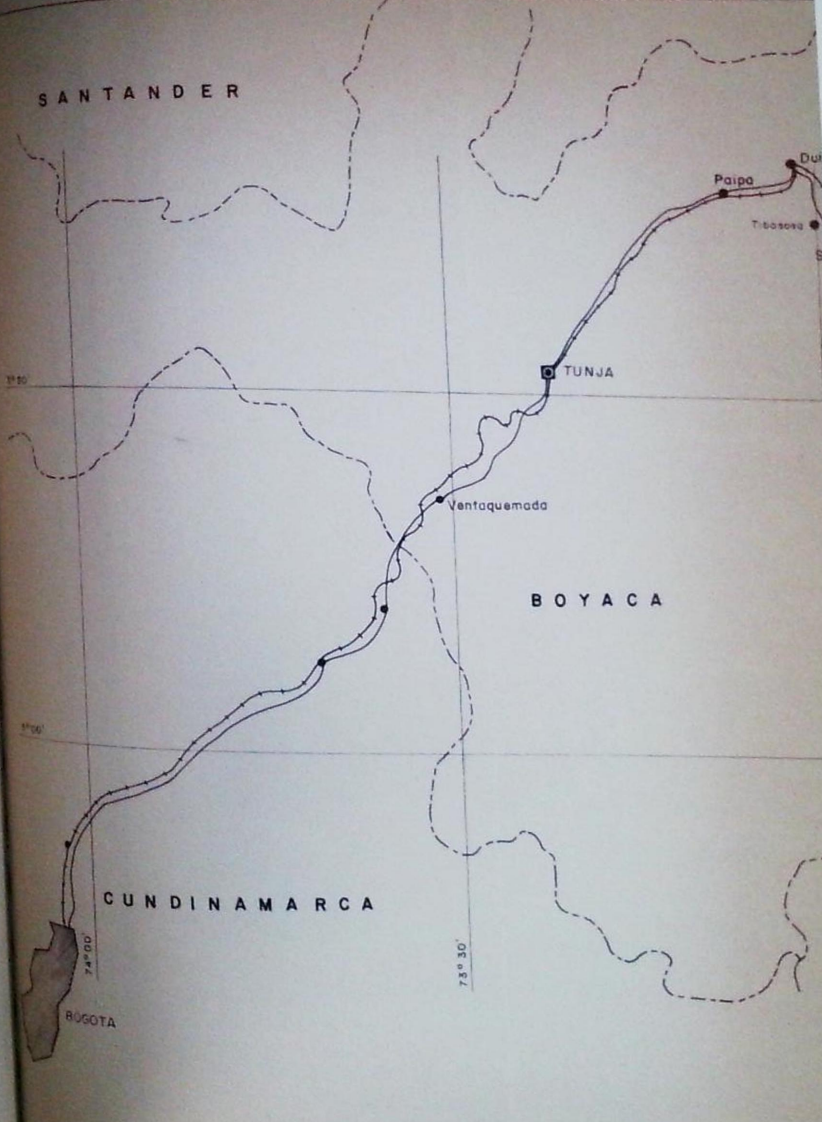
CUNDINAMARCA

BOGOTA

CONVENCIONES

- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - CARRETERA SIN PAVIMENTAR
- - - LIMITE DEPARTAMENTAL

- +—+— FERROCARRIL
- RÍO



CAPITULO I

ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

INDICE

En este capítulo se describen las alternativas de desarrollo hidroeléctrico y sus alternativas de desarrollo de energía eléctrica en el país.

El estudio de alternativas de desarrollo hidroeléctrico y sus alternativas de desarrollo de energía eléctrica y sus alternativas de desarrollo de energía eléctrica en el país.

Este capítulo se divide en dos partes: la primera describe las alternativas de desarrollo hidroeléctrico y sus alternativas de desarrollo de energía eléctrica en el país.

CAPITULO II

ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

1.1. ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

1.1.1. ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

Este capítulo se divide en dos partes: la primera describe las alternativas de desarrollo hidroeléctrico y sus alternativas de desarrollo de energía eléctrica en el país.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

BIBLIOTECA

CAPITULO I I

2. ALTERNATIVAS DE DESARROLLO HIDROELECTRICO

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describen los proyectos estudiados para evaluar las distintas alternativas de desarrollo de la cuenca del río Cusiana.

En el estudio de prefactibilidad se tuvieron en cuenta los resultados del Estudio del Sector de Energía Eléctrica y las investigaciones realizadas al estudiar las características topográficas, geológicas e hidrológicas de la zona.

Tanto la propia hoya del río Cusiana como varias de sus subcuencas, tales como Salinero, Chitamena, Unete y Charte presentan sitios atractivos y alternativas de desarrollos hidroeléctricos.

Hidrológicamente la zona se caracteriza por altas precipitaciones que varían entre 1500 mm y 5.550 mm. El promedio de lluvia sobre la cuenca es de 3.753 mm.

2.2 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS DE DESARROLLO Y DE SUS PROYECTOS

2.2.1 Conjunto Vado Hondo, Ranchería, Unete (ESEE).

Vado Hondo

Consta de una presa de 130m de altura, de enrocado con núcleo; de una conducción de 9000 m. Se consideró un caudal medio de $8.4\text{m}^3/\text{s}$, una caída neta

de 682.4m para una potencia instalada de 103.9 MW.

Rancharía

En la cota 2.200 se considera el nivel normal máximo del agua proveniente de la Casa de Máquinas del Proyecto Vado Hondo.

En la cota 2.180 se proyecta una presa derivadora de 22m de altura, de concreto, con una conducción de 9.800m, si se considera un caudal medio de $11.1\text{m}^3/\text{s}$ y una caída neta de 90m se tiene una potencia de 152 MW.

Unete

En la cota 1225 se considera el nivel normal máximo del agua proveniente de la casa de máquinas del Proyecto Rancharía.

El proyecto consiste en una presa derivadora de 22m de altura, sobre la cota 1.205.

Esta presa se proyecta de concreto. La conducción correspondiente es de 16.900m, con un caudal medio de $17.1\text{m}^3/\text{s}$ y una caída neta de 542m se tendrán 123 MW de potencia instalada.

La casa de máquinas está situada sobre el río Unete.

2.2.2 Conjunto Vado Hondo, Rancharía, Pajarito, Recetor.

Los proyectos Vado Hondo y Rancharía presentan exactamente las mismas características que en el conjunto anterior.

Pajarito

Este proyecto contempla una presa derivadora, de 22m de altura, en concreto. La conducción en túnel es de 14.7 Km, con un caudal de $18.8\text{ m}^3/\text{s}$ y una

caída bruta de 425m, la capacidad instalada será de 94.5 MW.

Recetor

Comprende la construcción de una presa de tierra de 158m de altura, que aprovecharía un caudal medio de $85.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y una caída bruta de 210 m mediante una conducción en túnel de 5.1 Km. La capacidad instalada sería de 164 MW.

2.2.3 Conjunto Guspaquirá, Ranchería, Candelas, Sabanalarga, Chámeza y Bocas del Salinero.

Guspaquirá

Inmediatamente aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Guspaquirá al Río Cusiana se capta este mediante una pequeña presa de derivación de unos 5 metros de altura sin que afecte la carretera, ni viviendas. Ver figura 2.8.

El acceso actual se hace por la carretera Sogamoso-Aguazul y solo será necesario construir un puente sobre el Río Cusiana de unos 50 metros de luz para acceder al portal del túnel de conducción.

Es un proyecto a filo de agua con una caída bruta de 550m y un caudal de diseño de $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$ compuesto por el caudal regulado en el embalse de TOQUILLA y los aportes entre el embalse y la captación.

Considerando un factor de planta de 0.5 la potencia instalada es de 73.4MW.

Se considera una presa de 5m de altura y un túnel de 8.550m y una tubería de presión de 1.130m.

Ranchería

En las cercanías del sitio Ranchería, a unos 1000m de distancia, está ubicada la posible presa de derivación; el túnel se localizó casi en línea - recta y en unos 2.5 Km aprovecha una formidable caída (Salto de Candelas), tal como se aprecia en la figura 2.8.

Por tratarse de un proyecto a filo de agua no se afectarán vías ni viviendas.

La captación está en la cota 2165 y la casa de máquinas en la cota 1565 para una caída bruta de 600m y un caudal de $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$ para una potencia instalada de 94.6 MW.

La presa tiene una altura de 5m y el túnel una longitud de 820m. y la tubería de presión 1745m.

Candelas

Aguas abajo del Salto Candelas hacia la cota 1560, a unos 2Km de Corinto, se ha ubicado una pequeña presa de derivación donde se capta el Río Cusiana y se desvía hacia el río Charte, tal como se muestra en la figura 2.11.

Se prefirió esta desviación porque se logra una considerable caída (hasta la cota 500) más rápidamente que a lo largo del mismo Río Cusiana.

Por otra parte la geología que atraviesa la conducción presenta menos problemas y los contactos se cruzan normalmente y no paralelamente como ocurriría siguiendo el Río Cusiana.

Este es un proyecto a filo de agua, la captación está en la cota 1560 y la casa de Máquinas en la 1.100, el caudal de diseño es de $22.9 \text{ m}^3/\text{s}$ con lo cual la potencia instalada será de 84.5 MW.

Se considera una presa de derivación de 5m y un túnel de 10.650m de longitud y una tubería de presión de 1.600m.

Sabanalarga

En las cercanías de Sabanalarga después de la confluencia de la Quebrada Macanal se capta el Río Charte y el caudal desviado del Río Cusiana. Es un proyecto a filo de agua que aprovecha la mayor caída de todos los proyectos de esta secuencia : 625m. El caudal de diseño es de $27.7 \text{ m}^3/\text{s}$ para una potencia instalada de 144.2 MW.

No ocasiona problemas por áreas o viviendas inundadas puesto que se propone una pequeña presa de derivación.

Se propone una presa vertedero de 10m de altura, un túnel de conducción de 7125 de longitud y una tubería de presión de 2420m.

Chámeza

En las proximidades del Municipio de Chámeza se ha proyectado una presa de embalse con el fin de regular el Río Salinero. Esta presa tendría una altura de 165m.

La presa estaría ubicada (unos 500 mts) aguas abajo de la confluencia del Río Sunce. El nivel de aguas máximas de operación sería 1004m.

El proyecto contempla una conducción con una longitud de 6840m desde el embalse hasta la cota de inundación del embalse en Bocas del Salinero donde se ubicará la casa de máquinas, tal como se ilustra en la figura 2-15. El caudal regulado sería $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$, la caída bruta de 344 y la capacidad instalada de 96.1 MW.

Bocas del Salinero

Este proyecto contempla una presa de unos 153m de altura localizada 160m después de la desembocadura del Río Salinero al Cusiana.

El embalse inundará hasta la cota 655 sin inundar vías ni caseríos. El túnel de conducción de 1700m de longitud se ha emplazado en la margen derecha del Río Cusiana y la casa de máquinas estará en la cota 475.

En la figura 2.17 se presenta el esquema del proyecto.

El caudal regulado será de $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y la caída media neta de 171m para una capacidad instalada de 131.1 MW.

2.2.4 Conjunto Guspaquirá, Ranchería, Candelas, Sabanalarga, Charte, Chámeza y Bocas del Salinero.

Este conjunto consta básicamente de los mismos proyectos del anterior más el proyecto Charte que se describe a continuación :

Aprovechando un estrechamiento del Río Charte se concibió el proyecto, el cual consta de una presa de embalse de unos 128 metros de altura máxima y una corta conducción hasta la casa de máquinas, la cual se ubicará en la margen izquierda del Río Charte.

El proyecto inundará hasta la cota 475 para un embalse total de 447 Mm^3 y una regulación cercana al 100%. El caudal regulado será de $43.1 \text{ m}^3/\text{s}$, la caída bruta de 150m y la potencia instalada de 110 MW.

2.2.5 Conjunto Vado Hondo, Ranchería, Pajarito, Chámeza y Bocas del Salinero

Para este conjunto se consideran los proyectos Vado Hondo y Ranchería del conjunto 2.2.1; Pajarito del conjunto 2.2.2; y los proyectos Chámeza y Bocas del Salinero del conjunto 2.2.3.

2.2.6 Conjunto Guspaquirá (2), Corinto (ELEC), Cónguta, Chámeza y Bocas del Salinero,

El desarrollo constituido por los proyectos Guspaquirá 2+Corinto (ELC)+Cónguta es alternativa a aquel constituido por los proyectos Guspaquirá 1 + Ranchería + Candelas + Sabanalarga; ambos desarrollos son combinados con un embalse en Toquilla y con los Proyectos Chámeza y Bocas del Salinero. El proyecto Pajarito es una alternativa al Proyecto Cónguta en el desarrollo antes mencionado : el desarrollo alternativo a este, estará entonces constituido por los proyectos Guspaquirá 2+Cofinto (ELC)+Pajarito, que está caracterizado por un salto menor, pero tiene la ventaja de descargar las aguas reguladas en el mismo río Cusiana, aumentando considerablemente la capacidad instalable y la energía producible en el proyecto Bocas del Salinero.

Guspaquirá 2

Este proyecto se ha obtenido por medio de un retoque de poco monta en el proyecto Guspaquirá 1, con el fin de aprovechar toda la caída disponible entre este y el proyecto siguiente (Corinto ELC).

El túnel de conducción es el mismo, del proyecto Guspaquirá 1 sólo varían el recorrido de la tubería de presión y la posición de la casa de máquinas ubicada a unos 800m aguas abajo, con restitución en la cota 2.050m.

La caída bruta es de 670m.

Corinto (ELC)

Está constituido por una obra de captación a filo de agua en la cota 2045m. Las conducciones en túnel están ubicadas en la margen izquierda del río y tienen una longitud de 5000m. Está prevista una tubería forzada superficial 2.200m de longitud y una casa de máquinas con restitución en la cota 1100m. El salto bruto es de 945m el mayor de todos los proyectos considerados.

Cónguta (ELEC)

Este proyecto desvía las aguas del río Cusiana hacia el río Charate con un túnel de conducción de 14.500m de longitud. La obra de captación en el río Cusiana tiene capacidad de regulación diaria de los caudales menores de la cuenca intermedia.

Las aguas de la quebrada Cónguta serán captadas por esta obra.

La casa de máquinas está ubicada en la cota 475m, con una caída bruta de 620m.

Los proyectos Chámeza y Bocas del Salinero mencionados en este conjunto son idénticos a los mencionados en los conjuntos 2.2.3; 2.2.4 y 2.2.5.

2.3 CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS PROYECTOS

A continuación se presenta la tabla 2-1, titulada " Características Básicas de los Proyectos " En ella se muestran, para todos los proyectos considerados, las características de las diferentes estructuras a saber : presa, embalse, desviación, vertedero, conducciones, casa de máquinas. Además se presentan los valores de energías firme y secundaria.

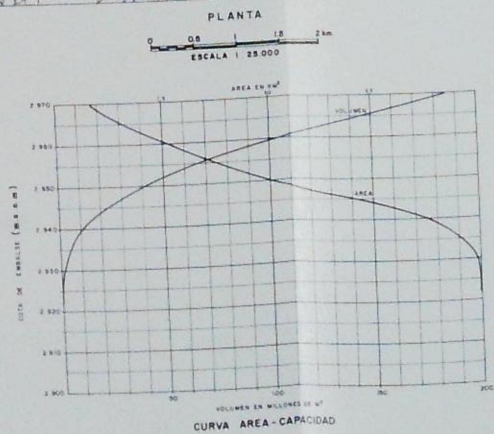
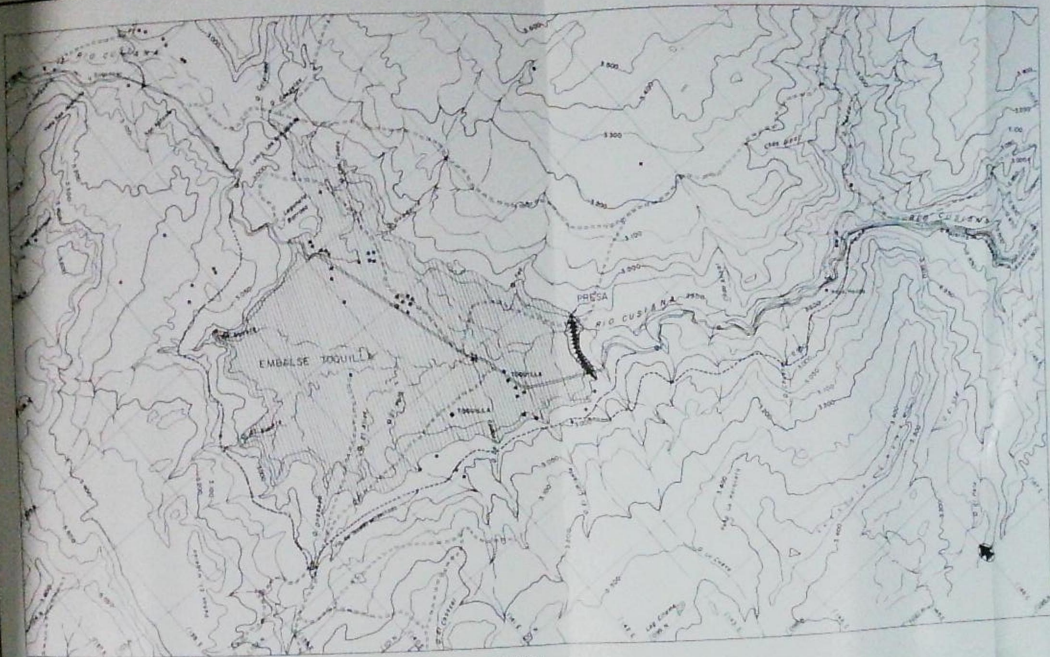
CONVENCIONES

- Límite de la Hoya
- Presa
- Casa de máquinas
- Alcantara
- Tünel de conducción



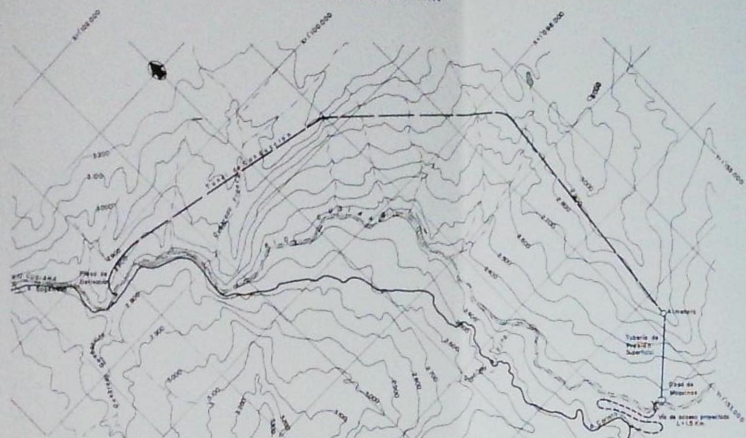
ESCALA GRÁFICA APROXIMADA
 0 1 2 3 4 5 KM
 1:250,000

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HORA DEL RIO USTANA ETAPA A - FASE II	
TITULO LOCALIZACION DE LOS PROYECTOS	
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA DE LA FIGURA ARCHIVO 2-1

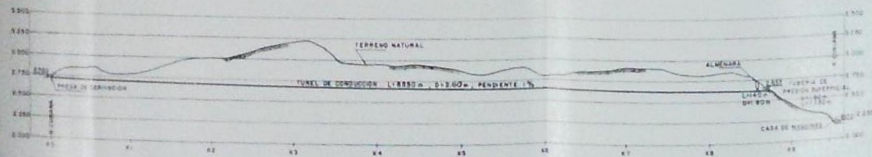


ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA					
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.					
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HORA DEL RIO CUSIARA ETAPA A - FASE II					
PROYECTO EMBALSE TOQUILLA PRESA TOQUILLA					
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	<table border="1"> <tr> <td>HOJA</td> <td>2-2</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>2-2</td> </tr> </table>	HOJA	2-2	TOTAL	2-2
HOJA	2-2				
TOTAL	2-2				

PROYECTO GUSPAQUIRA



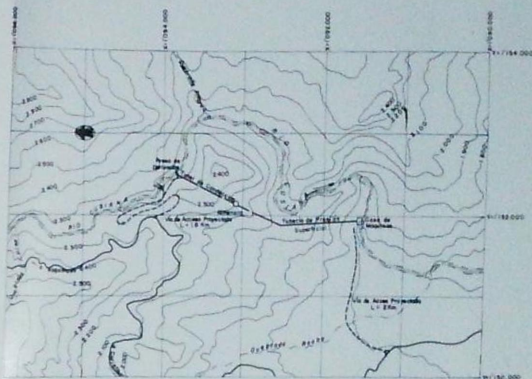
0 50 100 150 200
Escala Gráfica
PLANTA



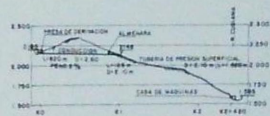
PERFIL

DATOS BÁSICOS
 TIPO DE BARRILES: 10 x 8 m
 DIÁMETRO: 3.200 m
 LONGITUD: 1.500 m
 ANCHURA: 1.500 m
 PENDIENTE: 1%
 MATERIAL: CEMENTO
 TIPO DE BARRILES: Tipo Especial con 2 volutas Pulso de 47 mm

PROYECTO RANCHERIA



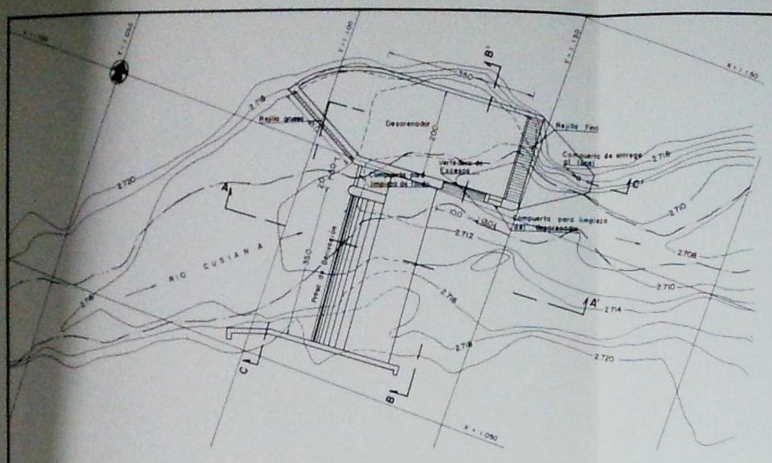
0 50 100 150 200
Escala Gráfica
PLANTA



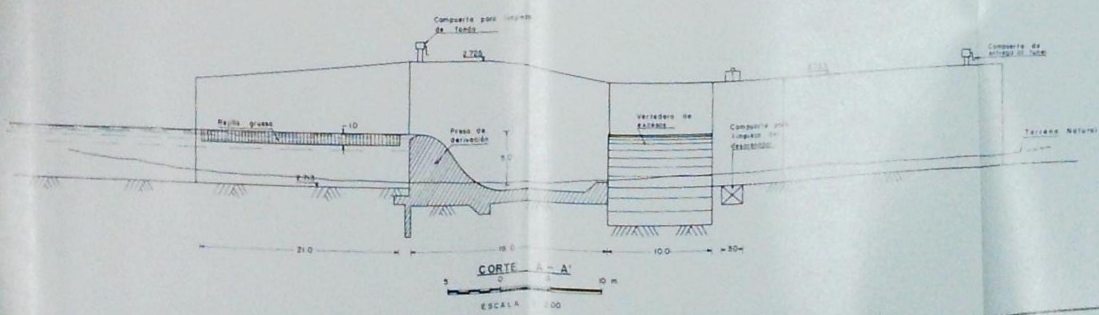
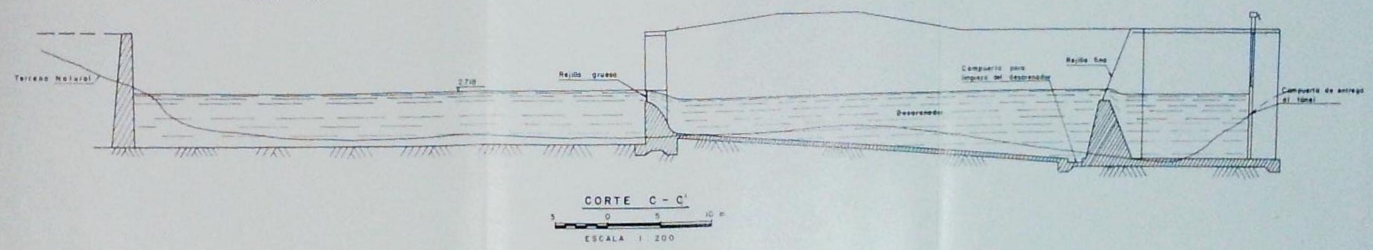
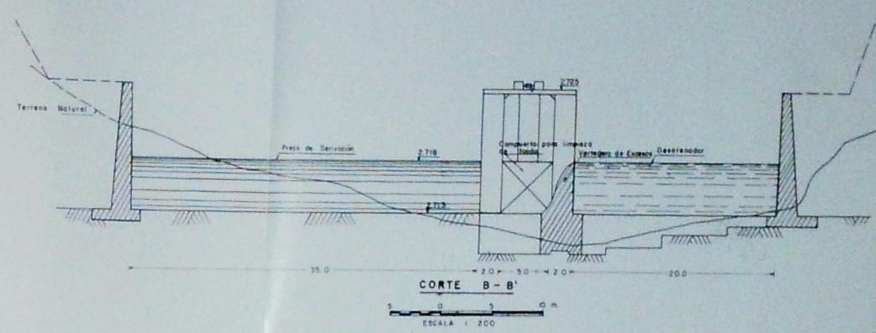
PERFIL

DATOS BÁSICOS
 TIPO DE BARRILES: 10 x 8 m
 DIÁMETRO: 3.200 m
 LONGITUD: 1.500 m
 ANCHURA: 1.500 m
 PENDIENTE: 1%
 MATERIAL: CEMENTO
 TIPO DE BARRILES: Tipo Especial con 2 volutas Pulso de 47 mm

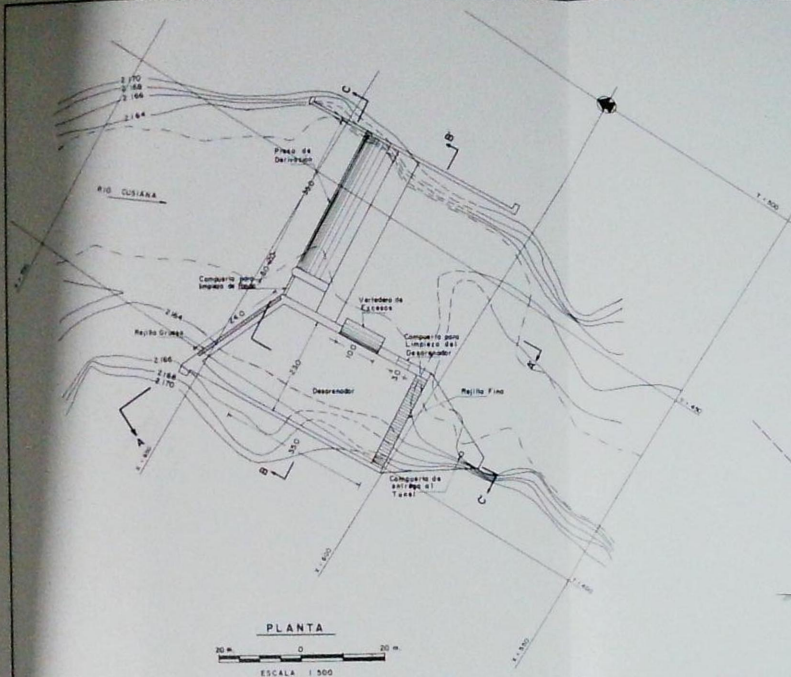
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S.A.	
APOYAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA HOJA DEL RÍO GUSPAQUIRA ETAPA A - FASE II	
PROYECTO RANCHERIA	
ESQUEMAS GENERALES	
FECHA: 1958	HOJA: 2-8
SODEIC LTDA. INGENIEROS	



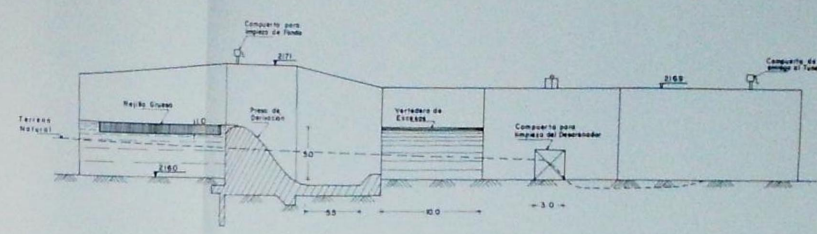
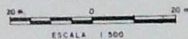
PLANTA
 ESCALA 1:500



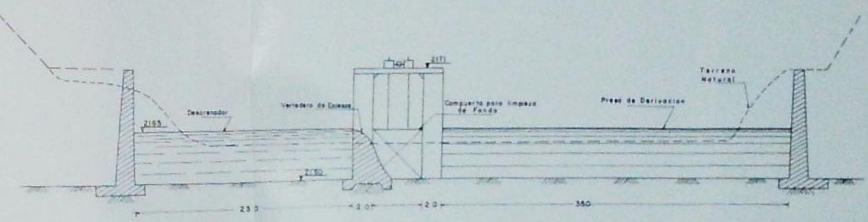
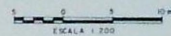
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA		
ELECTRICADORA DE BOYACA S A		
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA MIRA DEL RIO CUSIANA ETAPA B - FASE II		
PROYECTO GUSPAQUIRA 2720/2170		
PRESA DE DERIVACION PLANTA GENERAL Y CORTES		
SODICE LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA 1970	HOJA 2 - 9



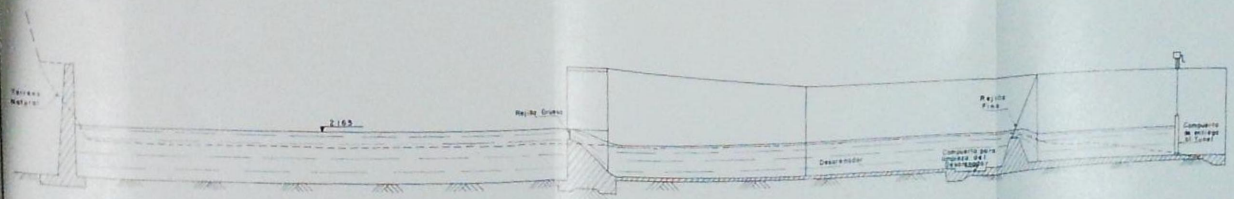
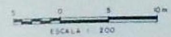
PLANTA



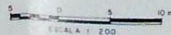
CORTE A-A



CORTE B-B

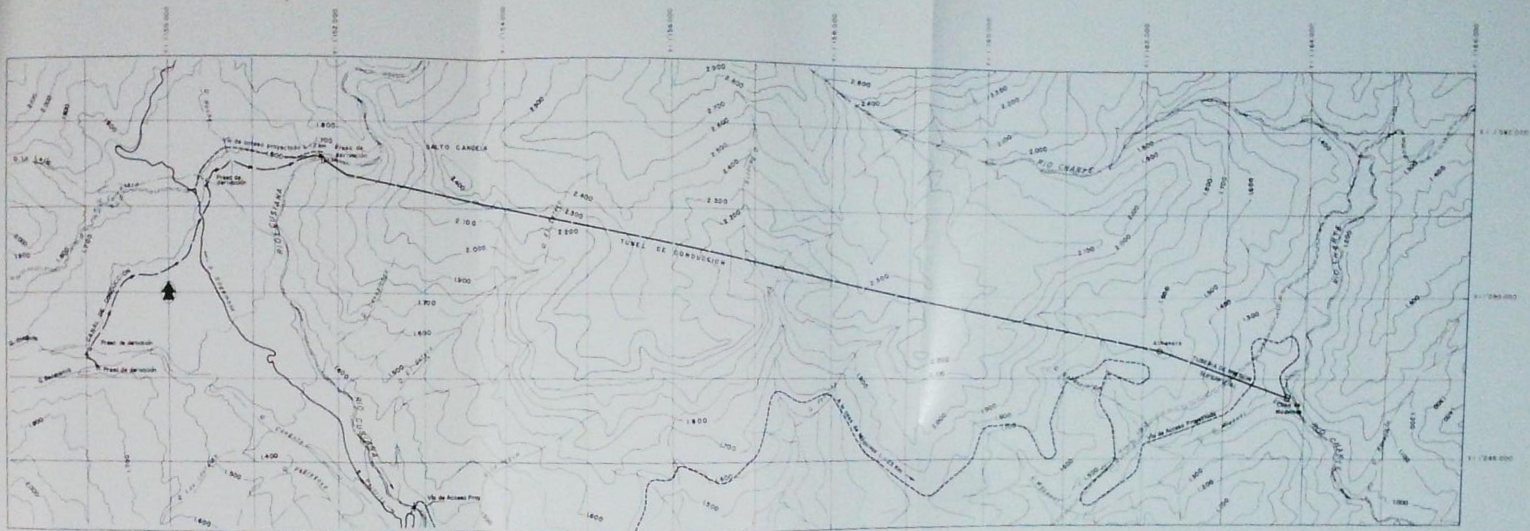


CORTE C-C

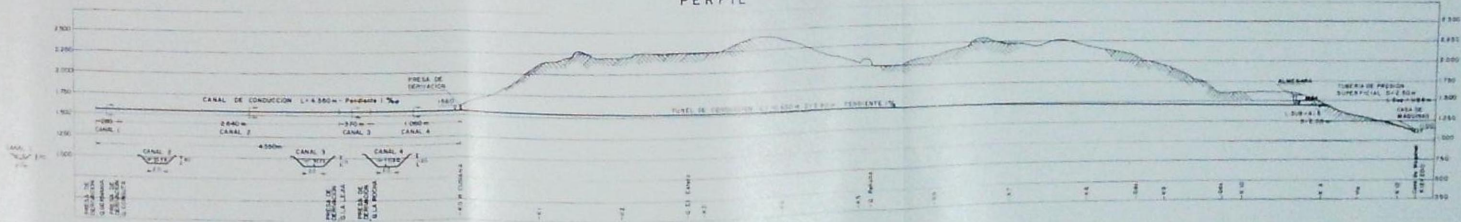


ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HORA DEL RIO CUSIARA ETAPA A - FASE II	
PROYECTO	PROYECTO RANCHERIA 2165 / 1565
PLANTA	PRESA DE DERIVACION PLANTA GENERAL Y CORTES
SODEIC LTDA	INGENIERIA DE CONSTRUCCIONES
FECHA	2-10

PLANTA



PERFIL



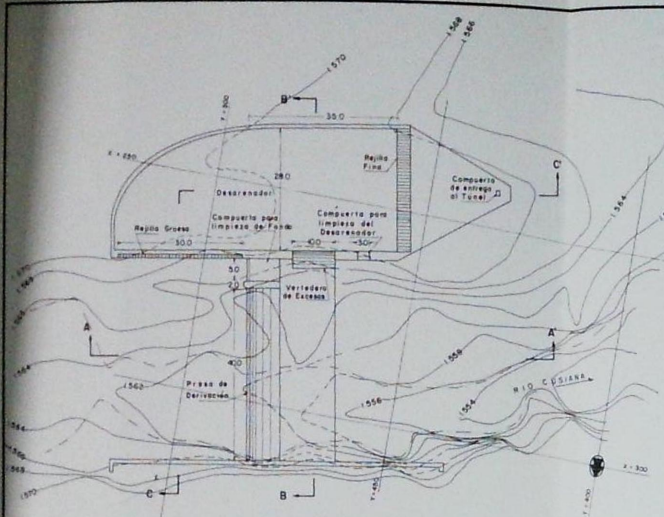
DATOS BASICOS

ESTACION DE ESTUDIO = 7 km de San Juan de Guane, Ciénega de San Juan y la Reina
 LOCALIDAD DE CONSTRUCCION = 11,800 m. PUNTO DE PRECIPITACION VARIABLE

DATOS BASICOS

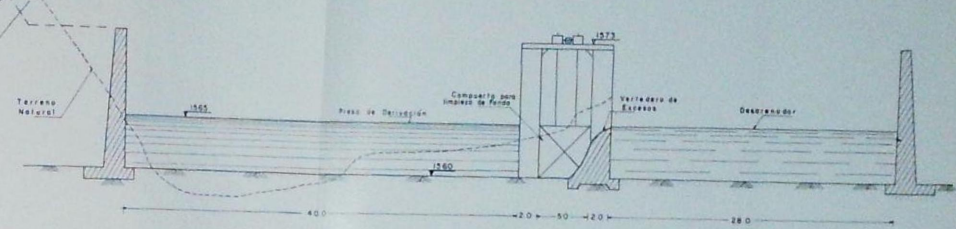
PRESA DE BOMBEO = 84 (Rio Cusiana)
 TUBELAS = 2 (4x4) (D=1 L=1)
 DIMENSIONES = 11 x 230 - 10400
 TUBELAS = 2 (2 x 2) - 14000
 CASA DE BOMBEO Tipo Superficial, con 2 unidades Potrer 104 42 HP

<p>ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA</p>	
<p>ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A</p>	
<p>APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HORA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II</p>	
<p>TITULO RIO CUSIANA - RIO CHARTE PROYECTO SALTO CANDELAS ESQUEMA GENERAL</p>	
<p>SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES</p>	<p>Fecha de 1981 Hoja 2 - 11</p>



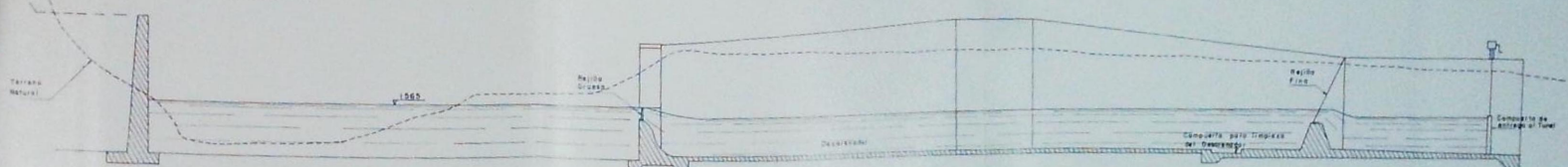
PLANTA

ESCALA 1 500



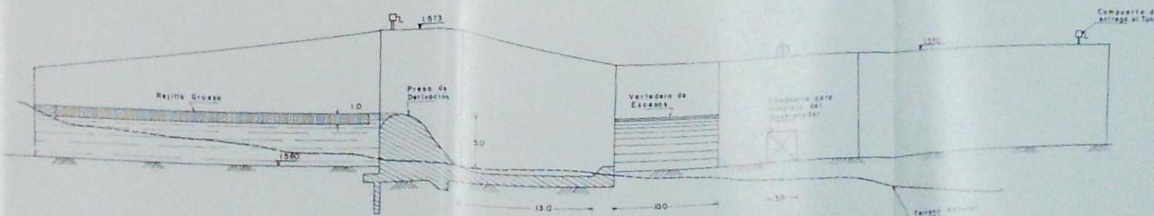
CORTE B-B

ESCALA 1 200



CORTE C-C

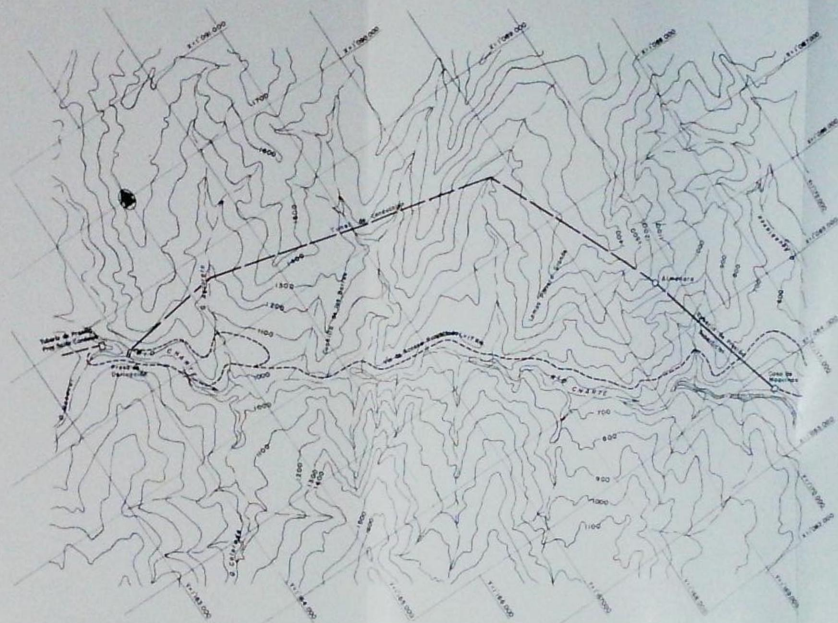
ESCALA 1 200



CORTE A-A

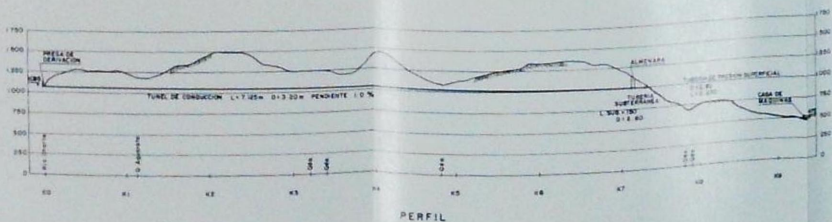
ESCALA 1 200

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S.A.	
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA NOVA DEL RÍO CUSIANA ETAPA A - FASE II	
TÍTULO PROYECTO CANDELAS 1560/1100 PRESA DE DERIVACION PLANTA GENERAL Y CORTES	
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FIGURA 2-12



PLANTA

Escala 1:25.000
Escala Gráfica

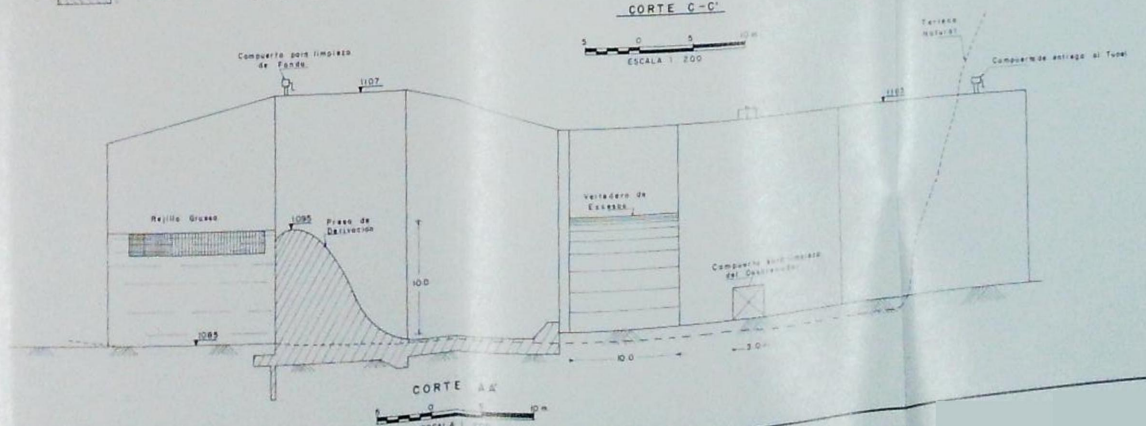
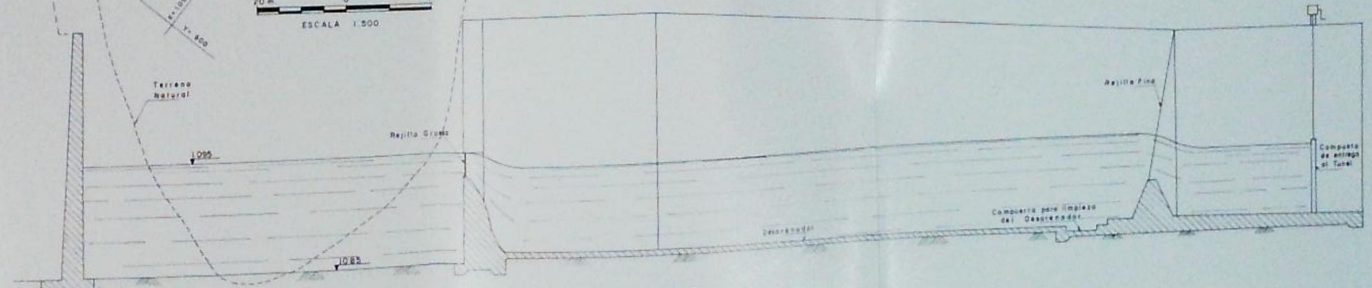
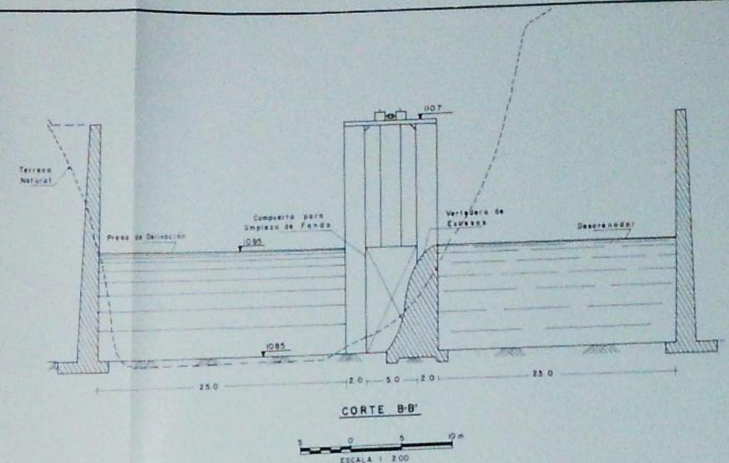
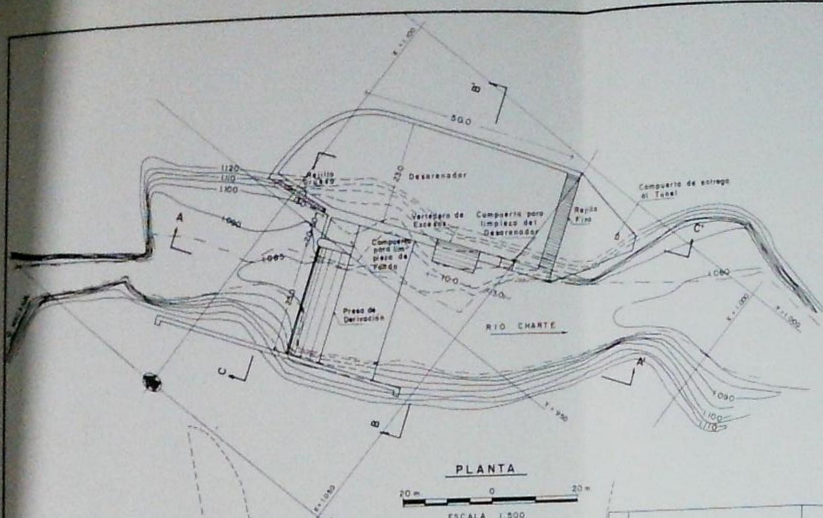


PERFIL

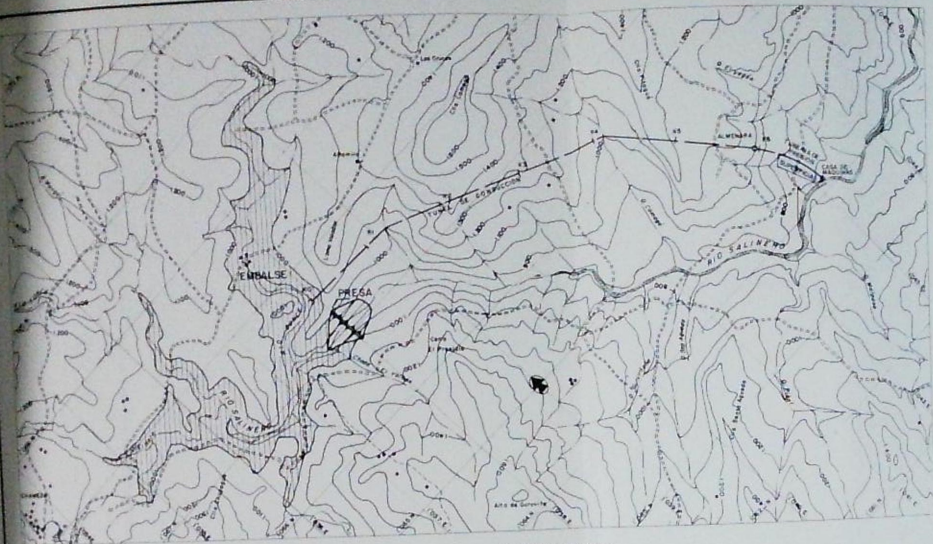
DATOS BÁSICOS

TIPO DE DERIVACIÓN: D-14
 TIPO DE MÁQUINA: 2141 L141
 Caudal: 21.70 2.80 7.15
 Caudal: 21.70 2.80 8.00
 C.A.S.T. DE MÁQUINAS: Tipo Especial con 2 conductores. Potencia de 75 MW

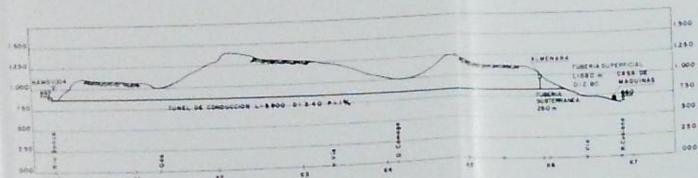
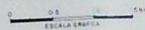
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA NOTA DEL RIO CURTANA ETAPA A - FASE II	
TITULO RIO OHARTE PROYECTO SABANALARGA ESQUEMA GENERAL	
SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES	FECHA: 2 - 13



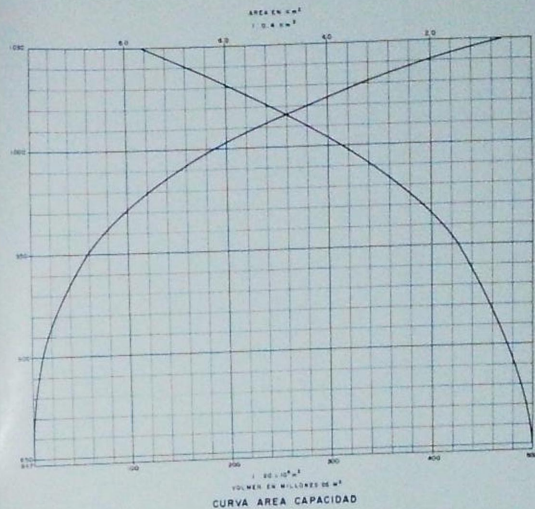
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S. A.	
APOVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA MOTA DEL RÍO CIBIARA ETAPA A - FASE II	
TÍTULO: PROYECTO SABANALARGA 1095 / 475	
PRESA DE DERIVACIÓN PLANTA GENERAL Y CORTES	
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA: AGOSTO 1989 ARQUITO
FOLIO: 2 - 14	TOTAL: 14



PLANTA GENERAL



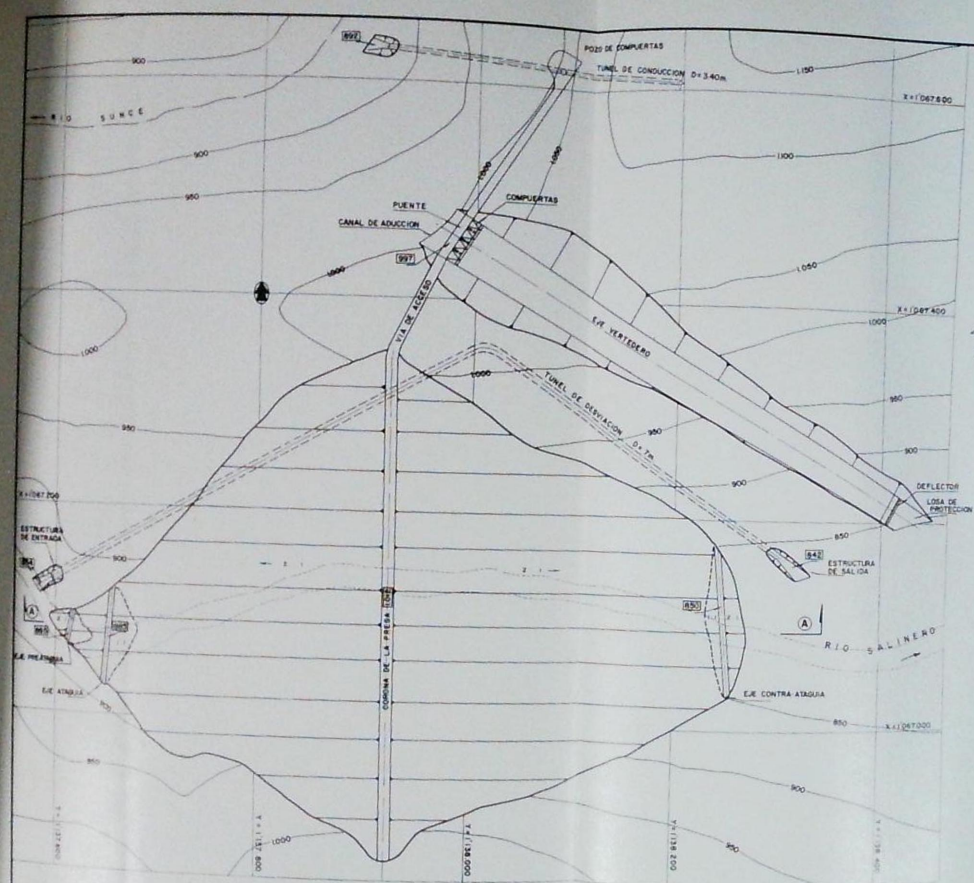
PERFIL



DATOS BÁSICOS

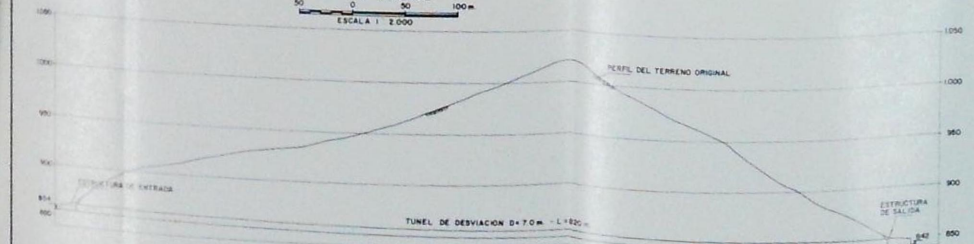
PRESA H = 98 m V = 1.000.000 M³
 TUBERÍA Ø = 2.40 m L = 1.800 m P = 1%
 MACHURAS Ø = 1.80 m L = 100 m
 CONDUCCIÓN Ø = 2.40 m L = 1.800 m
 TUBERÍA Ø = 2.80 m L = 280 m
 CASA DE MÁQUINAS Tipo adaptativa con 2 unidades Francis de 60 MW

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA VOTA DEL RÍO CURUANA ETAPA A - FASE II	
RÍO SALINERO PROYECTO CHAMEZA ESQUEMA GENERAL	
SODEIC LTDA	BOYACÁ - COLOMBIA
BOYACÁ - COLOMBIA	2 - 15

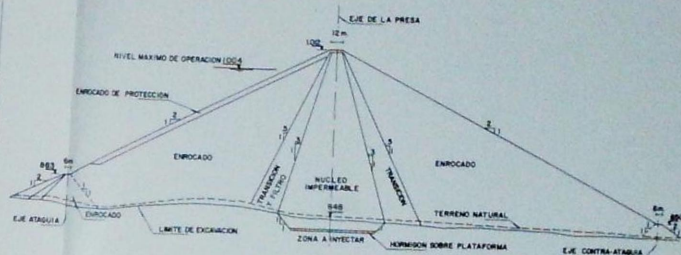


PLANTA GENERAL

ESCALA 1:2,000

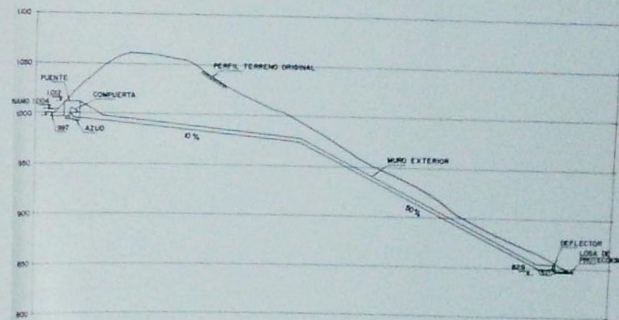


PERFIL POR EL EJE DEL TUNEL DE DESVIACION



SECCION MAXIMA DE LA PRESA (A)

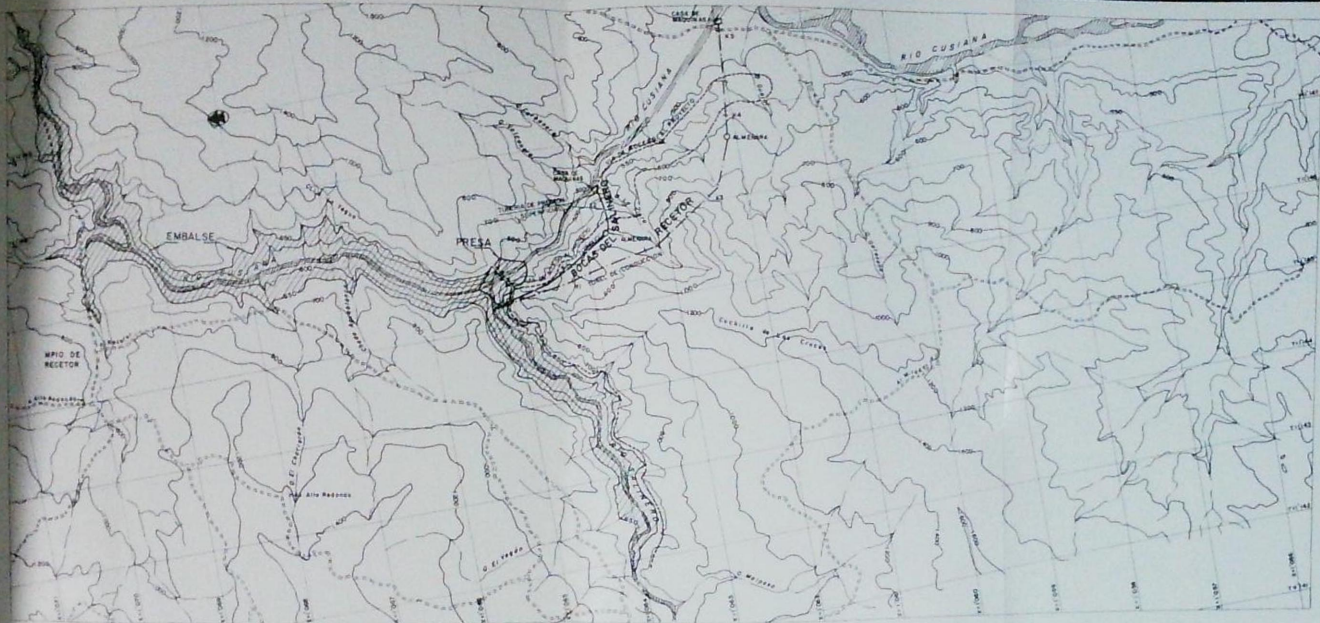
ESCALA 1:2,000



PERFIL POR EL EJE DEL VERDEERO

ESCALA 1:2,000

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	
APOYAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA BARRA DEL RIO CUBAMA ETAPA A - FASE II	
TITULO PROYECTO CHAMEZA PRESA VOLADOR PLANTA GENERAL SECCION MAXIMA Y PERFILES	
FECHA 23/05/63	FIGURA 0 - 16
SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES	

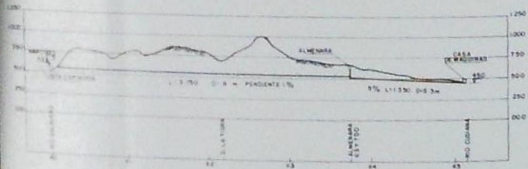


PLANTA

Esc 1 : 25.000

DATOS BASICOS

PRESA $H=100m \quad V=1.000.000 m^3$
TUNEL $2 \times 10m \quad 8 (m) \times 1 (m)$
 Capacidad: **100** **100** **800**
 Longitud: **200** **20** **3750**
 Diámetro: **100** **100** **1000**
CASA DE MADRUGAS Tipo residencial con 2 unidades Familia de 50 m²

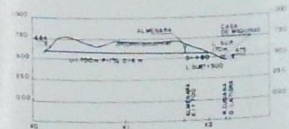


PROYECTO RECTOR ESEE
PERFIL

Esc 1 : 25.000

DATOS BASICOS

PRESA $H=100m \quad V=1.000.000 m^3$
TUNEL $2 \times 10m \quad 8 (m) \times 1 (m)$
 Capacidad: **100** **100** **800**
 Longitud: **200** **20** **3750**
 Diámetro: **100** **100** **1000**
CASA DE MADRUGAS Tipo residencial con 2 unidades Familia de 75 m²

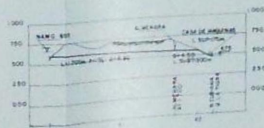


PROYECTO BOCAS DEL SALINERO SIN DESVIO AL RIO CHARTE
PERFIL

Esc 1 : 25.000

DATOS BASICOS

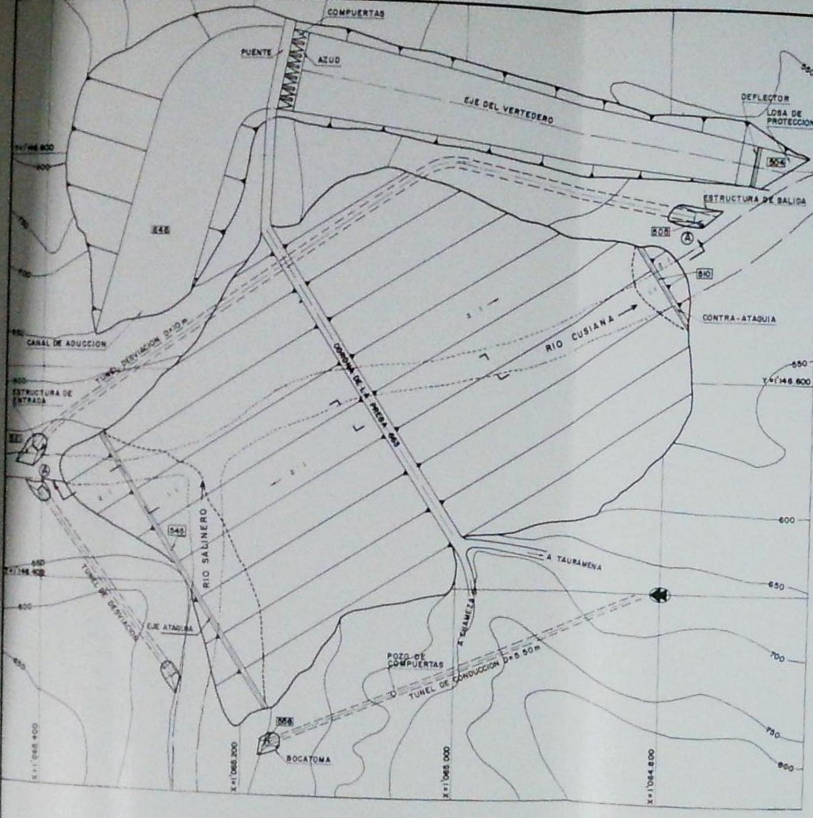
PRESA $H=100m \quad V=1.000.000 m^3$
TUNEL $2 \times 10m \quad 8 (m) \times 1 (m)$
 Capacidad: **100** **100** **800**
 Longitud: **200** **20** **3750**
 Diámetro: **100** **100** **1000**
CASA DE MADRUGAS Tipo residencial con 2 unidades Familia de 67 m²



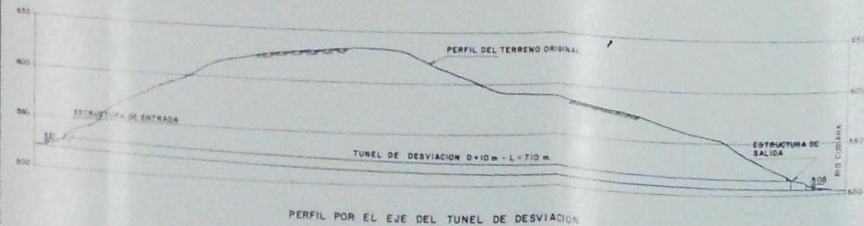
PROYECTO BOCAS DEL SALINERO CON DESVIO AL RIO CHARTE
PERFIL

Esc 1 : 25.000

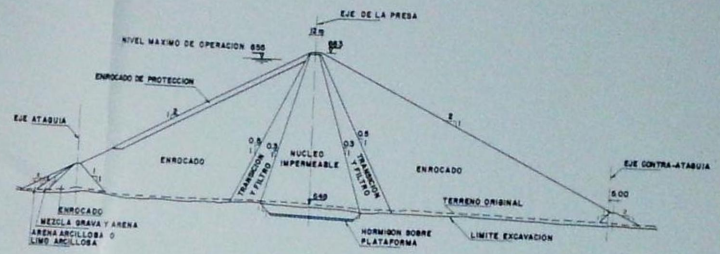
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO hidroeléctrico de la HOJA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II	
PROYECTO BOCAS DEL SALINERO	
ESQUEMA GENERAL ALTERNATIVAS	
SODEIC LTDA Sociedad Anónima	Escala 2 - 17



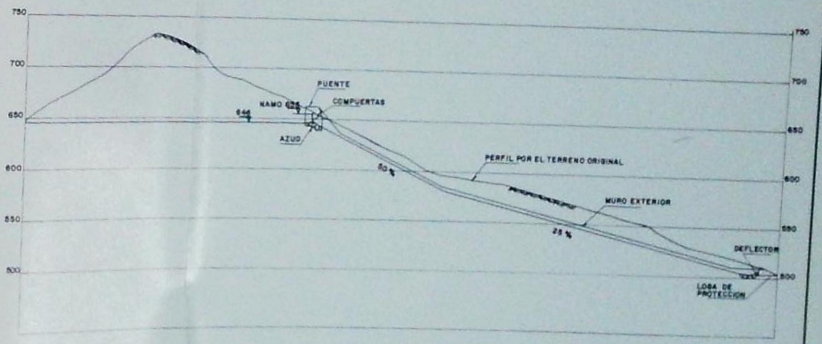
PLANTA GENERAL
 ESCALA 1:2.000



PERFIL POR EL EJE DEL TUNEL DE DESVIACION



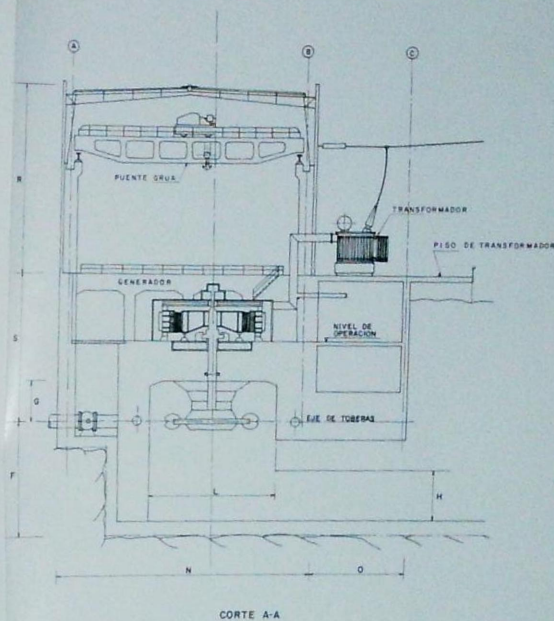
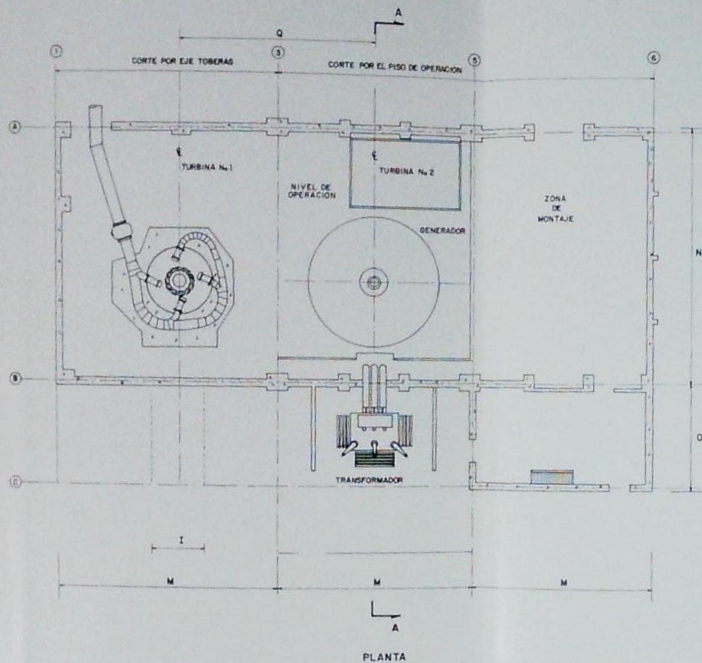
SECCION MAXIMA DE LA PRESA (A)
 ESCALA 1:2.000



PERFIL POR EL EJE DEL VERTEDERO

ESCALA 1:2.000

ICEL	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA RIVN DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II	
PRESA BOCAS DEL SALINERO	
PLANTA GENERAL, SECCION MAXIMA Y PERFILES	
SODEIC LTDA	BOYACA
2000	2-18



DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA CASA DE MAQUINAS EN METROS
TURBINAS PELTON (PV-41)

PROYECTO	L	Q	F	H	I	M	N	O	Q	R	S	F
SUSPAQUIRA	47	09	44	30	30	110	120	60	110	80	65	44
RANCHERIA	49	09	46	31	31	110	120	60	110	90	70	46
CANDELAS	47	09	44	30	30	115	130	60	115	80	65	44
SABANALARGA	47	09	44	30	30	115	130	60	115	90	70	44
PAJARITO	47	09	44	30	30	120	130	60	120	80	65	44
VADONONDO	51	10	47	32	32	110	120	60	110	90	70	47
RANCHERIA ESEE	49	09	46	31	31	110	120	60	110	100	80	46
UNETE ESEE	47	09	44	30	30	115	130	60	115	100	70	44

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUBIANA
ETAPA A - FASE II

TIPO: CASA DE MAQUINAS PARA DOS UNIDADES PELTON
CORTES Y CARACTERISTICAS BASICAS

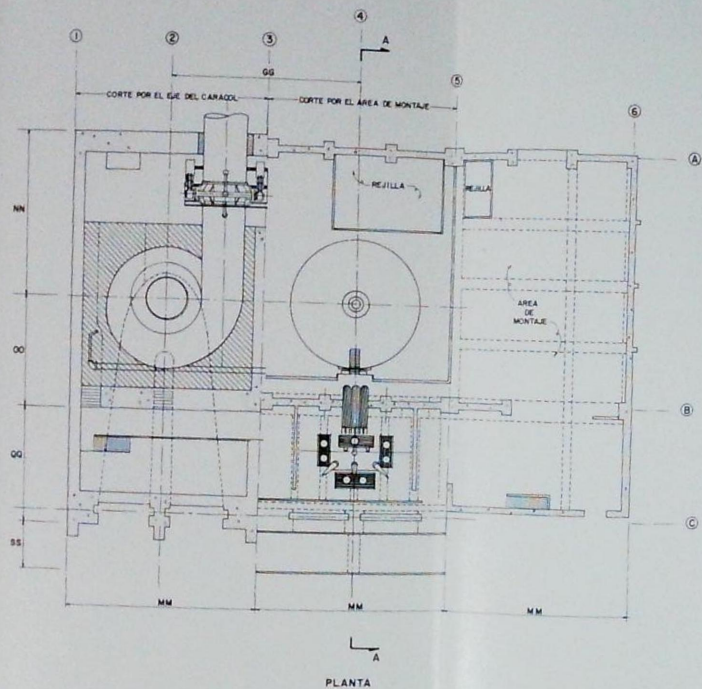
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

SODEIC LTDA INGENIERIA CONSULTORA

FECHA: 20/11/82

FIGURA: 2-23

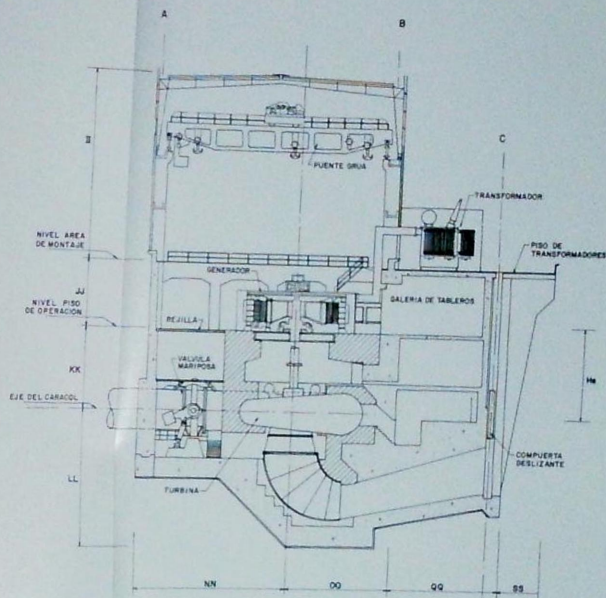
BIBLIOTECA



PLANTA

DIMENSIONES PRINCIPALES DE LA CASA DE MAQUINAS EN METROS
TURBINAS FRANCIS DE EJE VERTICAL

PROYECTO	M	O	G	I	J	K	L	M	N	O	Q	S
CHAMEZA	4.4	10	30	40	40	50	110	55	35	25	20	
SALINERO	3.5	10	30	40	45	75	120	50	40	12	20	



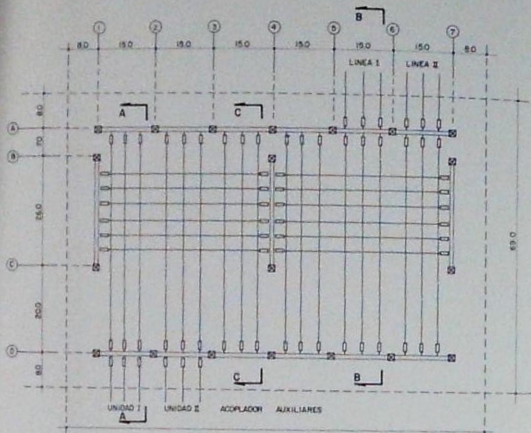
CORTE A-A

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA NOVA DEL AGU CUBIANA ETAPA A - FASE II	
TITULO	
CASA DE MAQUINAS PARA DOS UNIDADES FRANCIS CORTE Y CARACTERISTICAS BASICAS	
FECHA	FIGURA
MESES	2 - 24
ANOS	

SODIFIC LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

FECHA
MESES
ANOS

FIGURA
2 - 24



PLANTA GENERAL
DIMENSIONES EN METROS
ESCALA 1:500

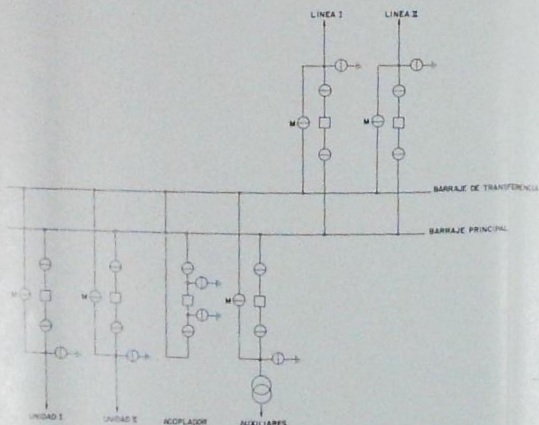
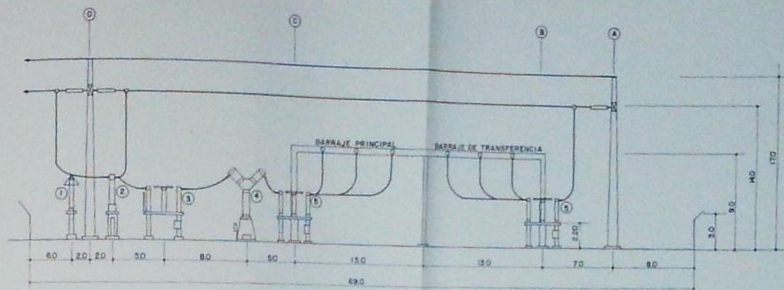
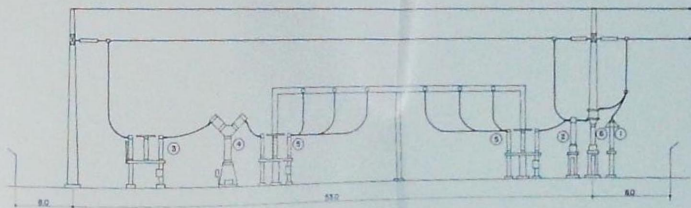


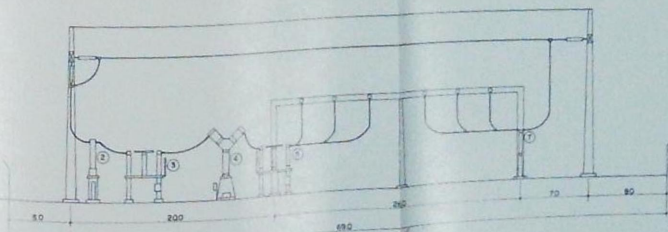
DIAGRAMA UNIFILAR
SUBSTACION DE 230 KV



CORTE A-A
ENTRADA UNIDAD
ESCALA 1:200



CORTE B-B
SALIDA LINEA
ESCALA 1:200



CORTE C-C
ACOPLADOR DE BARRAJES
ESCALA 1:200

SÍMBOLOS

- INTERRUPTOR
- ⊕ SECCIONADOR, M. MOTORIZADO
- ⊕ CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA
- TRANSFORMADOR
- PARARRAYO
- ⊕ TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
- ⊕ SECCIONADOR CON CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA
- ⊕ INTERRUPTOR DE POTENCIA
- ⊕ SECCIONADOR
- ⊕ DISPOSITIVO CAPACITIVO CON TRAMIN DE ONDA
- ⊕ AISLADOR DE SOPORTE

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA MOTA DEL RIO CUSIARA ETAPA A - FASE II	
SUBSTACION 230 KV PLANTA Y CORTES TÍPICOS	
SODEC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	PIEZA 2 - 25

C A P I T U L O I I I

T O P O G R A F I A , C A R T O G R A F I A Y A E R O F O T O G R A M E T R I A

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

BIBLIOTECA

C A P I T U L O I I I

3. TOPOGRAFIA, CARTOGRAFIA Y AEROFOTOGRAMETRIA

3.1 GENERALIDADES

En este capítulo se analizan los aspectos de topografía y cartografía relacionados con la etapa de prefactibilidad de los posibles desarrollos hidroeléctricos de la cuenca del río Cusiana.

3.2 TRABAJOS EJECUTADOS

3.2.1 En la Oficina

a. Cartografía

Durante la fase I de los trabajos y para el análisis preliminar de la hoya del río Cusiana se utilizaron planchas en escala 1:100.000 en las cuáles se estudiaron varias subcuencas.

Sobre estas planchas se determinaron las áreas aferentes y mediante curvas de rendimiento se determinaron los caudales medios multianuales

Para mediciones y análisis de las subcuencas y zonas de estructuras se utilizaron planchas 1:25.000.

Para el estudio de esquemas preliminares, inicialmente se utilizaron las planchas 1:100.000 sobre los que se localizaron tanto los proyectos identificados por el ESEE como los posibles desarrollos establecidos por SODEIC.

También se localizaron los desarrollos y proyectos en los planos 1:100.000 de Ingeominas.

Con base en los planos geológicos 1:100.000 existentes se transcribió la información a escala 1:25.000 en todas las zonas de los posibles aprovechamientos, con exclusión del río Charte.

b) Fotografías Aéreas

En fotografías aéreas escala 1:60.000 y 1:30.000 se localizaron los posibles desarrollos y sus variantes, además se realizó la fotointerpretación geológica referente a la delimitación de unidades litológicas mayores, a nivel de formaciones, utilizando la nomenclatura existente para estas unidades.

También se delinearon las trazas de los ejes de pliegues tales como sinclinales y anticlinales, las trazas de líneas de falla y diaclasas.

Esta fotointerpretación incluye la delimitación de depósitos no consolidados tales como terrazas, llanuras aluviales, conos de deyección y depósitos coluviales. Igualmente se han cartografiado las zonas de deslizamiento, cárcavamiento y zonas potencialmente inestables.

Los resultados de esta fotointerpretación geológica han sido transferidos a planchas escala 1:25.000 en las que se han estudiado las zonas de embalse y las posibles rutas de conducción. Se utilizaron las planchas del IGAC y las fotografías aéreas

que se enumeran en el Anexo A.

c) Topografía

En la oficina se han realizado las siguientes actividades :

- Recepción e interpretación de la información obtenida en el campo.
- Dibujo del plano índice de las planchas aerofotogramétricas correspondiente a la zona de los proyectos y de localización de vuelos de toma de fotografías aéreas que se usaron en los estudios.
- Planteamiento preliminar de las rutas de acceso y substitutivas de las carreteras para los proyectos de desarrollo hidroeléctrico considerados. Dibujo de originales con el trazado antepreliminar de esas vías.
- Cálculos de carteras
- Dibujo a lápiz de topografías
- Plantas y perfiles de zonas de estructuras.
- Preparación de secciones para cantidades de obra.

3.2.2 En el Campo

A pesar de las dificultades para la realización de los trabajos topográficos, ya por la falta de vías de acceso para algunos sitios de proyecto, ya por las condiciones de invierno crudo en casi toda la zona del proyecto, las comisiones de topografía asignadas para esta etapa de los estudios

adelantaron labores de reconocimiento, localización, señalización, nivelación y levantamiento de los diferentes sitios de aprovechamiento determinados para esta etapa de estudio.

Se hizo el reconocimiento y localización de los sitios de presa, conducciones y casas de máquinas de todas las alternativas propuestas.

Se hicieron nivelaciones de precisión para amarrar topografías de los proyectos a la línea de NPs localizados a lo largo de la carretera Sogamoso-Yopal, que permitieron determinar diferencias de nivel entre los sitios de presa y casas de máquinas de los proyectos ubicados sobre el río Cusiana, cercanos a la carretera (proyectos Toquilla, Alisal, Vado Hondo, Guspaquirá, Ranchería, Corinto y Candelas).

Se realizaron levantamientos en los sitios de presa de los proyectos Toquilla, Alisal, Vado Hondo, Guspaquirá, Ranchería, Corinto, Candelas, Bocas del Salinero (sobre el río Cusiana), Sabanalarga (sobre el río Charte) y Chámeza (sobre el río Salinero).

Se levantaron los perfiles transversales de los sitios de aforo, en todas las estaciones fluviométricas instaladas para determinar las respectivas secciones hidrométricas.

Se señalaron los sitios de presa, casas de máquinas y conducciones de todos los proyectos mencionados, para facilitar las labores de reconocimiento, ejecución de esquemas, trabajos de suelos y geología.

Por último se referenciaron todos los proyectos con mojones de concreto y placas de bronce numeradas que permitan la posterior localización y replanteo de los levantamientos topográficos ejecutados.

RESTITUCIONES Y TRIANGULACIONES RECOMENDADAS PARA LA ETAPA DE FACTIBILIDAD DE LOS ESTUDIOS.

Para los estudios subsiguientes de factibilidad, diseño, localización de estructuras principales, estudios geológicos de detalle, etc., se recomienda realizar un levantamiento aerofotogramétrico actualizado (fotos en escala 1:20.000) que continúe la banda existente Aguazul-Pajarito hasta Toquilla con la adición de una banda o corredor a lo largo del río Salinero desde Chámeza hasta su desembocadura en el río Cusiana.

De igual manera se recomienda establecer redes de triangulación geodésica de control que permitan definir la localización futura de las obras.

Las triangulaciones deben realizarse en los ejes San Benito-Recetor y San Benito-Chámeza.

Se recomienda restituir las zonas de presas y casas de máquinas de los proyectos de la alternativa recomendada en escala 1:2000 con curvas de nivel cada 2m.

Igualmente para las zonas antes mencionadas se deberá ejecutar una red de triangulaciones geodésicas mediante la cual se asignen tres coordenadas a puntos de interés en la zona de ejes de estructuras principales.

CAPITULO IV

GEOLOGIA, MATERIALES Y SISMOLOGIA

C A P I T U L O I V

4. GEOLOGIA, MATERIALES Y SISMOLOGIA

4.1 ANTECEDENTES

En la zona se han realizado estudios geológicos de diferente índole, unos con fines de tipo ingenieril y otros con propósito de complementar la cartografía geológica del país.

Para este estudio se recopiló la información disponible y se tomó como base la información consignada en los siguientes escritos :

" Geology of Llano basin and adjacent Eastern Cordillera " Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysics Geological Fieldtrips 1959-1978.

Apreciación Geológica del Proyecto de Embalse del río Toquilla al S.E., de Sogamoso, Hubach E.

Report on the Toquilla Dam Project at río Cusiana V Oppenheim.

Toquilla Dam Site, A.E. Sandberg.

Represa de Toquilla, Alvarado B.

Preliminary Geologic Report. Toquilla and San Antonio Dam Sites - Cusiana river, Fahlquist, F.E.

Geología del cuadrángulo K-13, Tauramena, Ulloa. C - at alt. (1976)

4.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

Una vez recopilada la información existente se procedió a efectuar el estudio fotogeológico de toda el área.

Mediante este estudio se separaron las diferentes unidades de roca, depósitos no consolidados; estructuras geológicas, tales como : anticlinales, sinclinales, fallas, diaclasas mayores y menores, rumbos y buzamientos de las capas. Además con ésta fotointerpretación se exploraron y localizaron los posibles sitios de embalse, túneles y sitios para emplazamiento de obras tales como Casas de Máquinas, Almenaras, etc.

A su vez con esta fotointerpretación se demarcaron las zonas inestables, zonas potencialmente inestables y zonas de posible préstamo para materiales de núcleo, filtro y enrocado.

La información para las fotografías fué transferida a los planos topográficos, analizada y discutida con los ingenieros del Proyecto.

Posteriormente a ésta fotointerpretación, se hizo la correspondiente verificación de campo para determinar sobre el terreno los contactos litológicos, estructuras y sitios de emplazamiento de las obras proyectadas.

Con base en los mapas fotogeológicos se proyectaron los túneles, para lo cual se tuvo en cuenta, además de las condiciones hidráulicas e ingenieriles, que éstos estuviesen localizados en lo posible sobre el mejor tipo de roca y que atravesarán casi perpendicularmente a las estructuras, lo cual conlleva una economía en el proyecto.

A lo largo de los túneles se hicieron perfiles topográficos y geológicos generalizados, proyectados en profundidad con el fin de utilizar esta información para el prediseño de estas obras.

Todos los estudios concernientes al proyecto fueron analizados conjuntamente por ingenieros y geólogos.

Una vez analizada la información se elaboró un plan de investigaciones

con el fin de seleccionar sitios en los cuáles, dada su importancia, se intensificó su estudio.

En los sitios o zonas de embalse se hizo una cartografía más detallada en donde existían restituciones, señalando zonas de coluviones, de carcamamiento, de erosión, de inestabilidad y en general una cartografía geológica que sirviera para detallar y definir más las alternativas seleccionadas como las más factibles.

La investigación en los sitios de presa, portales y zonas de casas de máquinas se orientó hacia la definición de los sitios más favorables con base en levantamientos de columnas estratigráficas y medidas del grado de fracturamiento de las diferentes unidades geológicas aflorantes en cada sitio.

Toda la anterior información se levantó directamente en el campo, previa una fotointerpretación geológica más detallada y con base en discusiones con el grupo de profesionales que intervinieron en el proyecto.

GEOLOGIA GENERAL

En el área afloran rocas sedimentarias de edad cretácea y terciaria, teniendo las primeras un mayor grado de litificación y de origen marino, mientras que las rocas terciarias son continentales y medianamente consolidadas.

Las rocas anteriormente citadas están cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados. En la zona Noroeste predominan los depósitos glaciares y fluvioglaciares, mientras que al Sur Este, éstos están representados por terrazas, llanuras aluviales y depósitos de detritos.

Las estructuras en el área están representadas por pliegues anticlinales y sinclinales con rumbo general Noreste y fallas inversas de bajo ángulo que bordean al piedemonte de la cordillera y hacen que unidades de roca más jóvenes traslapen sobre las más antiguas.

4.4 LITOLOGIA

En el área de los proyectos, las rocas cretácicas y terciarias se componen de areniscas y lutitas. Se observan no solamente estratos de grandes espesores de areniscas y lutitas, sino también estratificaciones alternadas de los dos.

Desde el punto de vista geotécnico, la roca sedimentaria se subdivide en tres grupos a saber :

- a) Areniscas con intercalaciones de lutitas (menos del 10%). Las areniscas cuarcíticas son de color amarillo claro y de grano mediano a grueso, densas y duras. Se quiebran formando aristas angulosas, y resulta muy difícil rayarlas con cuchillo.
El espesor de los bancos varía entre 0.3 y 4m. La permeabilidad es baja, la estabilidad y consistencia muy buenas.
- b) Lutitas con intercalaciones de areniscas (menos del 10%). Las lutitas diagenéticamente bien compactadas, de color negro hasta gris medio, son predominantemente arenosas y poco micáceas, y se presentan en capas delgadas.
El espesor de los distintos bancos es de pocos centímetros.
En particular en el caso de las lutitas poco arenosas, la meteorización penetra profundamente, cosa que se refleja claramente en -

la morfología.

Sin embargo, cabe suponer que en el substrato no meteorizado se encuentran condiciones favorables desde el punto de vista geotécnico.

La permeabilidad de las lutitas es baja. La estabilidad puede calificarse de normal.

- c) Alternancias, en las cuáles varía la roca predominante. El espesor de los bancos de areniscas de color claro, es de 0.3m, en promedio. Las demás características se identifican con las descritas en el punto a).

Además se presentan areniscas arcillosas de tonalidades gris oscuro. Están normalmente consolidadas. El espesor de sus capas es de 5 a 30 cm. La permeabilidad es normal, la estabilidad y consistencia son también normales. Las lutitas y sus propiedades geotécnicas fueron descritas ya en el punto b).

Vistas globalmente, las propiedades geotécnicas de esta serie dependen en gran medida del tipo de roca que predomine en cada caso. Además de los anteriores tipos de roca, en algunos sitios existen intercalaciones de calizas y margas de colores grises oscuros a claros en estratos de 0.3 a 1.0m de espesor, consolidadas y estables. En éstos estratos podrían localizarse algunos fenómenos de disolución que deberán ser evaluados en etapas posteriores.

GEOLÓGIA ESTRUCTURAL

La tectónica regional está caracterizada por extensos sinclinales y anticlinales, cuyos ejes transcurren en dirección NE-SO, y en sentido perpendicular a los anteriores, se presentan fallas sin desplazamiento considerable en dirección NO-SE.

Paralelamente a los ejes de los sinclinales y anticlinales se presentan fallas y cabalgamientos posiblemente activos.

La zona del proyecto está situada a menos de 200 Km al sur de una región de alta sismicidad, razón por la cual se creyó conveniente estimar las aceleraciones y las velocidades del terreno, bajo el supuesto de que fuera perfectamente plano, que podría generar un temblor cuyo período de retorno guardara relación con la vida de las obras.

Los estimativos realizados se basaron en la información histórica disponible y pertinente a temblores, publicada por el Instituto Geofísico de los Andes.

Se excluyeron del análisis todos los movimientos cuyas distancias epicéntricas excedían 400 Km por considerarse que su influencia en la zona era poco significativa.

Los datos utilizados abarcan setenta años (70) y comprenden el período 1911 a 1981.

Para la distribución probabilística de variables aleatorias se adoptó el criterio de " valores extremos ".

Para las determinaciones de los períodos de retorno, con extrapolación hasta un siglo, se utilizaron estadísticas de valores individuales y estadísticas de agrupaciones de valores. Se decidió adoptar las rectas correspondientes a los valores individuales por producir no solo menores dispersiones relativas sino también combinaciones más favorables de variables, es decir, aceleraciones más reducidas. No se creyó prudente extrapolar las curvas más allá de la centuria.

Apareando magnitudes y distancias hipocéntricas con idénticos períodos teóricos de retorno por medio de una expresión de correlación, se estima

ron las aceleraciones máximas posibles de movimientos sísmicos hipotéticos con períodos de retorno de 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 y 100 años y adicionalmente de temblores reales que debieron causar teóricamente las máximas aceleraciones de terreno, en la región, entre 1911 y 1979.

Además se calculó, la probabilidad de encuentro y riesgo sísmico.

Se recomienda una aceleración máxima para diseño de 154 galileos debido a fallas y cabalgamientos posiblemente activos.

Por experiencia directa del personal de campo, puede aseverarse que la región no sufrió movimientos sísmicos, durante el período cubierto por este estudio, que superaran una intensidad máxima de 4.5.

Se obtuvieron datos complementarios del N.G.S.D.C. de Boulder, Colorado, E.U.A., que comprende el período enero 1980 - junio 1981. De acuerdo con ésta información la clasificación por magnitudes es la siguiente, si se omiten los sismos cuyas magnitudes son menores de 4.50.

<u>Período</u>	<u>Magnitud Richter</u>	<u>Número de Sismos</u>
Enero 1980 a Junio 1981	4.51 a 5.00	63
Idem	5.01 a 5.50	7
Idem	5.51 a 6.00	2
Idem	Mayor de 6.0	0
	TOTAL	<u>72</u>

Por otra parte, en la información anterior se incluyen también datos de sismos de baja magnitud (menos de 4.50) que no aparecen en las listas suministradas por el Instituto Geofísico de los Andes para 1979. Aun cuando no se estimaron sus distancias hipocéntricas, su efecto en el análisis estadístico presentado en el Informe Preliminar es nulo.

Adicionalmente, de los datos nuevos conseguidos en el N.G.S.D.C., (año 1980 y primer semestre de 1981) se infiere que su incorporación al total acumulado hasta final de 1979 tiende a reducir ligeramente las frecuencias estimadas previamente para los movimientos sísmicos con diversos rangos de magnitud (mayores de 4.51).

No obstante, la reducción es tan leve, que se consideró innecesario actualizar los cálculos.

Durante los meses de mayo y junio de 1982 se efectuaron encuestas tendientes a reconstruir en detalle la historia sísmica de la zona del proyecto durante los últimos años. De un exámen de las encuestas se concluye que no hay prueba alguna de que entre el año de 1962 y la fecha se hayan presentadp aceleraciones horizontales del terreno en exceso de 50 galileos. Esto está acorde con el gráfico No. 3 del informe preliminar.

4.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Generalidades

Las investigaciones preliminares para identificar áreas de préstamo se orientaron, en cada proyecto, a materiales cohesivos para rellenos impermeables y granulares para construcción de filtros y concretos de cemento. Las zonas de posible explotación de materiales para enrocado se identificaron primero en los trabajos de fotointerpretación geológica y luego se comprobaron sus características y volúmenes aproximados en los reconocimientos de campo.

Las exploraciones del subsuelo se hicieron por medio de apiques excavados a mano hasta las profundidades de posible excavación y hasta donde lo per

mitían las condiciones del terreno y la posición de la napa freática. En cada uno de los sondeos se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación.

Adicionalmente, algunas muestras se sometieron a ensayos de compactación, límites de contracción, y resistencia al corte sin drenar, con el objeto de obtener una orientación clara sobre las propiedades generales, físicas y mecánicas de los suelos que se emplearían como préstamos.

A los materiales granulares además de los ensayos de clasificación se les sometió a ensayos de desgaste con el fin de conocer sus características de abrasión.

La localización de las diferentes posibles fuentes de materiales se hizo en esta etapa teniendo en cuenta la calidad de los suelos in situ, las distancias de acarreo y los volúmenes explotables.

Para cada proyecto considerado se determinaron preliminarmente las zonas de préstamo más convenientes para materiales impermeables tratanto de obtener suelos que dieran, en una primera aproximación, buenas condiciones de trabajabilidad, baja tendencia al agrietamiento y a la tubificación y de baja actividad, consecuentemente sin marcadas caracterfsticas expansivas.

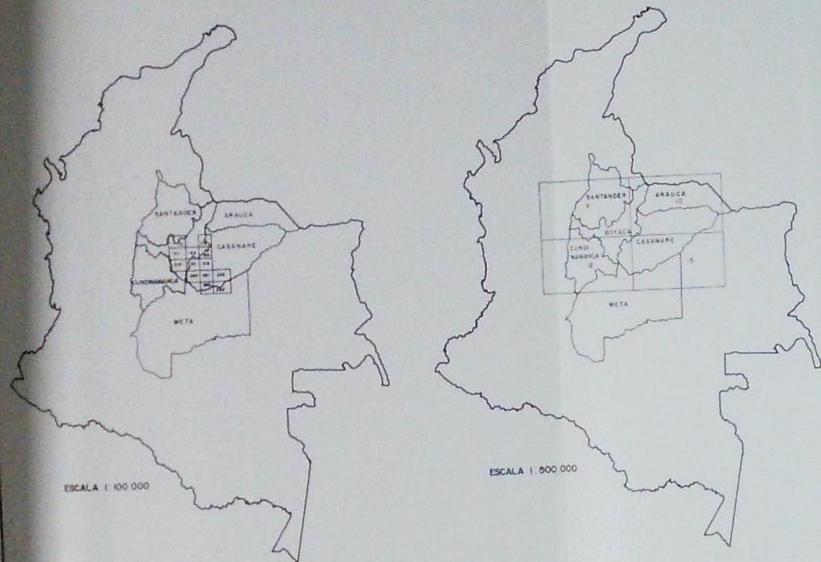
Para materiales de transición (semipermeables), se orientó la investiga ción a localizar fuentes cuyo procesamiento fuera la simple eliminación de sobretamaños y que la fracción fina se encontrara dentro de lo reco mendado.

En cuanto a materiales para filtros se trató de ubicar fuentes de bajo

contenido de finos o que por su extracción bajo agua se redujera este contenido a límites aceptables.

De conformidad con los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio para cada proyecto, se describen las diferentes fuentes de materiales de posible utilización, se dan sus características principales y se analizan las ventajas o desventajas que puede tener cada una de ellas en la construcción.

PLANOS EMPLEADOS

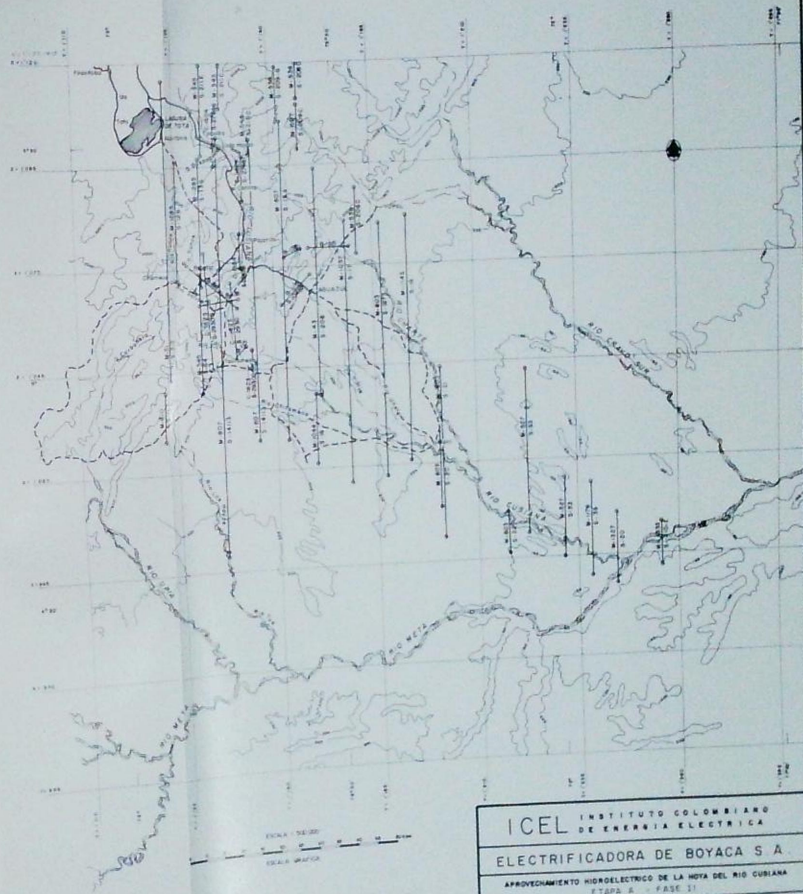


ESCALA 1:100,000

ESCALA 1:500,000



ESCALA 1:25,000



ESCALA 1:25,000
ESCALA GRAFICA

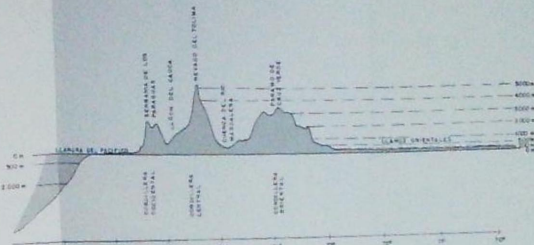
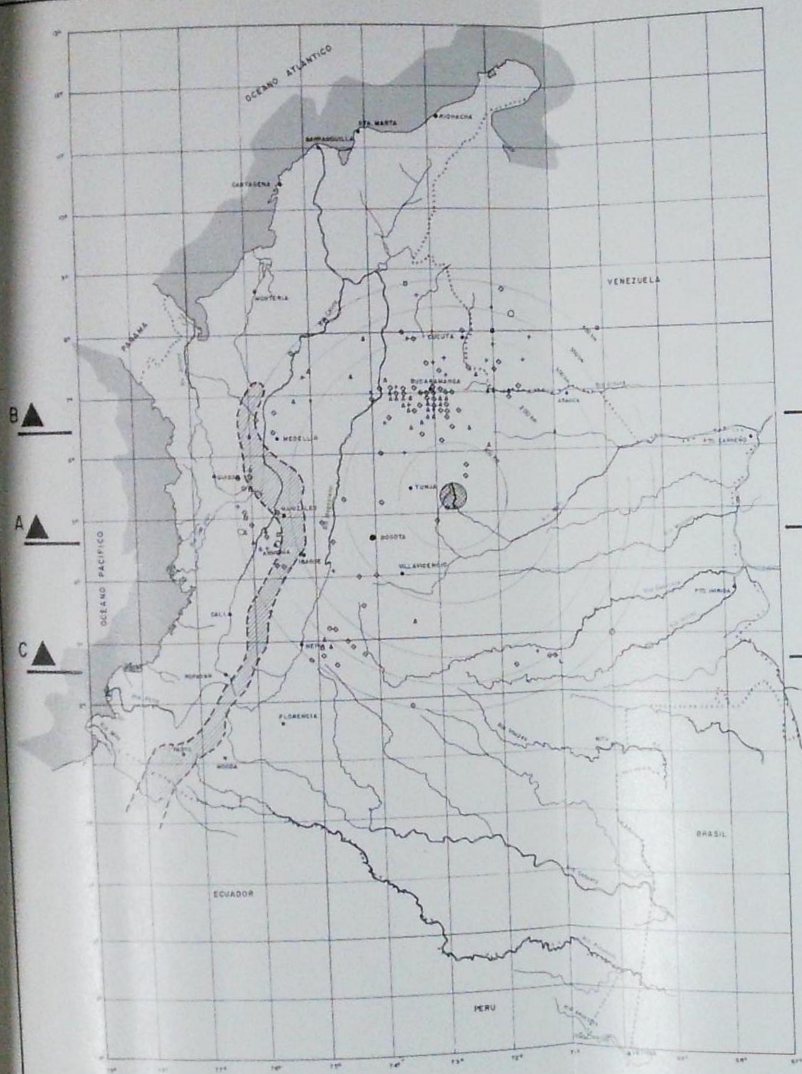
UNIDADES
1:25,000

<p>ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA</p>	
<p>ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.</p>	
<p>APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOTA DEL RIO GURLANA (ETAPA A - FASE II)</p>	
<p>TITULO</p>	<p>CARTOGRAFIA AEROFOTOGRAFIA (Elev. de Vuerker, IGAC)</p>
<p>SODEIC LTDA</p>	<p>BOYACA BOYACA 3-1</p>

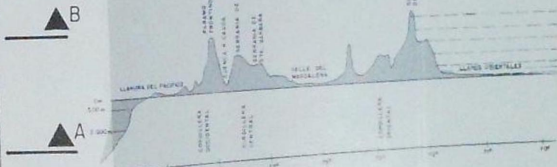
CONVENCIÓN
ZONAS A RESTITUIR



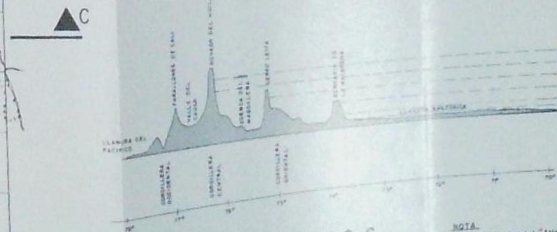
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S. A.
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA COTTA DEL RÍO CIBIQUÁ
FICP. 4 FASE 1
PROYECTOS SELECCIONADOS
ZONAS A RESTITUIR
EN ETAPA DE FACTIBILIDAD
SOBEIC LTDA 3-2



SECCION A-A



SECCION B-B



SECCION C-C

NOTA:
 Mapa reproducido del "Atlas
 de Colombia" publicado por
 el Instituto Geográfico Agustín
 Codazzi.

SÍMBOLOS

- Equipamiento según magnitud Richter del sismo
- 4.50 < 4.99 ○
 - 5.00 < 5.49 △
 - 5.50 < 5.99 □
 - 6.00 < 6.49 ◇
 - 6.50 < 6.99 ×
 - 7.00 < 7.49 *
 - 7.50 < 7.99 +

Zona del proyecto

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

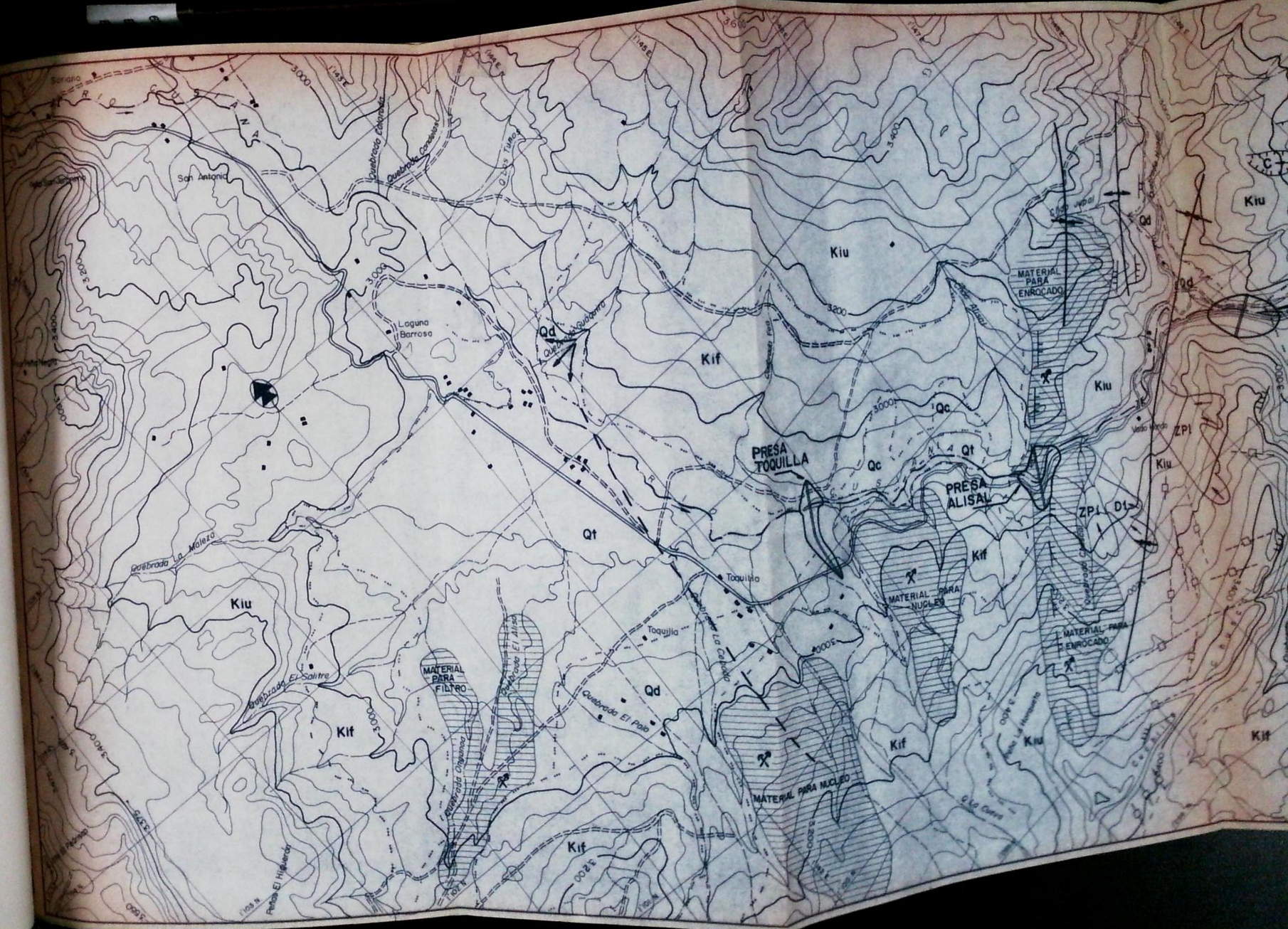
ESCALA APROX = 1cm = 50km

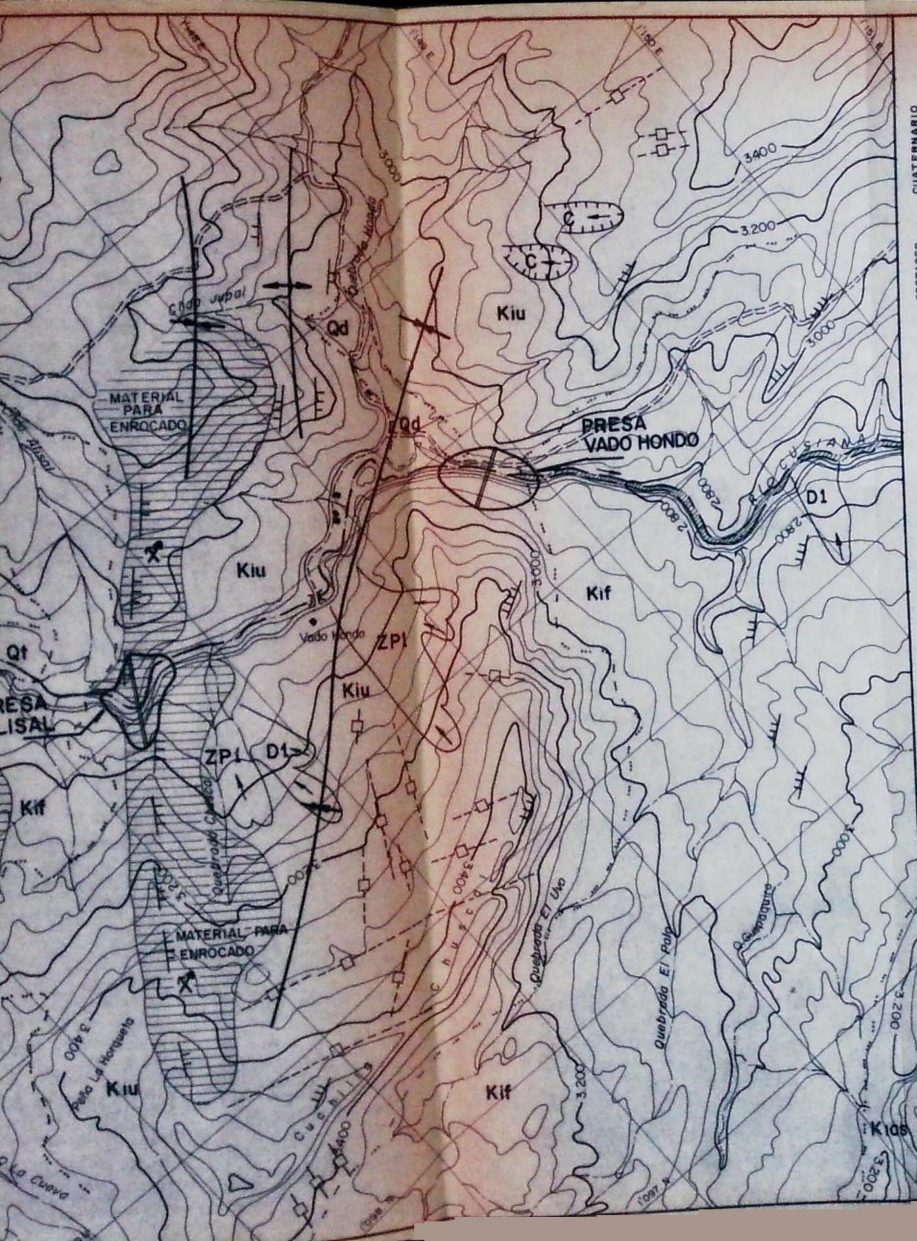
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO
 DE ENERGÍA ELÉCTRICA
 ELECTRIFICADORA DE BOVACA S.A.
 INTERCOMERCIO HIDROELÉCTRICO DE CAPIBARRIL
 ETAPA II

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SISMICA DISPONIBLE
 (PROYECTO DE OBRAS IMPARTANTES - PER-00-100)

SEDE: LTMA

4-2





CONVENCIONES

- CUATERNARIO**
- Qd** Material de terraza, bolos, gravas y arenas poco consolidadas, permeables
 - Qe** Conos de deposición material granular no estratificado, fácilmente erosionable, con pendiente longitudinal que varía entre 8 y 15%
 - Qe** Depósitos coluviales bloques y guijarras en una matriz arcillo-arenosa, no consolidados, baja resistencia en presencia de agua son altamente inestables.
- CRETACEO**
- Kif** Lutitas arcilimosas interestratificadas con calizas
 - Kiu** Areniscas masivas con delgadas intercalaciones de lutitas

LEYENDA GEOLOGICA

- Contacto**
- RUMBOS Y BUZAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS**
- + Horizontal o menor de 5°
 - T Inclinado entre 5° y 20°
 - TT Inclinado entre 20° y 30°
 - TTT Inclinado entre 30° y 45°
 - ∇ Inclinado mayor de 45°
 - Vertical
 - Teo Rumbo y buzamiento medidos en campo
 - ↕ Rumbo y buzamiento de capas invertidos
 - ⊖ Diaclasa
- FALLAS**
- f Posición determinada
 - ▲▲▲▲▲ Falla inversa o de bajo ángulo, la parte dentada indica el bloque suprayacente.
 - - - - - Diaclasos
- TRAZA DE PLIEGUES**
- ↔ Anticlinal con dirección de cabeceros
 - ↔ Sinclinal con cabeceros
 - D1 Deslizamiento
 - ZP.1 Zona potencialmente inestable

Esc 1:25.000

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA MORA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO: RIO CUSIANA EMBALSE TOQUILLA GEOLOGIA - ZONAS DE PRESTAMO

SODEC LTDA INGENIEROS CONSULTORES

FECHA: 1962/02 ARCHIVO: 4-3



114,000

114,000

115,000

Qal

Qc

Qc

Qt

Qt

PRESA TOQUILLA

MATERIALES
BLOQUE GRAVALES ARENAS

Q. El Alto

KH

Qc

Qal

Q. Toquilla

Q. Toquilla

Qm

TOQUILLA

KH

Qc

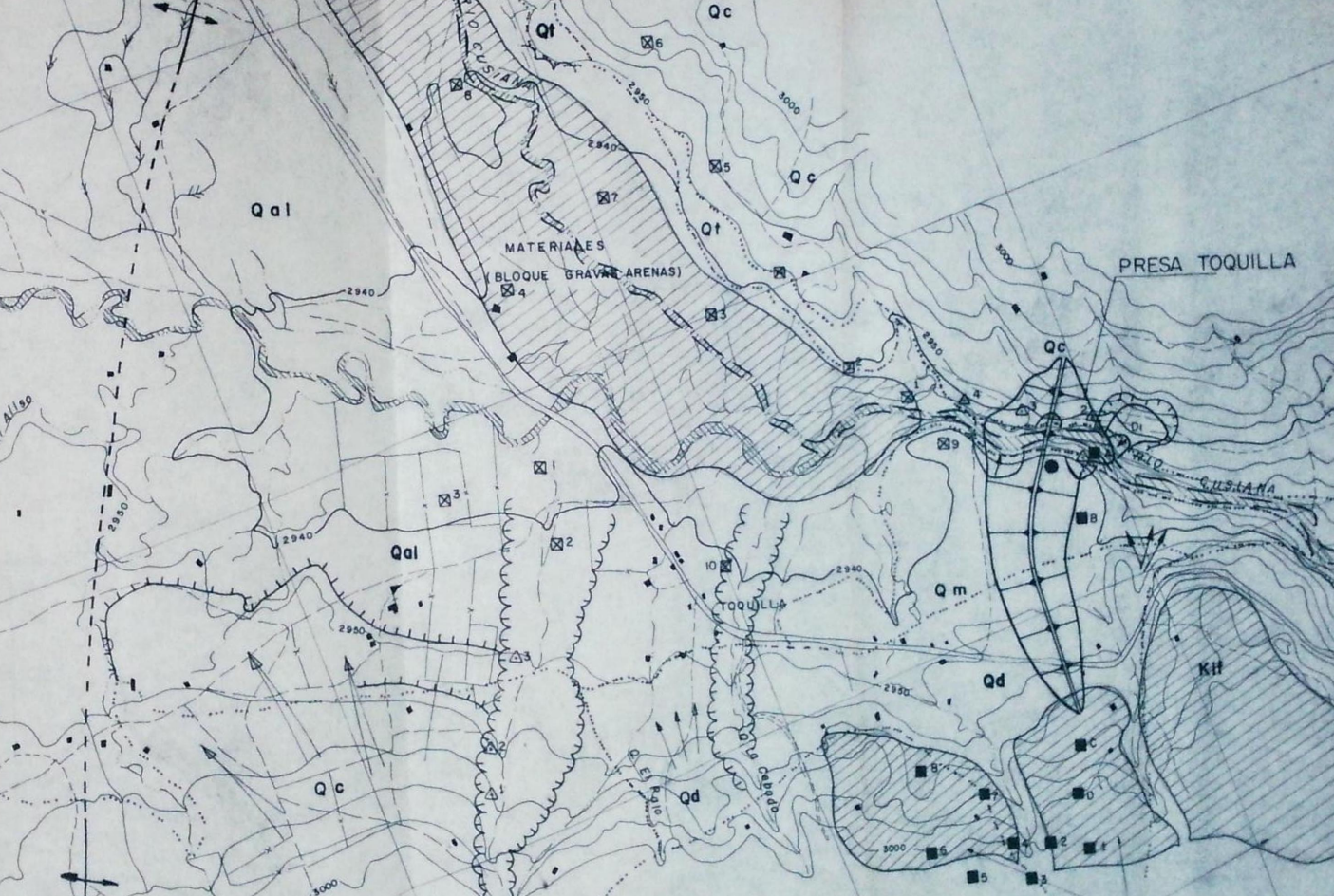
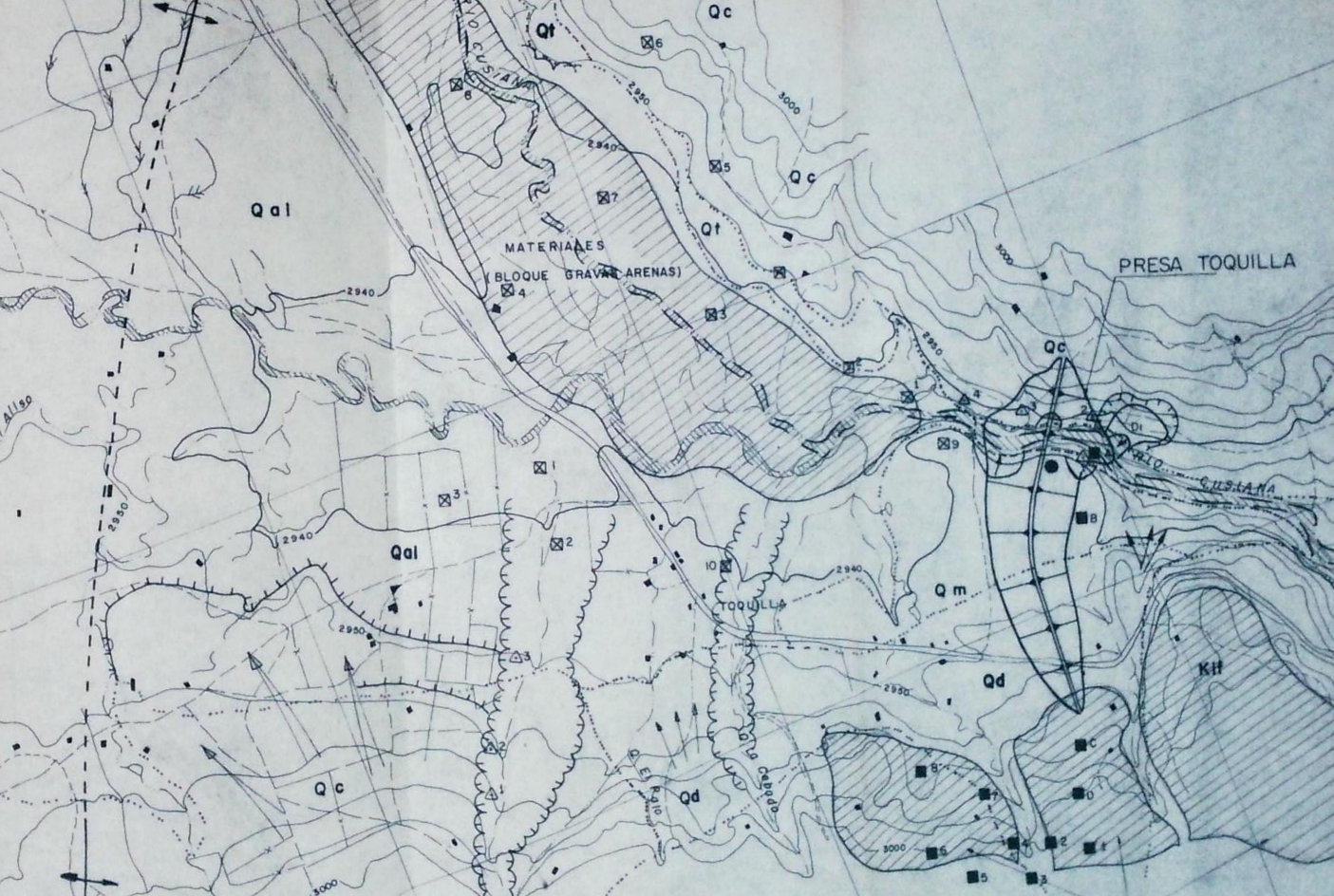
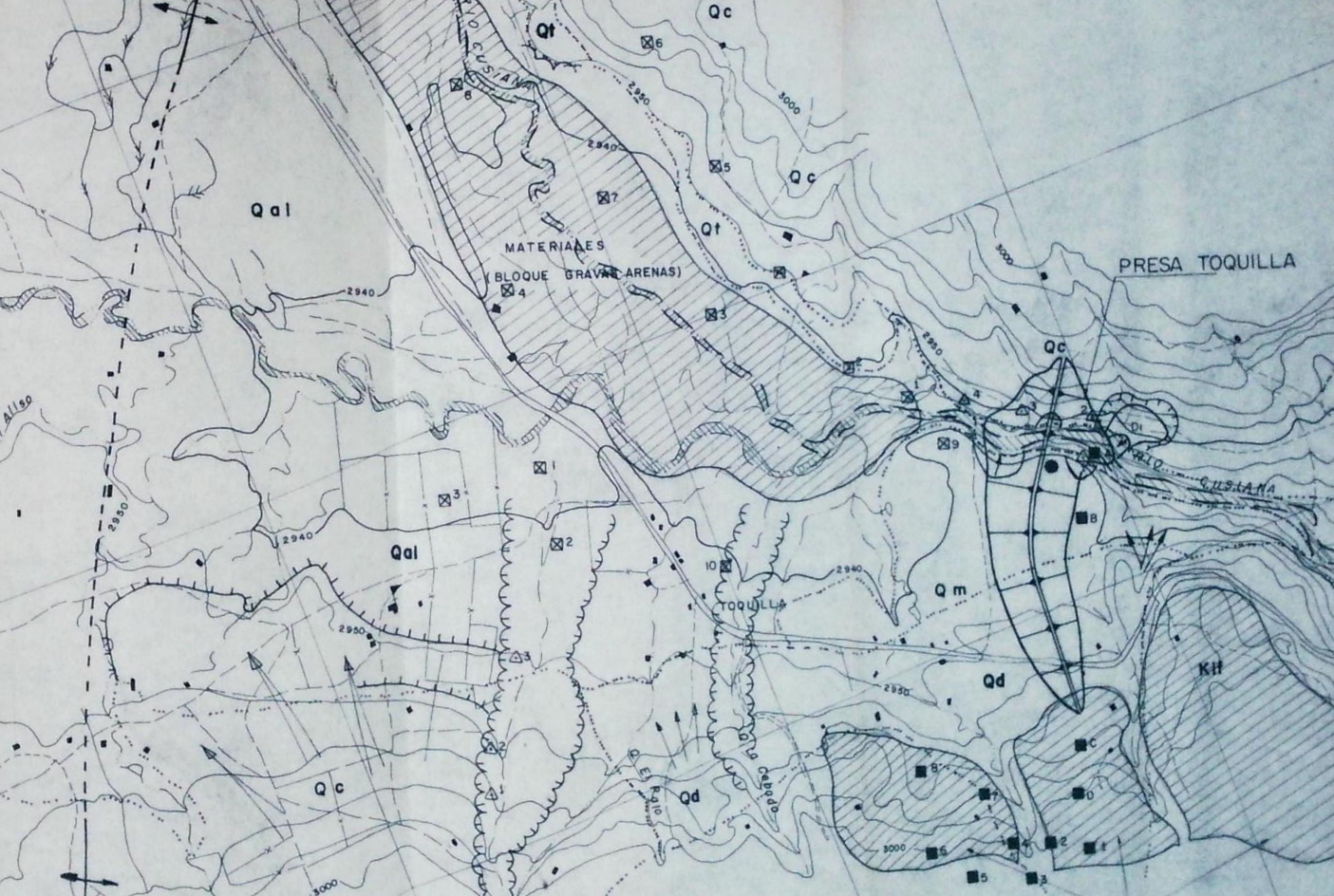
Qd

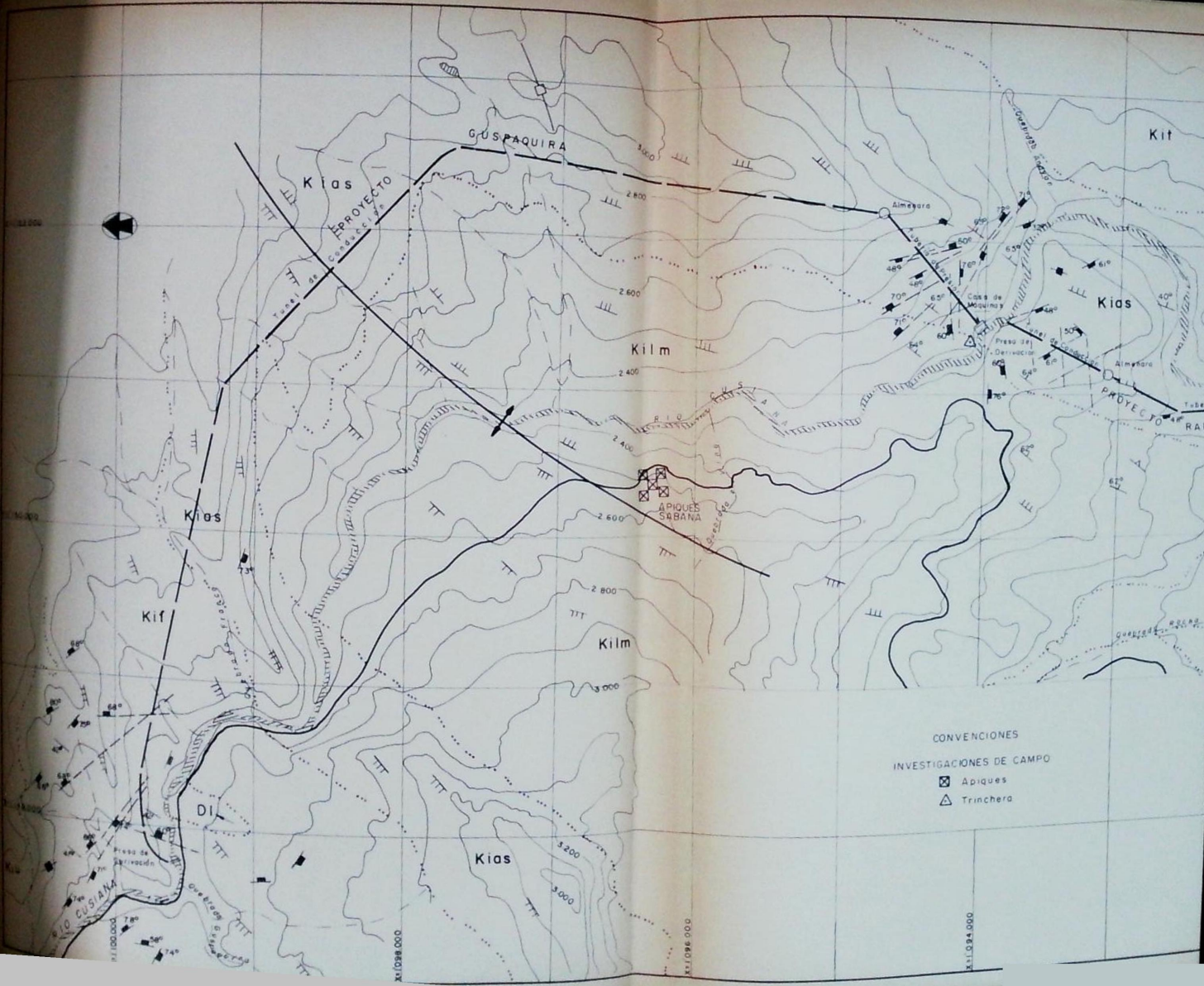
KH

Qd

MATERIAL PARA NUCLEO
(DEPENDIENDO DE ANALISIS LABORATORIO)

Qc





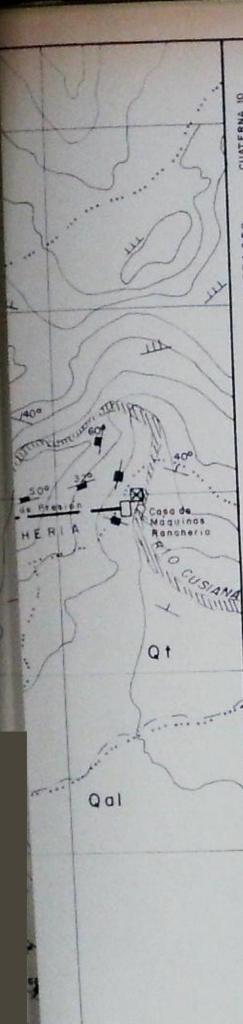
CONVENCIONES
 INVESTIGACIONES DE CAMPO

- ☒ Apiques
- △ Trinchera

X:1,098,000

X:1,096,000

X:1,094,000



CONVENCIONES

CUATERNA IO	Qt	Material de ferraza, balos, gravas y arenas poco consolidados, permeables.
	Qal	Depositos aluviales recientes materiales no consolidados sin estratificación facilmente erodables.
CRETACEO	Kiu	Areniscas cuarzosas de grano fino-grueso con algunas intercalaciones de lutitas y limolitas.
	Kil	Alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y margas.
	Kias	En la base areniscas macizas con algunas intercalaciones de lutitas, en la parte media lutita y limolitas, hacia el tope areniscas con intercalaciones de lutitas y limolitas.
	Kim	Lutitas y limolitas negras con ocasionales intercalaciones de areniscas.

LEYENDA GEOLOGICA

Contacto

RUMBOS Y BUZAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS

+	Horizontal o menor de 5°
T	Inclinado entre 5° y 20°
TT	Inclinado entre 20° y 30°
TTT	Inclinado entre 30° y 45°
∇	Inclinado mayor de 45°
⊖	Vertical
T ^o	Rumbo y buzamiento medidos en campo
⊕	Rumbo y buzamiento de capas invertidas

FALLAS

f — f	Posicion determinada
▲▲▲▲	Falla inversa o de bajo angulo la parte dentada indica el bloque suprayacente
---	Diaclasas

TRAZA DE PLIEGUES

↔	Anticlinal con direccion de cabeceo
↔	Sinclinal con cabeceo
⊕	Deslizamiento

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

A PROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO PROYECTOS GUSPAQUIRA - RANCHERIA GEOLOGIA Y SUELOS

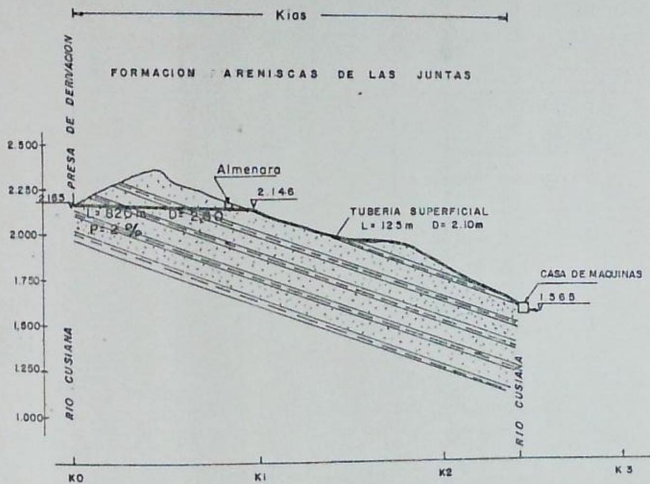
Esc 1:25000

BIBLIOTECA SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES

FECHA: ABO 30 / 82 ARCHIVO

FIGURA 4 - 5

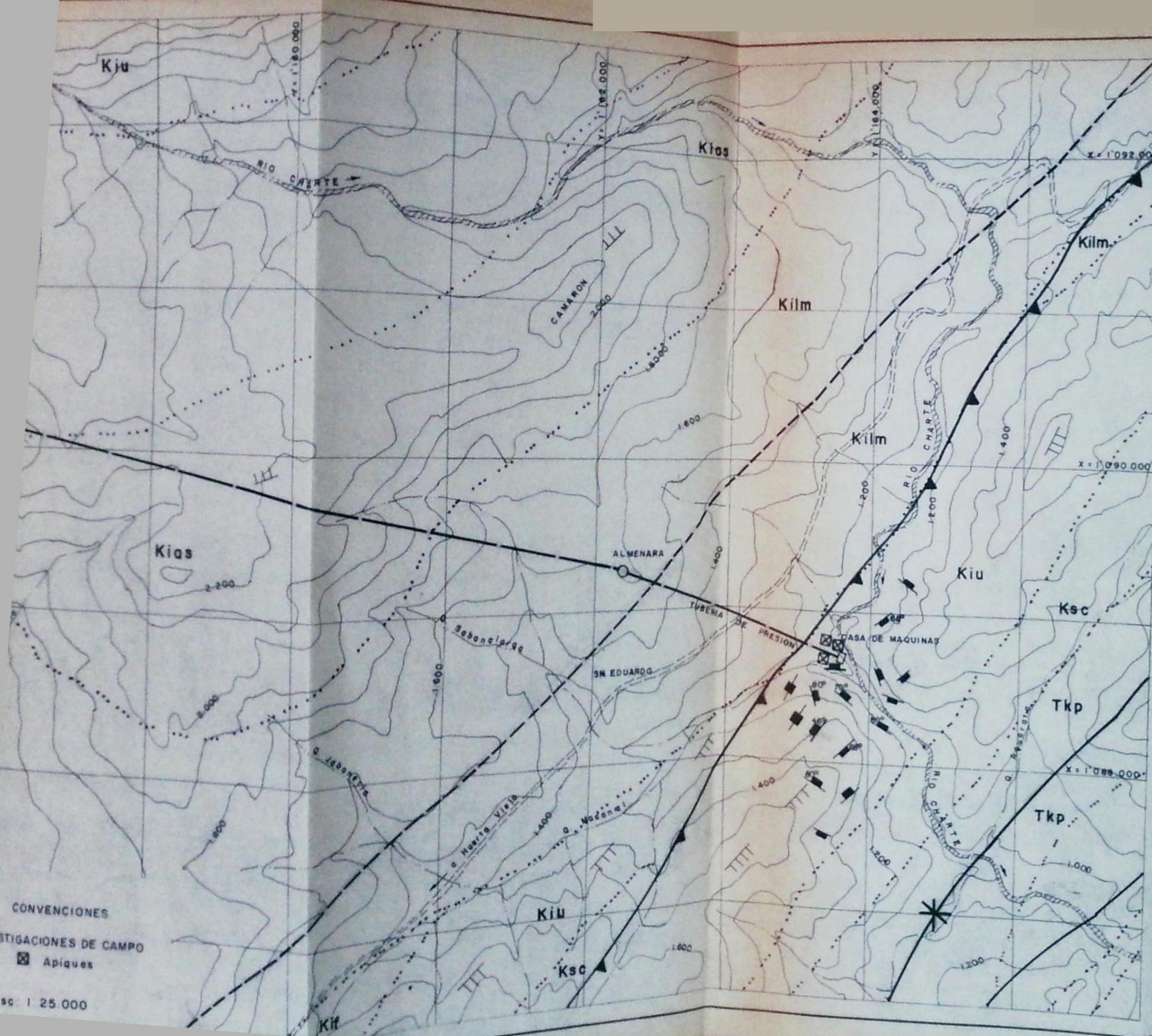
Xs/03 2.000



RIO CUSIANA - PROYECTO RANCHERIA

Esc. 1:25 000

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOJA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II		SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES	
	TITULO PERFIL GEOLOGICO PROYECTO RANCHERIA	FECHA: A30570/82	FIGURA 4-7	



CONVENCIONES

- CUATERNARIO**
- Qd Material de terraza, bolos, gravas y arenas poco consolidadas, permeables
 - Qel Conos de deyeccion material granular no estratificado, fácilmente erodable, con pendiente longitudinal que varía entre 8 y 15%
 - Tkp Depósitos aluviales recientes. Materiales no consolidados sin estratificación, fácilmente erodables
 - Tsp Conjuntos arenosos separados por miembros lutíticos con algunos intercalaciones de limolitas silíceas.
 - Ksu Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de poca espesor, ocasionalmente estratos de caliza y carbón
 - Klv Areniscas suarzosas de gran fino a grueso con algunos intercalaciones de lutitas y limolitas
 - Klf Alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y margas
 - Kcs En la base areniscas medias con intercalaciones de lutitas, en la parte media lutitas y limolitas, hacia el base areniscas con intercalaciones de lutita y limolita.
 - Kkm Lutitas y limolitas negras con ocasionales intercalaciones de areniscas.

LEYENDA GEOLOGICA

- RUMBOS Y BUZAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS**
- Horizontal a menor de 5°
 - Inclinado entre 5° y 20°
 - Inclinado entre 20° y 30°
 - Inclinado entre 30° y 45°
 - Inclinado mayor de 45°
 - Diclasa
 - Vertical
 - Rumbo y buzamiento medidos en campo
 - Rumbo y buzamiento de copos invertidos

FALLAS

- Posición determinada
- Falla inversa o de bajo angulo la parte dentada indica el bloque suprayacente
- Diclasas

TRAZA DE PLIEGUES

- Anticlinal con direccion de cabeceo
- Sinclinal con cabeceo
- Deslizamiento

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYADA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

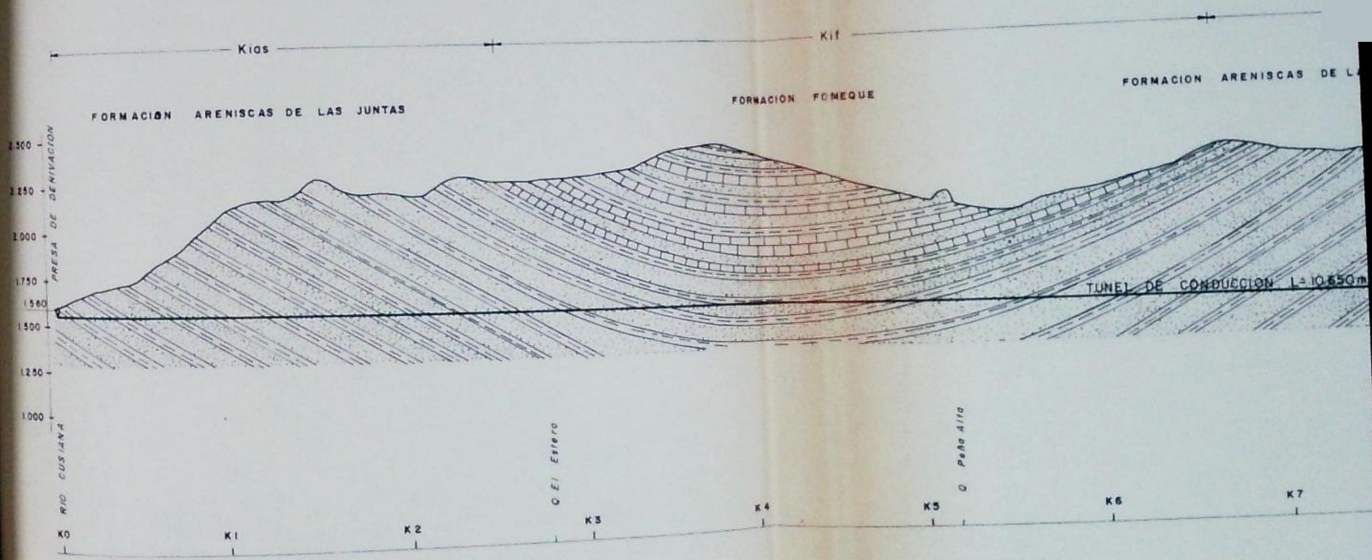
TITULO RIO CUSIANA - RIO CHARTE PROYECTO CANDELAS

GEOLOGIA Y SUELOS

SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES

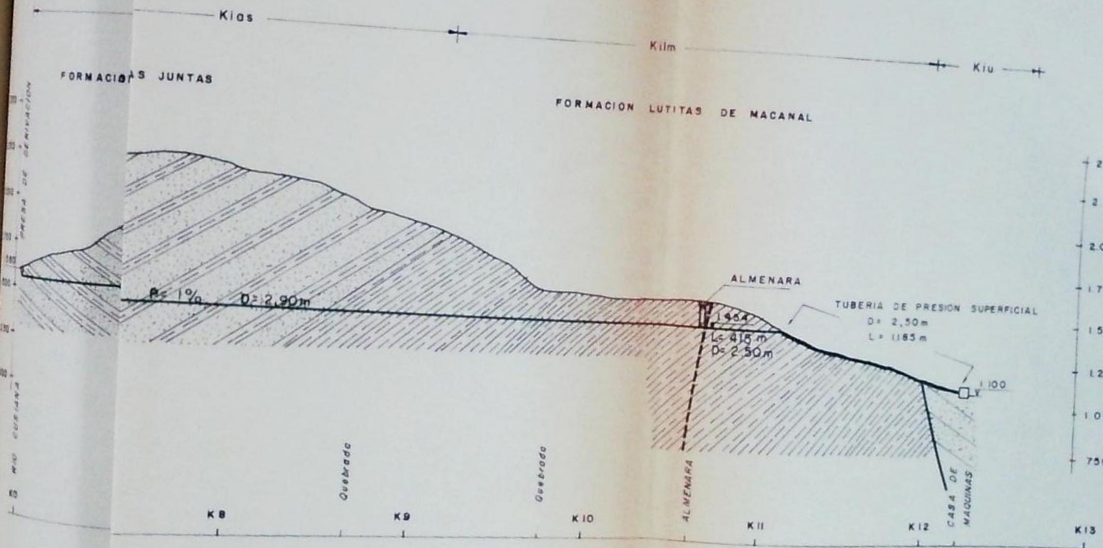
CONVENCIONES
 ESTIGACIONES DE CAMPO
 Apiques
 1:25,000

4-8







RIO CHARTE - PROYECTO SALTO DE CAN
 Esc: 1: 25.000

INSTRUMENTO

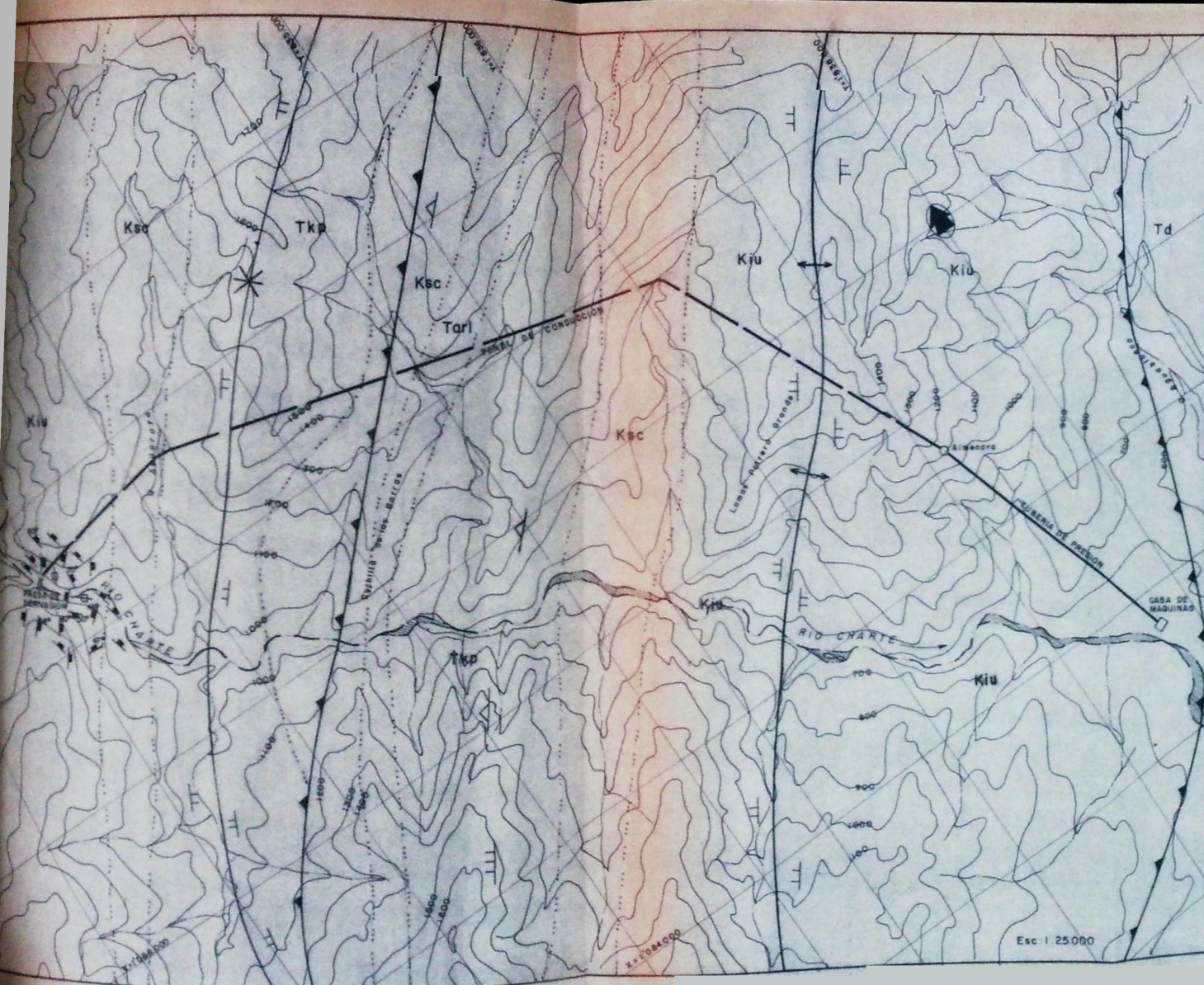


CÓNVENIONES

-  Lutitas
-  Limolitas
-  Calizas
-  Areniscos

DELA

ICEL	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
	ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S.A.
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RÍO CUSIANA ETAPA A - FASE II	
PROYECTO SALTO DE CANDELA PERFIL GEOLOGICO	
JOTECA	<small>FECHA: _____</small> <small>INGENIEROS CONSULTORES: _____</small>



CONVENCIONES

- TERCIARIO**
- T4 Areniscas y limolitas conglomeraticas con intercalaciones de limolitas y arcelolitas.
 - Tan Conglomerados, arcelolitas, lutitas y areniscas cuarzosas de grano medio
 - Tkp Conjuntos arenosos separados por miembros lutiticos con algunas intercalaciones de limolitas silíceas.
- CRETACEO**
- Ksc Lutitas y Limolitas negras con intercalaciones de areniscas de poco espesor, ocasionalmente estratos de coliza y carbón
 - Kiu Areniscas cuarzosas de grano fino a grueso con algunas intercalaciones de lutitas y limolitas
 - Kim Lutitas y limolitas negras con ocasionales intercalaciones de areniscas.

LEYENDA GEOLOGICA
contacto

RUMBOS Y BUZAMIENTOS GEOLOGICOS

- + Horizontal o menor de 5°
- T Inclinado entre 5° y 20°
- TT Inclinado entre 20° y 30°
- TTT Inclinado entre 30° y 45°
- V Inclinado mayor de 45°
- Diaclasa
- Vertical
- Tg Rumbo y buzamiento medidos en campo
- P Rumbo y buzamiento de mapas invertidos

FALLAS

- |-|-|- Posición determinada
- ▲▲▲▲ Falla inversa o de bajo ángulo, la parte dentada sigue al bloque suprayacente
- |-|-|- Diaclasas

TRAZA DE PLIEGUES

- ↔ Anticinal con dirección de cabeceo
- ↔ Sinclinal con cabeceo
- ⤵ Deslizamiento

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOVA DEL MOCUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO RIO CHARTE PROYECTO SABANALARGA GEOLOGIA

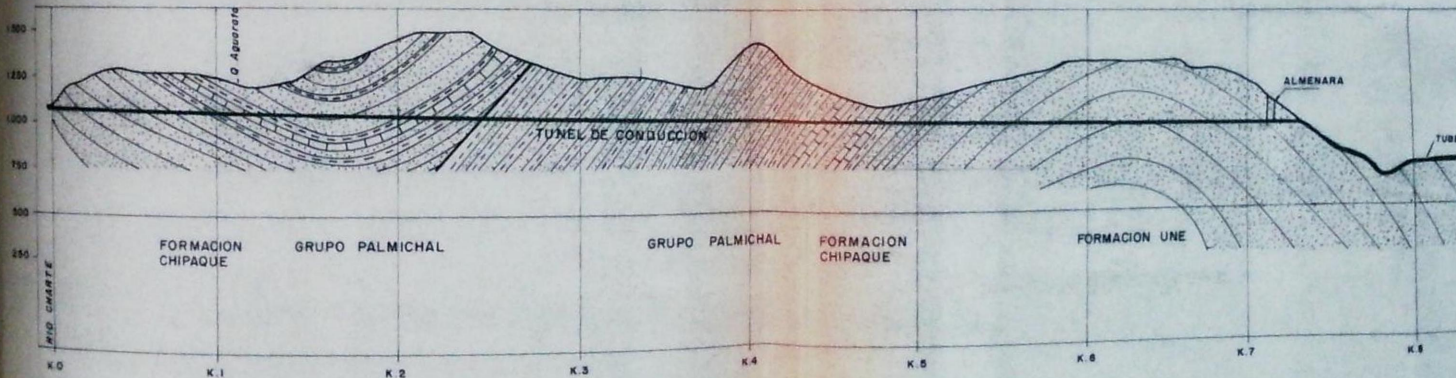
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	PERIODO	FECHA
	AGOSTO/81	4 - 10

Esc 1:25000

N. 2084000

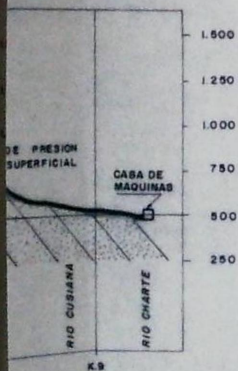
FORMACION UNE	LUTITAS	CONJUNTOS ARE-	LUTITAS	FORMACION	CONJUNTO	LUTITAS	ARENISCAS CUARZOSAS
ARENISCAS CUAR-	LIMOLITAS	NOSOS CON LUTI-	LIMOLITAS	ARENISCAS DEL	ARENOSO CON	LIMOLITAS	
ZOSAS	ARENISCAS	TAS Y LIMOLITAS	ARENISCAS	LIMBO-ARCILLAS	LUTITAS Y LIMO-	ARENISCAS	
	CALIZAS	SILICEAS		LIMOLITAS ARENISCAS	LITAS SILICEAS		

— Kiu — Ksc — Tkp — Ksc — Tari — Tkp — Ksc — Kiu








RIO CHARTE - PROYECTO SABANALARGA

Esc 1 25.000



CONVENCIONES

-  Lutitas
-  Limolitas
-  Calizas
-  Areniscas
-  Conglomerados

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO
DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA
ETAPA A - FASE II

TITULO: PROYECTOS SABANALARGA
PERFIL GEOLOGICO

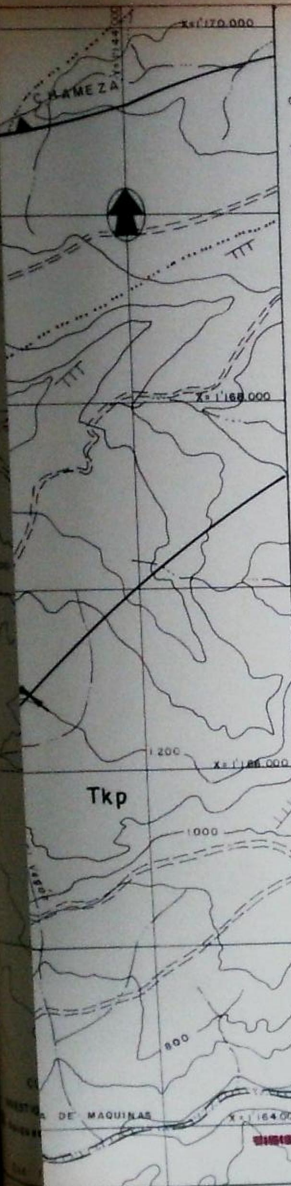
SODEIC LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

FECHA:
AGOSTO/82
ARCHIVO

FIGURA:
4 - 11







CONVENCIONES

- CUATERNARIO** Qd Cones de deyeccion, material granular no estratificado, facilmente erodable, con pendiente longitudinal.
- TERCIARIO** Tkp Conjuntos arenosos separados por miembros lutiticos con alguna intercalaciones de limolitos siliceos.
- Kac Areniscos cuarzosa de grano fino a grueso con algunos intercalaciones de lutitas y limolitos.
- CETACEO** Kiu Alternancia de lutitas, limolitos, areniscos y mergas.
- Kias En la base areniscos macizos con intercalaciones de lutitas, en la parte media lutitas y limolitos, en el tope areniscos con intercalaciones de lutita y limolito.
- Kilm Lutitas y limolitos negros con ocasionales intercalaciones de areniscos.

LEYENDA GEOLOGICA

--- Contacto

RUMBOS Y BUZAMIENTOS GEOLOGICOS

- + Horizontal o menor de 5°
- T Inclinado entre 5° y 20°
- TT Inclinado entre 20° y 30°
- TTT Inclinado entre 30° y 45°
- V Inclinado mayor de 45°
- Diacloso
- Vertical
- T_{80°} Rumbo y buzamiento medidos en campo
- ∩ Rumbo y buzamiento de capas invertidas

FALLAS

- f -f- Posicion determinada
- △△△△△ Falla inversa o de bajo ángulo, la parte dentado indica el bloque suprayacente
- Diacloso

TRAZA DE PLIEGUES

- ↔ Anticlinal con dirección de cabeceo
- ↔ Sinclinal con cabeceo
- D₁ Deslizamiento

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO: RIO SALINERO PROYECTO CHAMEZA GEOLOGIA Y SUELOS

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

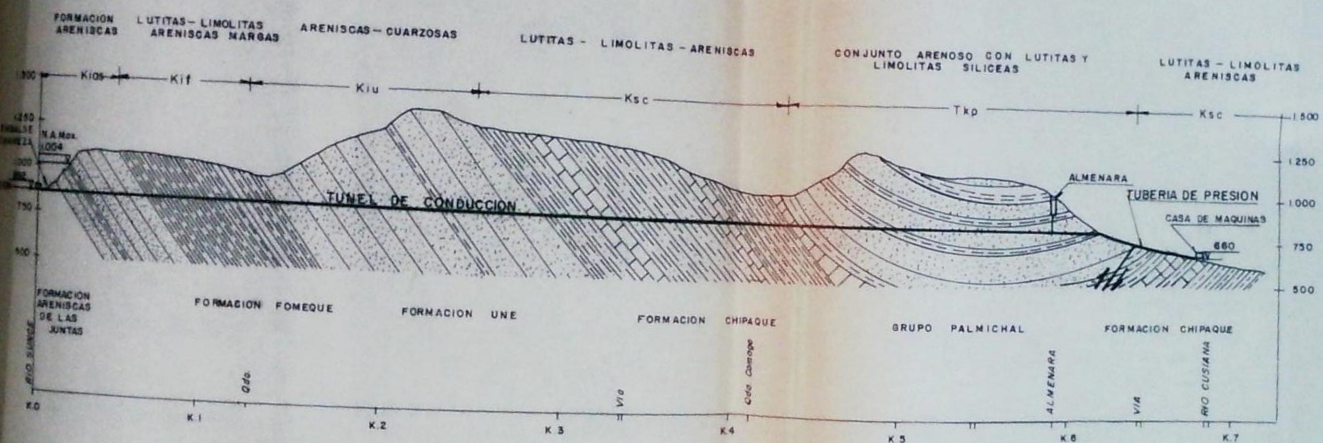
SODEIC LTDA

INGENIEROS CONSULTORES

BIBLIOTECA






FECHA: AGOSTO /82
ARCHIVO:

FIGURA: 4 - 12



RIO SALINERO - PROYECTO CHAMEZA

CONVENCIONES

-  Lutitas
-  Limolitas
-  Calizas
-  Areniscas
-  Conglomerados

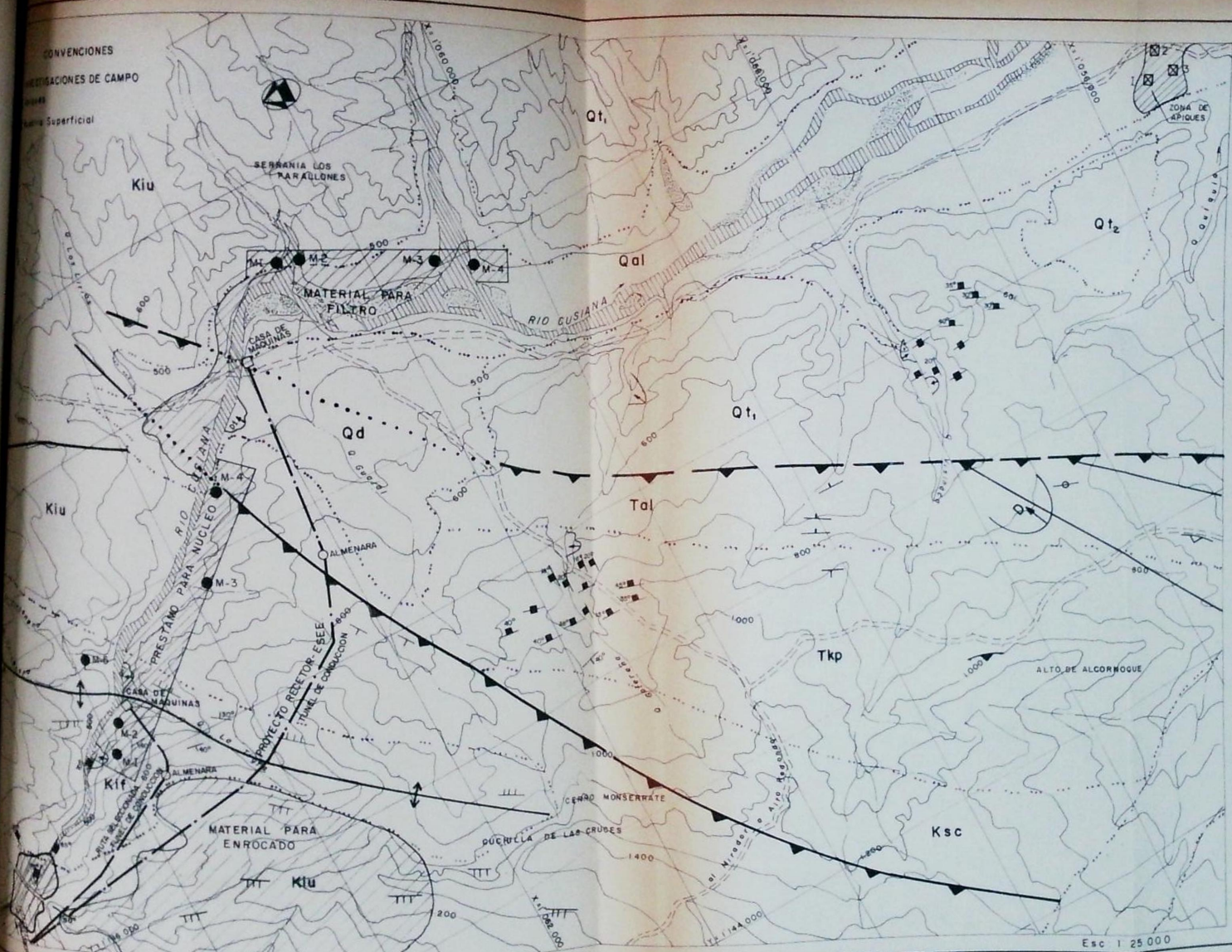
ESCALA 1 25 000

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA		
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.		
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II		
TITULO PROYECTO CHAMEZA PERFIL GEOLOGICO		
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA AGOSTO/BR ARCHIVO	FIGURA 4-13

CONVENCIONES

INVESTIGACIONES DE CAMPO

Superficial



CONVENCIONES

- Qr** Terrazas aluviales recientes
- Q1** Material de terrazas, bolos, gravas y arenas poco consolidadas, permeables
- Qd** Conos de deposición material granular no estratificado, fácilmente erodible, con pendiente longitudinal que varía entre 8 y 15 %
- Qal** Depósitos aluviales recientes, materiales no consolidados sin estratificación, fácilmente erodible
- Tkp** Conjuntos arenosos separados por miembros lutiticos con algunas intercalaciones de limolitas silíceas
- Ksc** Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de poco espesor, ocasionalmente estratos de calizo y carbón
- Kiu** Areniscas cuarcosas de grano fino a grueso con algunas intercalaciones de lutitas y limolitas
- Kif** Alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y margas
- Tal** Arcillas y limolitas con intercalaciones de areniscas de poco espesor

LEYENDA GEOLOGICA

..... contacto

RUMBOS Y BUZAMIENTOS GEOLOGICOS

- + Horizontal o menor de 5°
- T Inclinado entre 5° y 20°
- TT Inclinado entre 20° y 30°
- TTT Inclinado entre 30° y 45°
- V Inclinado mayor de 45°

- D Diaclasa
- o Vertical
- Tp Rumbo y buzamiento medidos en campo
- T Rumbo y buzamiento de capas invertidas

FALLAS

- f-f Posición determinada
- ▲▲▲▲▲ Falla inversa o de bajo ángulo, la parte dentada indica el bloque suprayacente
- - - - - Diaclasas

TRAZA DE PLIEGUES

- ↕ Anticlinal con dirección de cabeceo
- ↕ Sinclinal con cabeceo
- ⤴ Deslizamiento

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

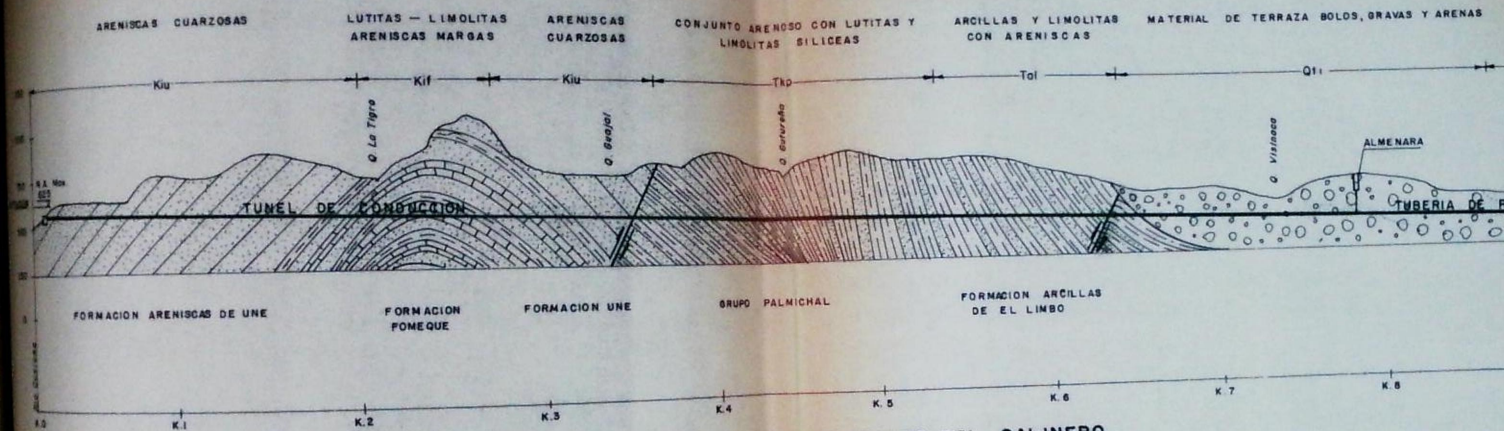
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO: PROYECTO BOCAS DEL SALINERO GEOLOGIA Y SUELOS

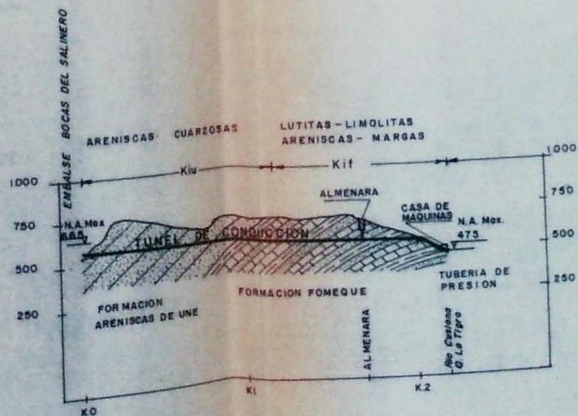
SODEIC LDA INGENIEROS CONSULTORES

FECHA: ABRIL/88 INCHUVO: FIGURA: 4-14

Esc 1 25 000

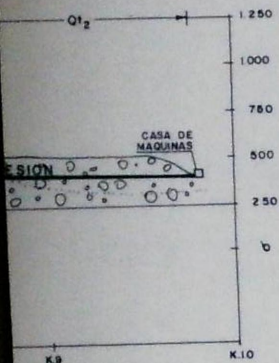


RIO CUSIANA PROYECTO BOCAS DEL SALINERO
ALTERNATIVA








RIO CUSIANA PROYECTO BOCAS DEL SALINERO
ALTERNATIVA SELECCIONADA

TERRAZAS ALUVIALES RECIENTES



CONVENCIONES

-  Lutitas
-  Limolitas
-  Calizas
-  Areniscas
-  Conglomerados

ESCALA 1 : 25.000

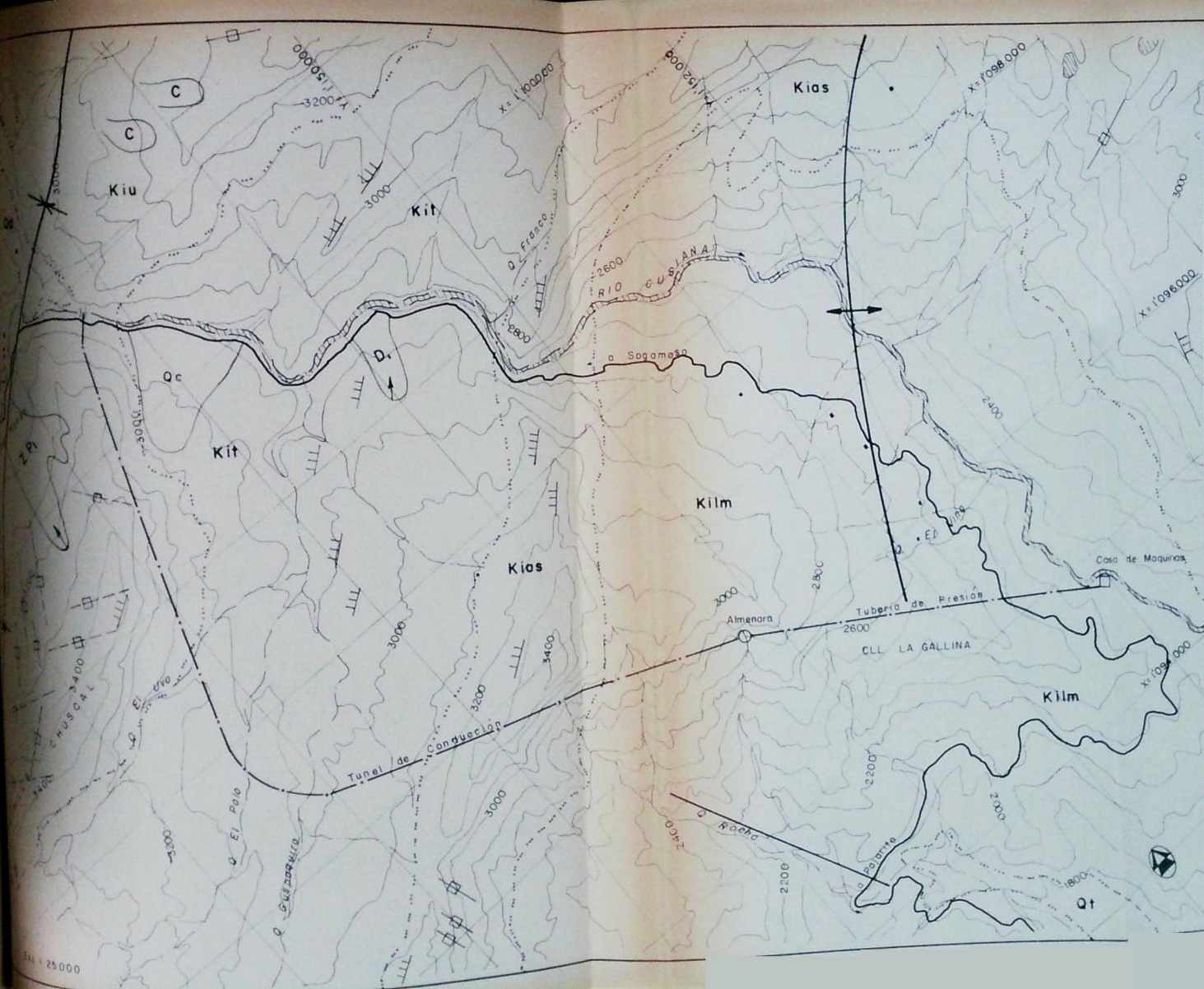
INSTITUTO COLOMBIANO
ICEL DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

ARROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA
ETA PA A - FASE II

TITULO:
PROYECTO BOCAS DEL SALINERO
ALTERNATIVAS PERFIL GEOLOGICO

SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA	FIGURA
	AGOSTO/82	4-15
ARCHIVO		



CONVENCIONES

- Q1** Material de ferraza, bolas, gravas y arenas poco consolidadas, permeables.
- Qd** Conos de deyección material granular no estratificado, fácilmente erodable, con pendiente longitudinal que varía entre 8 y 15 %.
- Kiu** Arenas cuarzosa de grano fino-grueso con algunas intercalaciones de lutitas y limonitas.
- Kit** Alternancia de lutitas, limonitas, arenosas y margas.
- Kilm** Lutitas y limonitas negras con ocasionales intercalaciones de arenas.
- Qk** En la base arenas macizas con intercalaciones de lutitas, en la parte media lutitas y limonitas, hacia el top arenas con intercalaciones de lutita y limonita.

LEYENDA GEOLOGICA

- Contacto
- RUMBOS Y BUZAMENTOS GEOLOGICOS**
- + Horizontal o menor de 5°
- T Inclinado entre 5° y 20°
- TT Inclinado entre 20° y 30°
- TTT Inclinado entre 30° y 45°
- V Inclinado mayor de 45°
- D Diaciso
- o Vertical
- Ta° Rumbo y buzamiento medidos en campo
- Tb° Rumbo y buzamiento de capas invertidas
- FALLAS**
- f-f Posición determinada
- ▲▲▲▲ Faja inversa o de bajo ángulo, la parte dentada indica el bloque suprayacente
- - - - - Diacisos
- TRAZA DE PLIEGUES**
- ↑ Anticinal con dirección de cabeceo
- ↓ Sinclinal con cabeceo
- D Deslizamiento

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

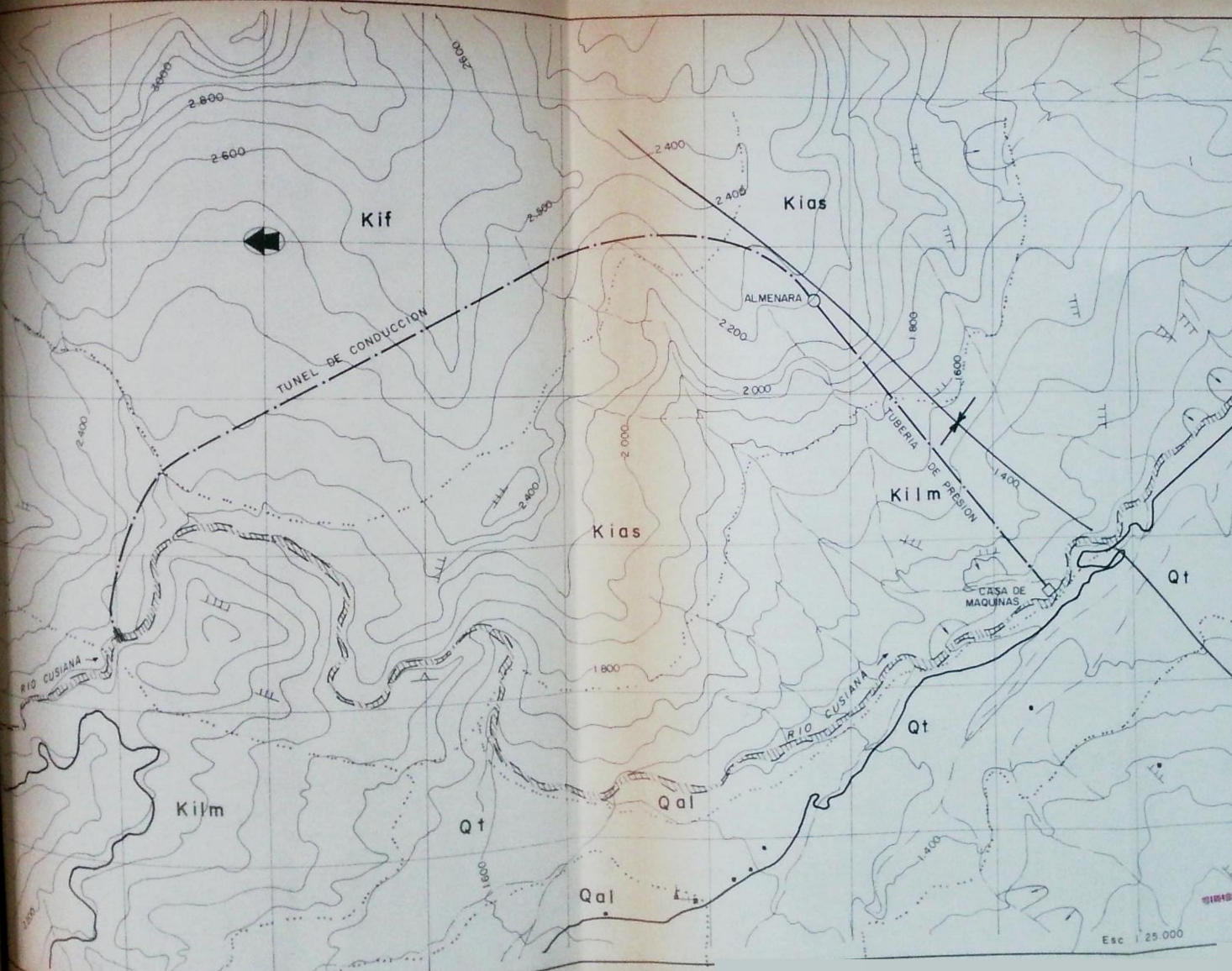
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HONDA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO PROYECTO VADO HONDO ESEE
GEOLOGIA

SODEIC LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

FECHA 15/05/78
28/05/78

FIGURA 4-16



CONVENCIONES

- Qal** Depósito aluviales recientes materiales no consolidados sin estratificación fácilmente erosionables
- Qt** Material de terraza, betas, gravas y arenas poco consolidados, permeables
- Kif** Alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y margas
- Kias** En la base areniscas medias con algunas intercalaciones de lutitas, en la parte media lutitas y limolitas, hacia el topé areniscas con intercalaciones de lutitas y limolitas
- Kilm** Lutitas y limolitas negra con ocasionales intercalaciones de areniscas

LEYENDA GEOLOGICA

- Contacto
- RUMBOS Y BUZAMIENTOS GEOLOGICOS**
- + Horizontal o menor de 5°
- TT Inclinado entre 5° y 20°
- TTT Inclinado entre 20° y 30°
- TTTT Inclinado entre 30° y 45°
- TTTTT Inclinado mayor de 45°
- ++ Diaclasa
- Vertical
- T_g° Rumbo y buzamiento medidos en campo
- A Rumbo y buzamiento de capas invertidas

FALLAS

- f — f — Posicion determinada
- ▲▲▲ Falla inversa o de bajo ángulo, la parte dentada indica el bloque suprayacente
- Diaclasas

TRAZA DE PLIEGUES

- Anticinal con direccion de cabecera
- Sinclinal con cabecera
- Deslizamiento

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOJA DEL RIO CUSIANA ETAPA A FASE II

TITULO

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

PROYECTO MANCHERIA - ESEE

GEOLOGIA

FECHA: 1987

ESCALA: 1:25,000

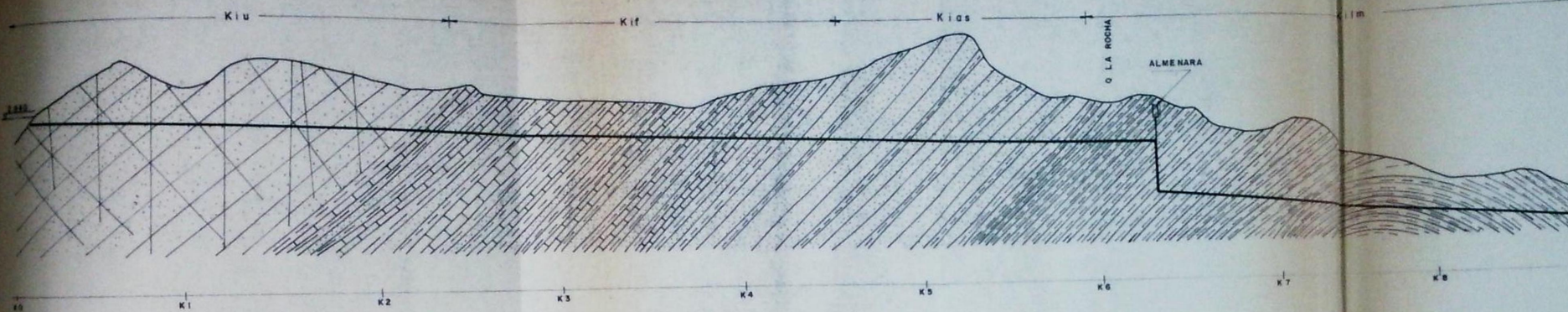
FIGURA: 4-17

FORMACION ARENISCAS DE UNE

FORMACION FOMEQUE

FORMACION ARENISCAS DE LAS JUNTAS

FORMACION LANTAS DE MACANAL



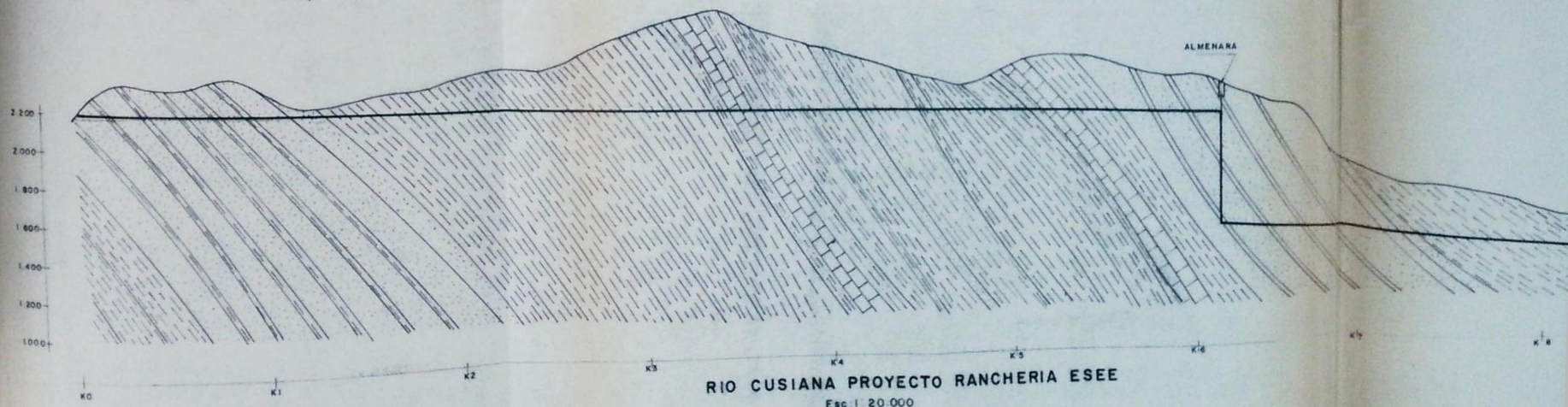
RIO CUSIANA - PROYECTO VADO HONDO
Esc 1:20.000

Kias

Kif

Kias

Kilm

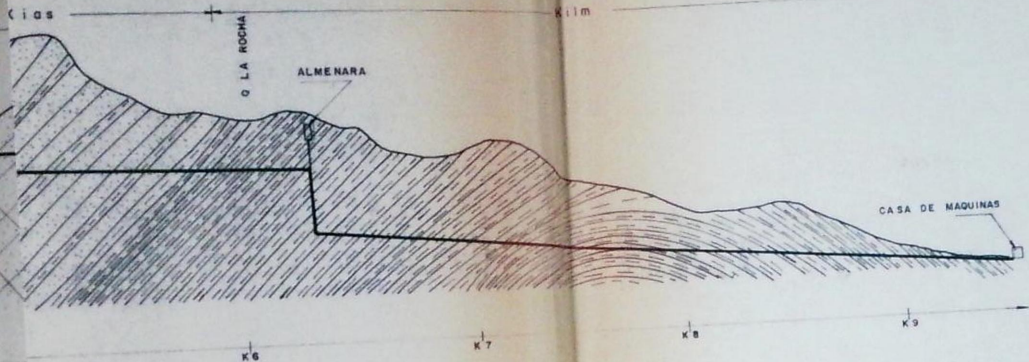


RIO CUSIANA PROYECTO RANCHERIA ESEE
Esc 1:20.000

ALMENDRE

FORMACIONES DE LAS JUNTAS

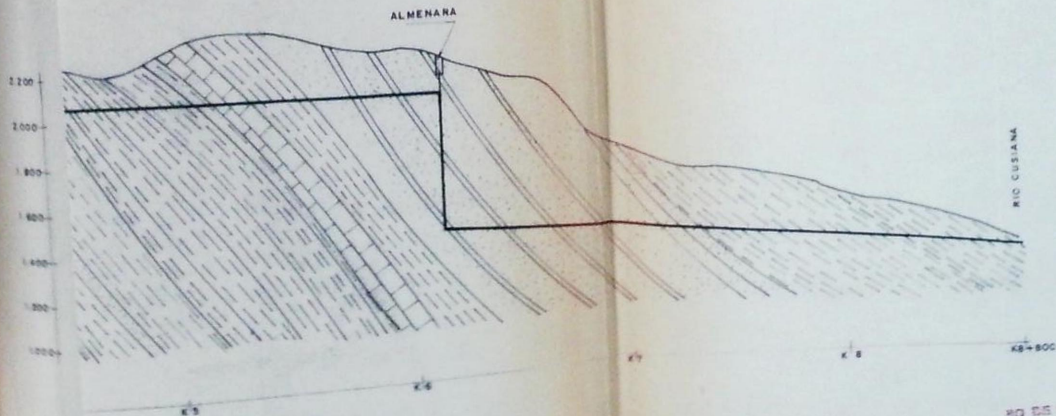
FORMACION LUTITAS DE MACANAL







NDO

Kios

Kilm



CONVENCIONES

-  Lutitas
-  Limolitos
-  Calizas
-  Areniscas

ICEL

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S A

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA MOVA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II

TITULO PROYECTOS VADO HONDO Y RANCHERIA

PERFIL GEOLOGICO

S OBEIC LTDA

FECHA AGOSTO/82 ARCHIVO

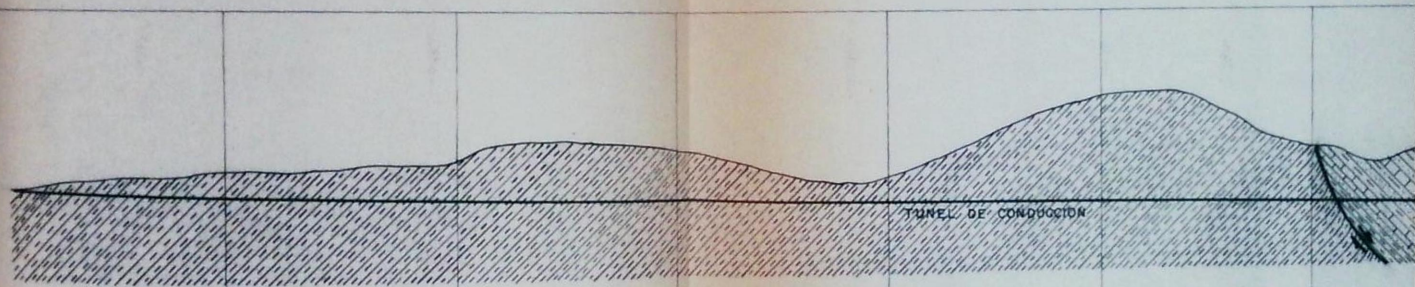
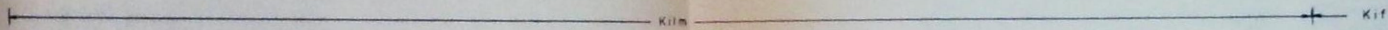
FIGURA 4-18

BO DE ENTIDAD Y...

BIBLIOTECA

RANCHERIA ESEE

LUTIT
AREN

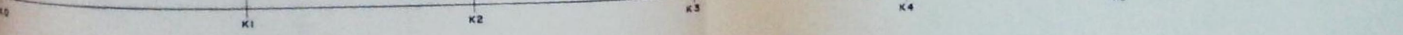


FORMACION LUTITAS DE MACANAL

TUNEL DE CONDUCCION

PO
FO

Q Guano



S LIMOLITAS
CAS MARGAS

CONGLOMERADOS
ARCILLOLITAS
LUTITAS
ARENISCAS

CONJUNTO
ARENOSO
CON LUTITAS
Y LIMOLITAS
SILICEAS

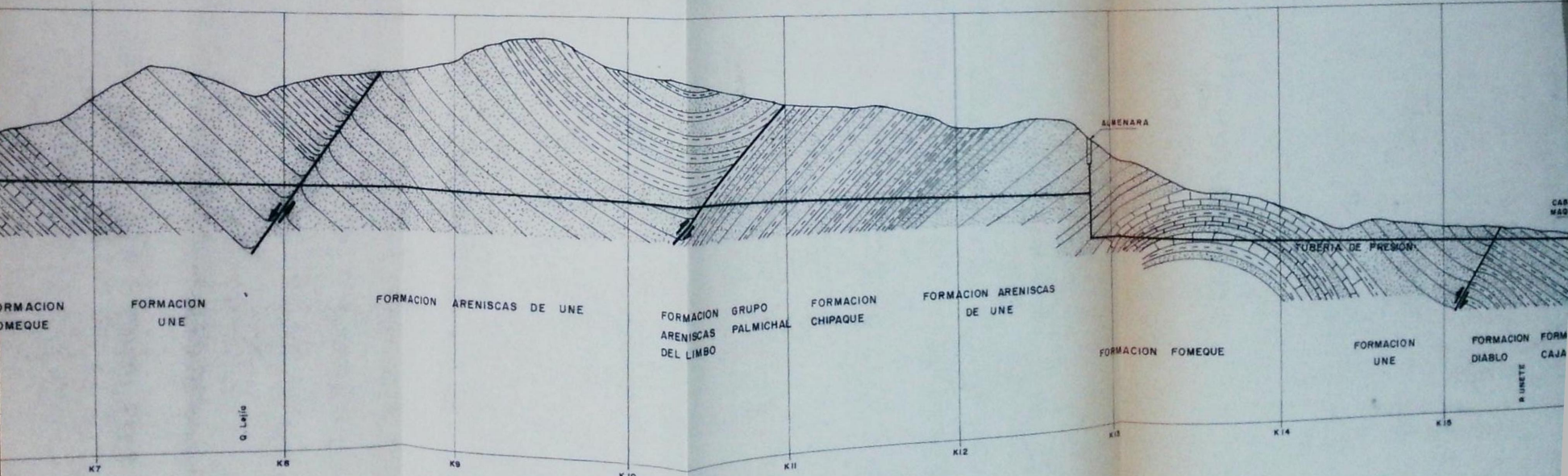
LUTITAS
LIMOLITAS
ARENISCAS
MARGAS

ARENISCAS
ARCILLOLITAS
LIMOLITAS
AREN

LUTITAS LIMOLITAS ARENISCAS MARGAS

ARENISCAS
ARCILLOLITAS
LIMOLITAS
AREN

Kiu Ksc Kiu Ksc Tkp Tar Tkp Ksc Kiu Kif Kiu Td



RIO CUSIANA - PROYECTO UNETE

Esc: 1:20.000





GEOMINIST

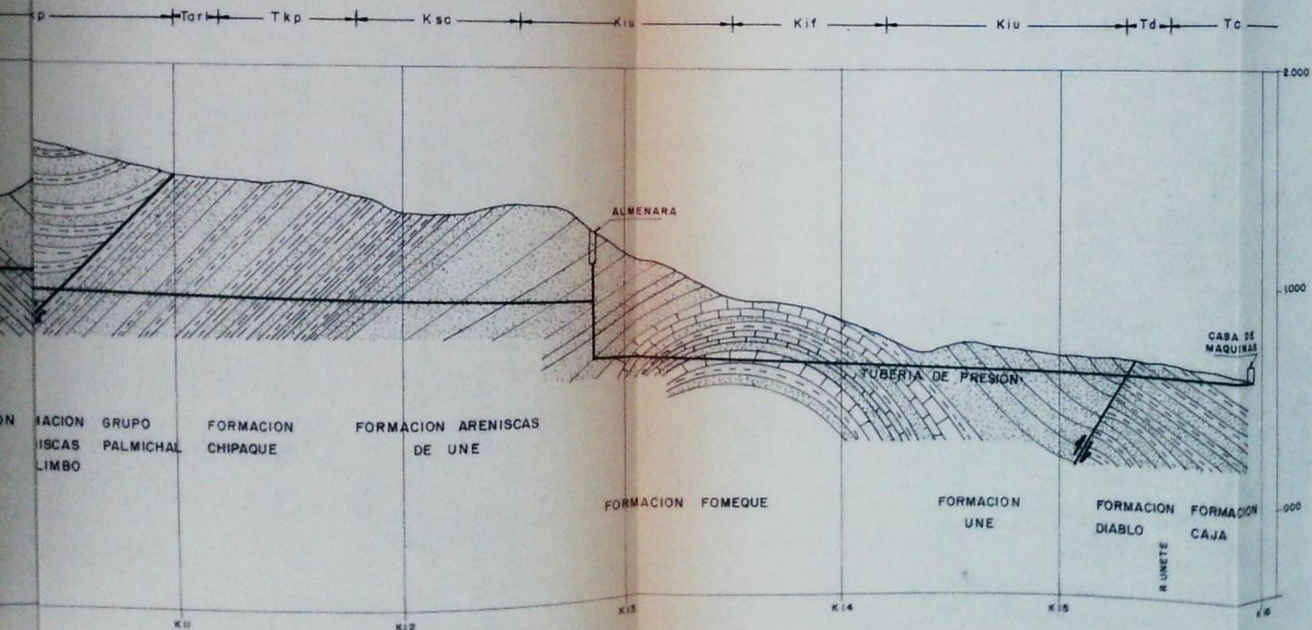
LITOMERADOS CONJUNTO LUTITAS
 ARGALOLITAS ARENOSO LIMOLITAS
 TAS CON LUTITAS ARENISCAS
 ISCAS Y LIMOLITAS
 SILICEAS

LUTITAS LIMOLITAS ARENISCAS MARGAS

ARENISCAS ARCILLOLITAS
 ARCILLOLITAS LIMOLITAS
 LIMOLITAS ARENISCAS

CONVENCIONES

-  Lutitas
-  Limolitas
-  Calizas
-  Areniscas



FORMACION GRUPO ISCAS PALMICHAL LIMBO
 FORMACION CHIPAQUE
 FORMACION ARENISCAS DE UNE

FORMACION FOMEQUE

FORMACION UNE

FORMACION DIABLO

R UNETE

FORMACION CAJA

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA MUJA DEL RIO USUQUA ETAPA A - FASE II

TITULO PROYECTO UNETE ESEE
 PERFIL GEOLOGICO

SOBECI SDA INGENIEROS CONSULTORES
 FECHA: 1970
 ASISTENTE: ARVINO

FIGURA 4-20

BOYACA Y SINCE

BIBLIOTECA

C A P I T U L O V

HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS

CAPITULO V

HIDROLOGIA Y SEDIMENTOS

INTRODUCCION

En este capítulo se describen de manera general las características de la cuenca del río Cusiana y se presentan de manera resumida las investigaciones hidrológicas realizadas para el estudio de su desarrollo hidrológico. En el Anexo B de éste Informe se presentan en detalle las informaciones relacionadas con este tema.

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende 5000 Km², aproximadamente, pertenecientes a la cuenca del río Cusiana y repartidos entre las cuencas del propio río Cusiana, el río Salinero, el río Unete, el río Charte y el río Chitame-na.

Se presentan altitudes variables entre 3.700 m.s.n.m., en cercanías del lago de Tota hasta 150 m.s.n.m., en los Llanos del Casanare.

El régimen de lluvias es dependiente de los vientos húmedos provenientes de los Llanos Orientales que transportan vapor de agua, el cual se precipita por orografía en la zona intermedia de la región considerada. La distribución de la lluvia a través del año se realiza en dos períodos húmedos (marzo-julio y septiembre-noviembre) con un período seco ---

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

BIBLIOTECA

(Diciembre-Febrero) y otro con disminución de lluvias (Agosto).

Las líneas de isoyetas medias varían desde la periferia al centro con valores desde 1500 en Las Cintas hasta 5500 en la región de Tauramena, siendo la lluvia media representativa de la cuenca de 3753mm (ver ítem 2.3 del Apéndice B), para todo el período considerado de 1959-1980.

La temperatura media varía desde 11. 2°C en el páramo hasta 27. 2°C en los Llanos del Casanare (Zona de Tauramena, Aguazul y Yopal).

La evaporación media anual evaluada en forma aproximada varía entre 630,3 mm en la zona de La Horqueta (zona alta) 898,8 mm en la región de Corinto y Pajarito hasta 1743,8 mm en Yopal y el Sural (ver ítem 2.2.1 del Apéndice B).

Las curvas de rendimiento de la esorrentía según el estudio del ESEE 2/, aumentan con las isoyetas hacia el centro en la región de Chámeza en donde se presenta el máximo y disminuyen hacia la periferia principalmente en la Zona Alta. El presente estudio identificó la misma tendencia con variaciones entre 117 l/s/Km² y 36 l/s/Km².

-
- 1/ Según el estudio : Interdiseños-Suelos y Fundaciones-Geocolombia Chas T Main International Inc., Desarrollo Hidroeléctrico de la Hoya del río La Miel, Informe de Hidrología, Etapa A, Bogotá : ICEL-CHEC, 1976 la dualidad en las épocas lluviosas en el centro de Colombia se explica por el movimiento del Frente Intertropical de Convergencia, desde los 5° lat. Sur en Enero hasta 12° 15' lat. Norte, en julio.
- 2/ ESEE, Inventario Recursos Hidroeléctricos Anexo 2, Hidrología, Región II Orinoquía-Catatumbo, Bogotá : ISA, 1979.

El pico máximo encontrado debe tomarse con cautela, y confirmarse con nuevos estudios.

El coeficiente promedio de correlación de escorrentía disminuye desde valores de 91% en el páramo, 63% en la región de Chámeza y 50% en la cuenca del río Charte. Hay incertidumbre sobre la representatividad de estos valores debido a la escasez de estaciones pluviométricas dentro de la cuenca (solamente las estaciones de Toquilla, Pajarito y Chámeza). Por esta razón los valores se tomaron sólo como factores de correlación con los caudales y no como representativos de la escorrentía.

La región presenta características torrenciales en el curso alto y medio de los ríos en donde la escorrentía es una respuesta inmediata a la lluvia.

El clima según la clasificación de Koeppen es (C) de montaña tropical por encima de los 1800 m.s.n.m., y (A) tropical lluvioso, en las zonas más bajas.

Se presentan las siguientes variedades 3/ :

- (H) bn, clima de alta montaña tropical, páramo, altura superior a 3.100 m.s.n.m., temperatura inferior a 10° C con ausencia de vegetación arbórea.
- (G) fn, clima húmedo de tierra fría y páramo bajo, 2500 a 3100 m.s.n.m., bosque de niebla.
- (G) W", clima húmedo de tierras templadas y frías, temperatura en

3/ (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Atlas de Colombia, 3ra. ed.)
Bogotá : Lito Arco, 1977, pág. 123.

tre 18° C y 12° C con lluvias zenitales, altitudes entre 1800 y 2800 m.s.n.m.

- Af, clima super húmedo de selva acuatorial con lluvias durante to do el año.

Las formaciones vegetales según Holdridge 4/ corresponde a :

- bmh-MB, bosque muy húmedo bajo.
- bht, bosque húmedo tropical (ver el ítem 2.1.3 del presente infor me).

INFORMACION Y RED HIDROMETEOROLOGICA EXISTENTE

5.3.1 Características Morfométricas 5/

De acuerdo con el estudio mencionado, las características morfométricas más importantes para transferencia de datos hidrológicos son las áreas y las elevaciones medias de las cuencas. A continuación se transcriben las anteriores características físicas hasta las estaciones hidrométricas estudiadas por el ESEE en el área de Pro yecto :

4/ IGAC, Atlas de Colombia, pág. 125

5/ ESEE, Invent, recursos hidro., Anexo No. 2, Hidrología, tomo No. 2, región II Orinoquía-Catatumbo, Bogotá : ISA, 1979, página 16 cuadro No. 1.

RIO	ESTACION	LATITUD	ALTITUD	COTA m.s. n.m.	AREA CUENCA Km2	ELEVACION MEDIA m.s.n.m.
Cusiana	La Horqueta	05° 31'	72° 47'	3.000	63	3.430
Cusiana	Vado Hondo	05° 30'	72° 46'	2.840	152	3.330
Unete	Los Esteros	05° 11'	72° 34'	400	236	910
Charte	Puente Charte	05° 16'	72° 28'	400	333	1.340

5.3.2 Pluviometría

En la zona existe una red de siete (7) estaciones pluviométricas dentro de las cuencas consideradas y de doce (12) estaciones periféricas a la región.

La ubicación de las estaciones se muestra en el plano "Localización de estaciones figura 0-3 Apéndice B, y su período de operación en la figura 0-4, Apéndice B".

Los pluviómetros son leídos diariamente y se tienen datos cada 24 horas. No existen pluviogramas y por tanto no hay datos de intensidad de lluvias, duración de aguaceros o lluvia efectiva. El Himat es la entidad gubernamental encargada de la operación de dichas estaciones.

5.3.3 Climatología

En la región existen dos (2) estaciones climatológicas localizadas en la zona plana, en el Llano. Se realizan mediciones de nubosidad, evaporación, viento, precipitación, temperaturas, humedad

relativa, tensión de vapor y punto de rocío.

Periféricas a la cuenca existen tres (3) estaciones localizadas en la zona alta y en la zona baja. Realizan igualmente las mismas observaciones que las anteriores.

La conservación y operación de dichas estaciones es realizada por el Himat.

La ubicación se halla en la figura 0-3 Apéndice B " Localización de Estaciones " y su período de operación en la figura 0-5, Apéndice B.

5.3.4 Hidrometría

Existen seis (6) estaciones hidrométricas operadas por el Himat y consistentes en sección calibrada y limnógrafo.

Se tienen registros diarios de niveles medios, curvas de calibración de las secciones y aforos realizados en diferentes épocas.

Sodeic Ltda instaló nueve (9) estaciones hidrométricas consistentes en limnómetro, maxímetro, sección de aforos y curva de calibración (ver el ítem 2.4.9, la figura 0-3 y el plano correspondiente, Apéndice B).

Se realizaron aforos en las estaciones hidrométricas del Himat y en algunas quebradas menores.

5.3.5 Sedimentos

No existe dentro del área de estudio ni fuera de ella en región

periférica, información alguna sobre arrastre o transporte de sedimentos tanto de fondo como en suspensión.

CAUDALES MEDIOS

Sobre el río Charte se establecieron correlaciones a nivel mensual por el método de los mínimos cuadrados. El sistema se realizó por medio de computador y los resultados se hallan en el Adendo No. 2 del Apéndice B. La serie extrapolada fué el período 1959-1980 coincidente con la serie ajustada de lluvias.

En las figuras 2-36 a 2-39 del apéndice B, se transcriben en tabla los valores obtenidos.

5.4.1 Estimación de Caudales en los sitios de Desarrollos Hidroeléctricos.

Con el objeto de establecer histogramas en los quince (15) sitios de desarrollos hidroeléctricos definidos, se hacen transferencias hídricas utilizando como parámetros las series de caudales existentes, las lluvias anuales representativas de cada desarrollo (véase el Adendo No. 1 del Apéndice B y las características morfológicas resumidas en las figuras 2-1 a 2-10 datos físicos, del Apéndice B.)

Para los cálculos se utiliza el método Heras mencionado en su libro Métodos Prácticos para el Estudio Hidrológico completo de una Cuenca y se confirma por medio de balances hídricos. Los histogramas base son los registros a nivel mensual en las estaciones de la Horqueta / Puente Las Cañas y Vado Hondo sobre el río Cusiana para la zona alta y las estaciones de los Esteros sobre el río Unete y Puente Charte sobre el río Charte pa

ra la zona baja.

Se obtuvieron los siguientes caudales medios :

Sitio	Area (Km ²)	Rendimiento (l/s/Km ²)	Qm (m ³ /s)
Toquilla	200	36.8	7.4
Alisal	207	36.6	7.6
Estación Vado Hondo	215	36.8	7.9
Vado Hondo	231	36.3	8.4
Guspaquirá	265	35.8	9.5
Ranchería	294	37.8	11.1
Candelas	312	41.0	12.80
Candelas (con quebradas)	371	40.8	15.2
Sabanalarga	372	40.8	15.2
Sabanalarga (con quebradas).	442	44.3	19.6
Corinto (ELC)	304	37.9	11.5
Corinto (SODEIC)	372	34.4	12.8
Cónguta	400	42.7	18.8
Pajarito	400	42.7	17.1
Unete	400	42.7	17.1
Chámeza	234	89.3	20.9
Bocas del Salinero	1017	83.8	85.2

CAUDALES MINIMOS

Se calcularon los caudales mínimos en los desarrollos hidroeléctricos uti

lizando el método comparativo mencionado por Ven Te Chow 6/, al carecer de series históricas de caudales en época de sequía : El caudal mínimo es proporcional al área de la cuenca, elevada al exponente 1,25. ($Q_{min.} = KA^{1.25}$).

Con base en las series de caudales en las Estaciones Hidrométricas de Vado Hondo, La Horqueta / Las Cintas y Los Esteros se obtiene como factor de proporcionalidad promedio $K = 0.52$.

Los cálculos se hallan en la figura 2-86 Apéndice B y un resumen de los caudales mínimos para los desarrollos hidroeléctricos estudiados es el siguiente :

<u>Desarrollo</u>	<u>Caudal Mínimo (m³/s)</u>
Toquilla	0.4
Guspaquirá	0.6
Ranchería	0.6
Salto Candelas	0.7
Sabanalarga	0.1
Chámeza	0,5
Bocas del Salinero	1.9

CAUDALES DE CRECIENTES PARA DISEÑO DE VERTEDEROS Y DESVIACIONES

Mediante el método de la precipitación máxima probable y del hidrógrafo

6/ Consultar el libro de Ven Te Chow, Handbook of Applied Hydrology,

USA : Mac Graw Hill, 1964, pág. 18-10.

unitario sintético, se obtuvieron los caudales que se muestran en la figura 5.1.

TRANSITO DE CRECIENTES PARA DISEÑO DE VERTEDEROS DE EXCESOS

En los embalses de Toquilla, Chámeza y Bocas del Salinero, los hidrogrmas afluentes correspondientes a la frecuencia de 10.000 años fueron de terminados en el Estudio Hidrológico. Se explica aquí, de manera general, el procedimiento seguido para transitar los hidrogramas por los embalses, debido a que en los tres casos se utilizó la misma metodología.

Para los tres embalses se proyectaron estructuras de vertimiento compuestas por vertederos tipo standard, controlados por compuertas radiales.

La ecuación del caudal, en este caso, resulta :

$$Q = 3.1 b L (H - b/2)^{0.5} \quad \text{para } b \text{ menor que } 0.75 H$$

$$Q = 2.0 L H^{1.5} \quad \text{para } b \text{ mayor o igual a } 0.75 H$$

donde :

Q = caudal por el vertedero, en m³/s.

b = abertura de la compuerta, en m

L = longitud útil del vertedero, en m

H = carga sobre el vertedero, en m

El nivel máximo ordinario (NAMO) se estableció en 5.00 metros por encima de la cresta del vertedero, de tal manera que las compuertas permanecen cerradas mientras el nivel del embalse no sobrepase el NAMO. Una vez comience a sobrepasarlo, se van abriendo las compuertas según la Ley de Operación que en el presente caso responde a la ecuación :

$$b = 10 (H - 5.00)$$

Se trataron otras Leyes de Operación con resultados similares, de manera que, para efectos comparativos, una Ley de este tipo es apropiada. En etapas más avanzadas del Estudio deberá refinarse la Ley a utilizar. Conocidos, entonces, los caudales de entrada y la ecuación de salida, se utilizó un programa de computador elaborado por los consultores en el cual se trata numéricamente la ecuación de continuidad para intervalos cortos, para calcular los caudales sobre el vertedero cada 30 minutos.

La ecuación de continuidad se transformó para obtener la siguiente forma :

$$(S_1 - Q_1 t/2) + (i_1 + i_2) t/2 = (S_2 + Q_2 t/2)$$

donde :

S = volúmen almacenado por encima de un nivel arbitrario

Q = caudal por el vertedero

t = intervalo de tránsito

i = caudal afluente

Los subíndices 1 y 2 se refieren a los estados inicial y final en el intervalo de tránsito.

En cada intervalo, los términos de la izquierda de la ecuación son conocidos, y el programa procede a calcular los términos de la derecha. El procedimiento es iterativo.

Los listados de computador que se adjuntan presentan los datos utilizados y los resultados obtenidos.

Los resúmenes de esos resultados son :

Embalse	L	$i_{m\acute{a}x}$	$Q_{m\acute{a}x}$	% atenuaci3n
Toquilla	30	1000	559	44
Alisal	30	1050	574	45
Vado Hondo	30	1100	813	26
Chámeza	40	2000	1344	33
Bocas Salinero	70	3748	3585	4

L = longitud 3til del vertedero (m)

$i_{m\acute{a}x}$ = caudal pico de entrada (m^3/s)

$Q_{m\acute{a}x}$ = caudal piso sobre el vertedero (m^3/s)

% atenuaci3n = relaci3n entre la diferencia de caudales pico de entrada y salida y el caudal de entrada.

5.8

SEDIMENTOS

En esta etapa del proyecto se estim3 la carga de sedimentos en suspensi3n para los r3os Cusiana y Salinero, relacionando el potencial de erosi3n h3drica de cada cuenca con las caracter3sticas fisiogr3ficas y de cobertura vegetal, y con la precipitaci3n media anual. Los valores obtenidos se ajustaron luego, de acuerdo con los resultados de mediciones hechas en r3os colombianos, seg3n procedimientos adoptados com3nmente en esta clase de estudios. No se utilizaron los resultados de mediciones directas de concentraciones en los r3os Cusiana y Salinero porque estos datos representan valores puntuales que resultan insuficientes en este momento; me-

CRECIENTES MAXIMAS

DESARROLLO	AREA Km ²	FRECUENCIA	CAUDAL Mts ³ /s
BOQUILLA	200	CMP	1.183
		25 AÑOS	350
ALISAL		CMP	1.183
		25 AÑOS	350
MADO HONDO ESTACION	215	CMP	1.183
		25 AÑOS	350
MADO HONDO PROYECTO	231	CMP	1.183
		25 AÑOS	350
SUSPAQUIRA	265.2	CMP	1.183
		25 AÑOS	350
RANCHERIA	294.3	CMP	1334
		25 AÑOS	395
SALTO CANDELAS	306	CMP	1334
		25 AÑOS	395
CONGUTA	400	CMP	1700
		25 AÑOS	516
BOCAS DEL SALINERO	1016,8	CMP	3.750
		25 AÑOS	860
SABANA LARGA	74.3	CMP	233
		25 AÑOS	69
PRESA CHARTE	350	CMP	840
		25 AÑOS	250
CAMEZA	234	CMP	2.000
		25 AÑOS	460

CMP: Creciente Máxima Probable

dante la ejecución de un programa intenso de campo se podrá, en una etapa posterior, comprobar los resultados obtenidos.

Los sitios de interés para el cálculo de volúmen muerto por captación de sedimentos son, básicamente, los embalses de Toquilla, Alisal, Vado Hondo, Chámeza y Bocas del Salinero. Por tratarse de embalses excluyentes, localizados muy cerca uno de otro, y tener capacidades similares, los embalses de Toquilla, Alisal y Vado Hondo se tratarán, para éste propósito, con el mismo comportamiento.

La capacidad de un embalse para captar sedimentos depende de las relaciones entre los caudales de entrada y salida, y el volúmen total de embalse. Teniendo en cuenta este criterio, se ha estimado en 50% la capacidad de atrapamiento del embalse Toquilla, y en 80% de los embalses de Chámeza y Bocas del Salinero; como medida conservativa, sin embargo, estos porcentajes se han utilizado solamente para el cálculo de la carga de sedimentos aguas abajo de los embalses; para calcular el embalse muerto, se ha tomando un porcentaje del 100%.

En las captaciones a filo de agua, auncuando habrá evidentemente colmatación hasta la altura de la presa de derivación, y un cambio en la pendiente del río, aguas arriba de las captaciones, se ha estimado que los volúmenes de sedimento depositado no son importantes para que afecten los valores de carga de sedimentos aguas abajo de las mismas; entre otras cosas, la operación de las compuertas de limpia será, en últimas, la causa que regule la cantidad de sedimentos que pasen.

En todos los casos, la carga de sedimentos se estimó como un 20% de la

carga en suspensión.

Las suposiciones hechas podrán ser revisadas en una etapa posterior, pero no se espera que se presenten cambios importantes en los volúmenes calculados.

A continuación aparecen los volúmenes calculados en cada uno de los sitios de embalse para períodos de 50 años :

Sitio	Volúmen muerto (m ³)
Vado Hondo, Alisal y Toquilla	2.200.000
Chámeza	4'850.000
Bocas del Salinero, sin embalses aguas arriba	17'000.000
Bocas del Salinero con embalse en Toquilla, Vado Hondo o Alisal	16'000.000
Bocas del Salinero con embalse en <u>Toquilla</u> y Chámeza	12'000.000

CAPITULO VI

ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA

CAPITULO VI

ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA

INTRODUCCION

En éste capítulo se describen los estudios realizados para determinar las capacidades instaladas y la producción de energía de los proyectos que integran las alternativas de desarrollo hidroeléctrico analizados. Los estudios se verificaron en la hipótesis de que los desarrollos y proyectos operarán de manera aislada y considerando un factor de planta asimilable a un factor de carga de 0.5. Para la alternativa más atractiva se realizaron estimativos adicionales para factores de planta de 0.4 y 0.6, con el fin de evaluar la influencia de dicho factor en las producciones y costos de los distintos proyectos de los desarrollos.

DEFINICION DE TERMINOS

Energía Firme (Ef): Es la energía producida cada año (sin ningún déficit), a una tasa mensual uniforme. Puede expresarse mediante la siguiente relación :

$$E_f = H_2 Q T g n$$

Donde =

$$H_2 = \text{Caída neta promedio (m)}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad (m/s}^2\text{)}$$

- Q = Suministro uniforme de agua (m^3/s)
 T = Número de horas en un año (8760)
 n = Eficiencia total de la planta (0.90)

Potencia Continua (P_c) : Es la capacidad constante que podría suministrarse continuamente (factor de planta igual a 1); corresponde exactamente a la energía firme dividida por las horas del año.

Potencia Garantizada (P_g) : Es la capacidad garantizada siempre por la planta en cualquier tiempo y bajo cualquier condición de nivel de embalse; corresponde a la relación $P_c/F.P.$

F.P. == Factor de Planta

Potencia Instalada (P_i) : Es la capacidad garantizada más una reserva del 18%.

CRITERIOS Y METODOLOGIA PARA LOS ESTUDIOS

6.3.1 Formación de las series de caudales mensuales para Estudios de Potencia y Energía.

Tomando como base los resultados hidrológicos obtenidos durante el desarrollo del proyecto, se conformaron las series de caudales mensuales para estudios de potencia y energía en los diferentes sitios de aprovechamiento, de acuerdo con las siguientes consideraciones :

1. Las series reconstruidas con base en relaciones lluvia-caudal no dan suficiente garantía para determinar los parámetros de

la población de datos, con miras a generar series sintéticas de período largo. Esto se debe a que los registros de lluvia no cubren aceptablemente el área del proyecto. Como se observa en las tablas de datos, los registros son cortos e incompletos, y cubren principalmente la parte alta de la cuenca.

2. Se tomaron como básicas las estaciones hidrométricas de La Horqueta y Vado Hondo sobre el río Cusiana. En estas estaciones existen registros de caudales diarios en el período 1974-1980, con algunas deficiencias.

Los valores faltantes para completar series de caudales mensuales en las 2 estaciones para el período 1974-1980, se determinaron mediante relaciones Caudal-Caudal establecidas con los datos existentes.

3. A partir de la serie histórica, ajustada, de la estación Vado Hondo en el período 1974-1980, se generaron series para el mismo período en los demás sitios de proyecto localizados a lo largo del río Cusiana. La generación se hizo teniendo en cuenta tanto la relación entre áreas como las curvas isoyetas refinadas y las curvas de rendimiento establecidas en los estudios hidrológicos. Se obtuvieron así series de 7 años de caudales mensuales en las captaciones de Guspaquirá, Ranchería, Candelas y Bocas del Salinero.
4. En la serie de caudales mensuales reconstruida en los estudios hidrológicos para los sitios de aprovechamiento sobre el río Salinero, solamente los valores del período 1975-1980 pre

sentan relativa confianza para ser utilizados en los estudios de potencia y energía. Se descartaron los valores de 1974 porque la información de ese año es incompleta.

5. En resumen, se cuenta con series de caudales mensuales para el período 1975-1980 en todos los sitios de proyecto del sistema. Estas series no pudieron ser extendidas a pesar de intentar hacerlo con regresiones lluvia-caudal. Uno de los hechos que invalida estas relaciones lluvia-caudal se presenta en la cuenca del río Cusiana hasta Toquilla, donde el caudal medio resulta mayor a nivel anual que la lluvia total calculada en esa cuenca; esto se debe a uno de los siguientes factores : a las estaciones de lluvia no están adecuadamente repartidas sobre la cuenca y por tanto no son representativas, o existen aportes de cuencas vecinas.
6. Considerando la limitación que para estudios de operación de embalses presenta la información disponible, se procedió a formar series adicionales tomando como base la serie de caudales medios anuales del período 1974-1980 en Vado Hondo, mediante la aplicación del método Montecarlo para generar 20 series de 7 años cada una con secuencia diferente a la de la serie histórica. Los valores obtenidos sirvieron para estimar series correspondientes en los demás sitios del proyecto. En Chámeza se utilizaron solamente 6 años, del período 1975-1980.

6.3.2 Determinación de Embalse útil y Caudal Regulado en los Embalses de Toquilla, Alisal, Vado Hondo, Chámeza y Bocas del Salinero.

1. Embalse de Toquilla

Este embalse se ha proyectado como un embalse de regulación. La determinación del embalse útil requerido para diferentes porcentajes de regulación se hizo aplicando la curva residual de masas a cada una de las 20 series de caudales mensuales generales por el método Montecarlo.

El procedimiento se sistematizó mediante la elaboración de un programa de computador el cual calcula para cada serie de caudales mensuales los volúmenes útiles de embalse con porcentajes de regulación que van del 50% al 100%.

Se tienen, entonces resultados para cada porcentaje de regulación. Por ejemplo para regulación al 96% del caudal medio en Toquilla, los volúmenes útiles de embalse requerido resultan :

Serie No.	Embalse requerido MMC	Serie No.	Embalse requerido MMC
1	88.71	5	97.11
2	100.69	6	95.74
3	101.81	7	101.94
4	101.33	8	106.66

2. Embalse de Alisal

El embalse es de las mismas características del de Toquilla y se estudia como alternativa. Con el mismo procedimiento utilizado para Toquilla, o sea, generando 20 series de 7 años c/u se obtuvieron los siguientes valores para regulación del 96%.

- Volúmen útil promedio : 107.3 Mm³
- Desviación Standard : 11.3 Mm³
- Volúmen útil de diseño: 118.6 Mm³

3. Embalse de Vado Hondo

Está proyectado como alternativa de las dos anteriores y tiene características similares.

También se analizó con 20 series generadas a partir de la serie histórica, y se obtuvieron los siguientes resultados para una regulación del 96%.

- Volúmen útil promedio : 118.8 Mm³
- Desviación Standard : 12.4 Mm³
- Volúmen útil de diseño: 131.2 Mm³

4. Embalse de Chámeza

Este embalse se proyectó para producción de energía. La relación capacidad contra producción según se calculó utilizando 20 series de 6 años generados a partir de la serie histórica del período 1975-1980, mediante aplicación del método Montecarlo, utilizando la misma secuencia

que para el embalse Toquilla. Las 20 series se analizaron con la curva de masas para regulaciones entre 60% y 100% de acuerdo con las limitaciones dadas por la altura de presa disponible. Se encontró que el porcentaje de regulación apropiado es del 80% del caudal medio. Para esta regulación se obtuvieron los siguientes resultados,:

- Volúmen útil promedio : 181.06
- Desviación Standard : 16.24
- Volúmen útil de diseño : 197.3 Mm³

5. Embalse de Bocas del Salinero

Los caudales mensuales que llegan al embalse están compuestos de los caudales regulados en los embalses de Toquilla y de Chámeza más los vertimientos de los 2 embalses más los caudales intermedios que se generan aguas-abajo de los embalses. Con este criterio se determinaron 20 series de 6 años cada una, los cuáles se trabajaron en forma homogénea en los embalses de Toquilla y Chámeza para generar las series de caudales de entrada al embalse de Bocas del Salinero. Utilizando el método de la Curva de masas se determinaron los caudales regulados que salen del embalse Bocas del Salinero para diferentes porcentajes de regulación en relación con los caudales de entrada. Con la limitación dada por la altura disponible en el embalse se obtuvo un porcentaje de regulación del 60%, con los siguientes resultados :

a) Considerando el desvío del Río Cusiana al Río Charte

- Volúmen útil promedio : 231 Mm³
- Desviación Standard : 5
- Volúmen útil de diseño : 236 Mm³

b) Sin desvío

- Volúmen útil promedio : 224 Mm³
- Desviación Standard : 5.2
- Volúmen útil del diseño : 229.2

MODELO MATEMATICO DE SIMULACION PARA ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA

Para la evaluación de energía firme y secundaria en los diferentes desarrollos proyectados en la cuenca del río Cusiana, se elaboró un programa de computador que utiliza los resultados obtenidos con el modelo de regulación de embalses.

El modelo de simulación considera la cuenca como un sistema en el cual el funcionamiento de uno de sus componentes afecta a los demás. Se tomó el mes como unidad de tiempo en vista de que se consideró apropiado para la magnitud de las cantidades involucradas en los desarrollos.

El modelo funciona así :

1. Se generan series homólogas de caudales mensuales a la entrada de los embalses de Toquilla y Chámeza, respectivamente. Aun cuando se seguirá hablando de Toquilla como el embalse situado en la parte alta de la cuenca del río Cusiana. la operación del modelo es flexible para reemplazar a Toquilla por Alisal o Vado Hondo, en vista de que éstos

tres embalses son excluyentes y están localizados muy cerca uno de otro.

Las series se generan a partir de los registros históricos, adaptados, en Vado Hondo y Chámeza, según procedimientos ya explicados. La serie histórica básica y homogénea cubre el período 1975-1980.

2. Los embalses se consideran llenos al comienzo de la operación; esta situación es aproximada a la realidad porque generalmente se espera, de acuerdo con el régimen de lluvias en la región, que los embalses están a su máximo nivel a fines de Noviembre. La operación del modelo se hace para años continuos de modo que el primer mes de operación es enero.

3. Los datos que deben darse como información inicial al modelo son :

3.1 En los sitios de generación con embalse :

- curva elevación - área - capacidad del embalse
- cota de generación. Nivel de fuga
- Longitud, diámetro y clase de la tubería de carga

3.2 En los sitios de generación a filo de agua

- Nivel de captación
- Cota de generación. Nivel de fuga
- Longitud, diámetro y clase de la tubería de carga

3.3 En Casas de Máquinas

- Tipo de turbinas
- Eficiencias

Estos valores ya están definidos antes de utilizar el modelo; sinem-

bargo, el programa permite que se cambie total o parcialmente la información inicial.

4. Las variables de estado requieren la siguiente información inicial solamente en los desarrollos con embalses.
 - NAMO = Nivel de aguas máximas ordinario
 - Nmín.= Nivel mínimo de operación
 - Nsed.= Nivel mínimo por sedimentación
 - Zo = Nivel inicial
5. La generación de caudales mensuales aguas abajo de cada captación está definida en el Modelo Hidráulico de Embalses y se utiliza en el Modelo de Generación en la misma forma.
6. Mes a mes los caudales de la serie adoptada se van transitando por los embalses y por los sitios de generación hasta obtener los resultados que se presentan en el listado que se adjunta en anexo correspondiente. El programa calcula niveles en los embalses al comienzo y al final de cada mes, energía media generada cada mes en cada sitio de desarrollo como energía firme y energía secundaria.
7. En los desarrollos con embalse la energía firme se calcula como la producida por el caudal regulado y la cabeza neta en el período de operación.
8. Los análisis de las curvas de duración mensual en los sitios de aprovechamiento indican que el 10% del caudal intermedio generado entre 2 aprovechamientos tiene una probabilidad del 95% de ser superado. Por esta razón, el caudal firme en cualquier desarrollo se calculó como -

el caudal firme obtenido en el proyecto situado inmediatamente aguas arriba más el 10% del caudal generado por la cuenca entre los dos desarrollos.

En los embalses a filo de agua la energía firme se calcula como la producida por el caudal firme, ya explicado, y la cabeza bruta constante, afectada por un factor de pérdidas.

9. La producción de energía secundaria está limitada por el factor de planta en el caso de desarrollos aislados, y por el factor de planta y los caudales intermedios en caso de desarrollos en serie, como ocurre en el proyecto del río Cusiana.

En este caso, el modelo limita la energía secundaria en los proyectos a filo de agua, utilizando como caudal de diseño el caudal de diseño del desarrollo inmediatamente aguas arriba incrementado con un porcentaje del caudal medio que se genera entre los dos proyectos. Es práctica común utilizar un porcentaje del 110%.

En los desarrollos con almacenamiento, el limitante de la energía secundaria es el factor de planta.

El modelo está diseñado para operar diferentes factores de planta.

PROYECTO	NIVEL EMBALSE (m)		NIVEL MEDIO (m)		CAIDA NETA NOMINAL (m)	VOL UTIL EMBALSE 10^6 m^3	ENERGIA (Gwh/año)		POTENCIA (Mw) P.P.O.D	
	MAX.	MIN.	CAPTACION	CASA DE MAQUINAS			FIRME (PRIMARIA)	SECUNDARIA	INSTALABLE	GARANTIZADA
PRESA EN TOQUILLA	2962	2935	-	-	-	115.0	-	-	-	-
PRESA EN ALISAL	2956	2893	-	-	-	118.6	-	-	-	-
GUSPAQUIRA 2720/2170	-	-	2720	2170	496.6	-	312.5	74.1	73.4	71.4
RANCHERIA 2165/1565	-	-	2165	1565	577.6	-	353.2	147.0	94.6	80.6
CANDELAS 1560/1100	-	-	1560	1100	416.9	-	284.9	214.7	84.5	65.0
SABANALARGA 1095/475	-	-	1095	475	588.4	-	406.3	426.4	144.2	92.8
CORINTO 1560/1100	-	-	1560	1100	435.5	-	276.6	157.2	88.3	63.2
PAJARITO 1095/660	-	-	1095	660	375.5	-	273.8	221.5	83.1	62.5
CHAMEZA 1004/660	1004	894	892	660	317.4	197.3	413.0	61.3	96.1	94.3
BOCAS SALINERO CON DESVIO	655	561	558	475	170.7	236.1	557.3	208.5	133.9	127.2
BOCAS SALINERO SIN DESVIO	654	562	559	475	169.7	229.3	654.9	256.8	157.2	149.5
VADO HONDO (ESEE)	2942	2851	2850	2200	682.4	131.0	444.0	19.1	103.9	101.4
RANCHERIA (ESSE)	-	-	2200	1225	900.8	-	619.7	185.5	152.3	141.5
UNETE (ESEE)	-	-	1225	600	541.5	-	425.2	302.4	122.7	97.1
PAJARITO (ESEE)	-	-	1125	700	386.8	-	293.6	223.3	94.5	67.0
RECETOR (ESSE)	660	561	560	450	200.3	-	657.2	309.1	164.0	150.0

ICEL	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II		SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES	
	ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	TITULO:	DATOS BASICOS DE LOS PROYECTOS		FECHA:
					TABLA
					6-1

CAPITULO VII

ESTIMATIVO DE COSTOS

CAPITULO VII

ESTIMATIVO DE COSTOS

7.1 INTRODUCCION

A continuación se resume el método empleado para determinar los precios unitarios y se presentan los costos de los proyectos estudiados. En el anexo D se presenta el presupuesto resumido de cada proyecto.

7.2 PRECIOS UNITARIOS

Se realizó una comparación de precios unitarios de diferentes proyectos del país en diferentes fases de desarrollo. Se tuvieron también en cuenta las experiencias obtenidas en otros países del mundo.

Los precios así determinados fueron ajustados para reunir en pocos ítems todo el trabajo de la construcción y fueron escalados con el fin de que reflejaran las condiciones del segundo semestre de 1982.

7.3 CANTIDADES

Las cantidades de obra fueron medidas en cada uno de los proyectos con base en los esquemas elaborados.

El dimensionamiento de los equipos electro-mecánicos se basó fundamentalmente en la capacidad de cada una de las turbinas y la cabeza de operación; luego se determinaron las áreas requeridas para la obra civil

de la casa de máquinas y para el patio de conexiones.

1.4 PRESUPUESTOS

En el presupuesto de cada esquema se incluyó una partida para imprevistos con el fin de tener en cuenta cualquier omisión o aproximación en las cantidades de obra y costos.

El porcentaje de imprevistos que se tomó fué de un 20%, sobre el total del costo directo.

Además para tener en cuenta el costo de la administración y la ingeniería, la cual incluye los diseños definitivos de los esquemas, se ha considerado en un 10% adicional sobre el costo directo total.

Para la estimación de los costos de los equipos electromecánicos se consideró un 12% del precio FOB., para el costo del transporte marítimo y terrestre; para el montaje y supervisión se tomó un 12% del precio FOB. En cuanto a los imprevistos se consideró un 10% del precio FOB de los equipos.

1.5 COSTOS DE LOS PROYECTOS

En la tabla No.7-1 se presentan los estimativos totales para cada uno de los proyectos que conforman las alternativas estudiadas.

En el apéndice D se presentan todos los estimativos para los distintos proyectos de manera detallada.

COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS

En la tabla No. 8-1 se presentan los costos globales de cada una de las alternativas consideradas para el desarrollo hidroeléctrico del río Cusiana.

PROYECTO

RIO

CAIDA
BRUTA
(m)CAUDAL
MEDIO
m³/sALTURA
PRESA
mENERGIA
FIRME
Gwh/añoPOTENCIA
INSTALADA
MwCOSTO
TOTAL
miles U.S.

CASCADA CUSIANA - CHARTE

PRESA ALISAL

54.743

Guapaquirá	Cusiana	550	9.5	5	312.5	73.4	37.472
Ranchería	Cusiana	600	11.1	5	353.2	94.6	40.805
Candelas	Cusiana	460	15.2	5	284.9	84.5	70.190
Sabanalarga	Charte	620	19.6	10	406.3	144.2	65.030

CASCADA SALINERO - CUSIANA

Chámeza	Salinero	344	20.9	166	413.0	96.1	183.771
Bocas del Salinero (con desvío)	Cusiana	180	72.3	153	557.3	133.9	180.653

CASCADA MEDIA DEL CUSIANA

Carinto	Cusiana	460	15.2	5	276.6	88.3	55.739
Pajarito	Cusiana	435	17.1	5	273.8	83.1	73.647
Bocas del Salinero (sin desvío)	Cusiana	179	85.4	152	654.9	157.2	191.107

PROYECTOS DEL ESEE

Vado Hondo	Cusiana	742	8.4	130	444.0	103.9	167.574
Ranchería	Cusiana	975	11.1	22	619.7	152.3	87.784
Urele	Cusiana	625	17.1	22	425.2	122.7	100.919
Pajarito	Cusiana	425	18.8	22	293.6	94.5	99.276
Recator	Cusiana	210	85.4	158	657.2	164.0	245.047

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO
DE ENERGIA ELECTRICAAPROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA
ETAPA A - FASE IISODEIC LTDA.
INGENIEROS CONSULTORES

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

TITULO:

COSTOS DE PROYECTOS

FECHA:

TABLA:

7 - 1

CUADRO D - 2

RESUMEN DE PRESUPUESTOS (MILES U.S.\$)

PRECIOS PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DE 1982

ITEM	TOQUILLA	ALISAL	VADO HONDO	CHAMEZA	BOCAS DEL SALINERO CON DESVIO	BOCAS DEL SALINERO SIN DESVIO	RECETOR ESEE	VADO HONDO ESEE
1. Adquisición de tierras	670	734	432	120	197	197	216	439
2. Vías de acceso y campamentos	1700	1980	2330	6950	4520	4520	5000	2970
3. Obras de desviación	4108	4652	5585	8209	16.647	19.643	21.424	5585
4. Presa	19.109	28.587	58.105	87.065	65.161	65.161	77.654	58.105
5. Vertedero	2409	3907	5458	7572	15.326	16.856	17.999	5458
6. Conducciones	970	865	1445	15.571	13.176	12.693	36.337	34.217
7. Casa de Máquinas				1012	2158	3299	3449	2100
8. Equipos mecánicos	804	815	852	5629	8719	10.197	10.729	5987
9. Equipos Eléctricos				5432	9356	10.863	11.309	10.337
10. Subestación				2817	3387	3387	3667	3395
TOTAL COSTO DIEC TO	29.770	41.540	74.207	140.377	139.647	146.816	187.784	128.593
Imprevistos Obra Civil. (20%)	5793	8145	14.670	25.300	23.437	24.474	32.416	21.775
Imprevistos Equipos Electromecánicos (10%)	80	81	85	1380	2146	2444	2570	1972
Ingeniería y Admi- nistración (10%)	3564	4977	8096	16.706	16.423	17.373	22.277	15.234
COSTO TOTAL	39.207	54.743	97.858	183.771	180.653	191.107	245.047	167.574

CUADRO D - 2

RESUMEN DE PRESUPUESTOS (MILES U.S.\$)

PRECIOS PARA EL SEGUNDO SEMESTRE DE 1982

ITEM	GUSPAQUIRA	RANCHERIA	CANDELAS	SABANALARGA	UNETE	CORINTO	PAJARITO	RANCHERIA ESEE	PAJARITO ESEE
1. Adquisición de tierras	7	8	500	15	10	10	10	8	20
2. Vías de acceso y campamentos	1320	1320	5180	3100	5200	2140	2460	1640	5360
3. Presa de derivación	1178	1163	3994	2406	3921	3992	1336	3562	3918
4. Conducciones y obras anexas	10.700	11.118	24.969	18.849	44.863	17.176	33.760	35.268	48.605
5. Casa de máquinas	1962	1796	2929	2167	2167	2352	2011	2175	1802
6. Equipos mecánicos	3649	4704	4257	7207	6160	4511	4245	7517	4700
7. Equipos eléctricos	7587	8827	9276	13.500	12.301	10.124	10.008	14.664	8827
8. Subestación	3187	3387	3487	4087	3677	3427	3437	3817	3387
TOTAL COSTO DIRECTO.	29.590	32.323	54.592	51.331	78.299	43.732	57.267	68.671	76.619
Imprevistos Obra Civil (20%)	3033	3081	7515	5308	11.232	5134	7916	8531	11.941
Imprevistos equipos electromecánicos. (10%)	1442	1692	1702	2479	2214	1806	1769	2602	1691
Ingeniería y Administración (10%)	3407	3709	6381	5912	9174	5067	6695	7980	9025
COSTO TOTAL	37.472	40.805	70.190	65.030	100.919	55.739	73.647	87.784	99.276

CAPITULO VIII

EVALUACION DE ALTERNATIVAS

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

BIBLIOTECA

CAPITULO VIII

8. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

8.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describen los análisis realizados para determinar la mejor alternativa de aprovechamiento de la cuenca del río Cusiana y se analizan las ventajas relativas de los proyectos que la integran. Las evaluaciones realizadas, se basaron en los estudios de potencia y energía que se presentan en el capítulo VI y en los presupuestos de costos que aparecen en el capítulo VII.

8.2 EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS

Los esquemas del aprovechamiento hidroeléctrico están condicionados por la morfología de la cuenca y se caracterizan por los siguientes aspectos :

- Un embalse en la parte superior de la cuenca.
- Conducciones en túnel sin posibilidades de embalse pero con caídas considerables en la parte media,
- Embalses y conducciones de mediana longitud en la parte inferior de la cuenca.

El embalse de aguas arriba debe tener la mayor capacidad posible para regular al máximo los caudales naturales del río.

La evaluación de alternativas de aprovechamientos y de conjuntos de proyectos, se realizó teniendo en cuenta los siguientes factores :

- Magnitud de potencia instalable y de generación de energía firme y secundaria,
- Costos de inversión total de los proyectos, conjuntos de proyectos y aprovechamientos.
- Costos índices de inversión por kilovatio instalado y kilovatio-mes generado para proyectos, conjuntos de proyectos y aprovechamientos.

La tabla 8-1 muestra los proyectos agrupados en alternativas de aprovechamiento tal como se describen en el capítulo II e indica las características de capacidad, generación y costos de inversión y unitarios.

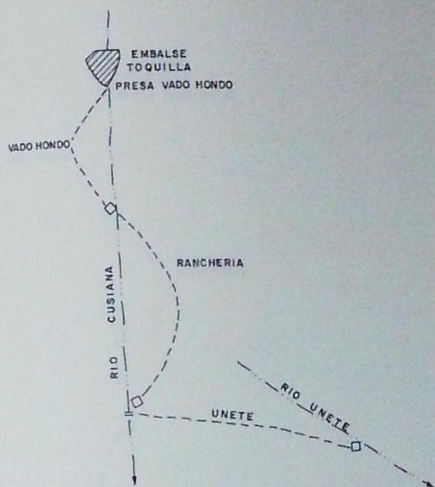
Se calculó una asignación de costos de la presa, en la cuenca superior, de una manera proporcional directa a la potencia instalable de cada proyecto.

La tabla 8-2 presenta los resultados de los costos de alternativas de aprovechamiento.

La tabla 8-3 clasifica los conjuntos en función del costo por kilovatio instalado. Igualmente presenta el costo unitario de generación en US \$/Kw- mes. Dentro de la evaluación se destacan los siguientes aspectos (ver tabla 8-3) :

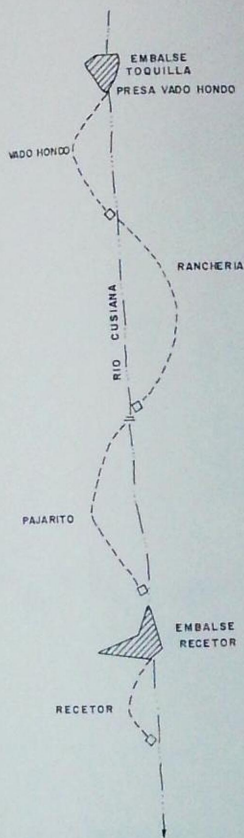
- El conjunto Guspaquirá, Ranchería, Candelas y Sabanalarga presenta una evidente economía de escala ya que el costo de la presa se reparte dentro de una mayor capacidad y los costos por kilovatio instalado de los proyectos Guspaquirá y Ranchería, se sitúan en torno de US.\$ 600 por kilovatio instalado.
- Los costos por kilovatio instalado de los conjuntos analizados fluctúan entre US.\$ 676 y US.\$ 1.584.

- El conjunto No. 1 de la tabla 8-3 muestra que para obtener el costo por kilovatio instalado más reducido sería necesario construir cuatro proyectos y realizar un transvase con las consecuencias ecológicas que esto representa.
- Existe la posibilidad de construir como primera etapa del desarrollo de la cuenca alta del río Cusiana, la presa de embalse y el proyecto Ranchería con un costo por kilovatio instalado de US.\$ 1.010. Una vez realizada esta primera etapa, los costos de los otros proyectos del conjunto se reducen al nivel de US.\$500 por kilovatio instalado.
- En caso de que no se piense en la desviación hacia el río Charle, existe la posibilidad de considerar una alternativa a lo largo del río con costos por kilovatio instalado entre US.\$ 700 y US.\$ 800.

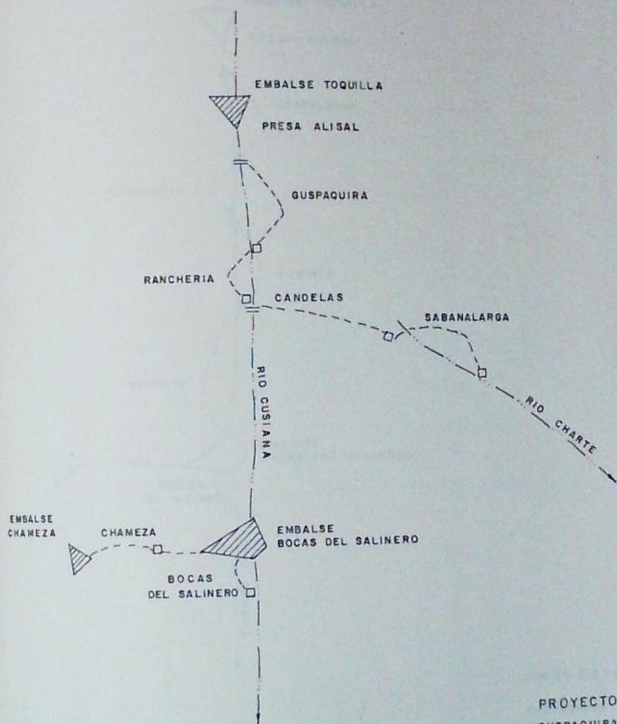


PROYECTOS
 VADO HONDO
 RANCHERIA
 UNETE

CEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRICADORA DE BOYACA S.A.	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA		SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	
	TITULO: ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA I Embalse de Toquilla presa Vado Hondo		FECHA: AGOSTO/82	FIGURA 8 - 1



PROYECTOS
 VADO HONDO
 RANCHERIA
 PAJARITO
 RECETOR



ALTERNATIVA III
 Con Desvío al Río Charte
 Embalse Toquilla
 Presa Toquilla, Alisal o Vado Hondo

PROYECTOS
 GUSPAQUIRA
 RANCHERIA
 CANDELAS
 SABANALARGA
 CHAMEZA
 BOCAS DEL SALINERO

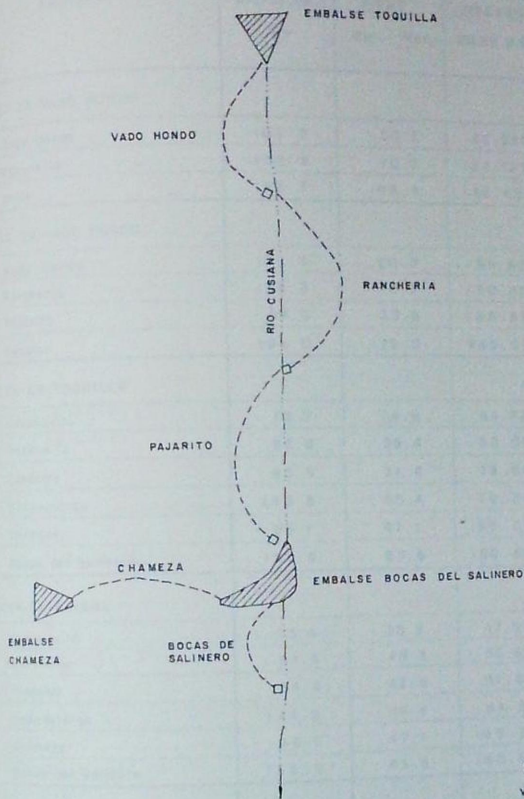


ALTERNATIVA III A
 Sin Desvío al Río Charie
 Embalse Toquilla
 Presa Toquilla, Alisal o Vado Hondo

PROYECTOS

- GUSPAQUIRA
- RANCHERIA
- CORINTO
- PAJARITO
- CHAMEZA
- BOCAS DEL SALINERO

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA TITULO: ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA III A	SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	
		FECHA: AGOSTO/82	FIGURA 8-4



PROYECTOS
 VADO HONDO
 RANCHERIA
 PAJARITO
 CHAMEZA
 BOCAS DEL SALINERO

ALTERNATIVA X
 Embalse Toquilla
 Preso en Toquilla, Aisal o Vado Hondo

PROYECTO	CAPACIDAD INSTALABLE Mw	GENERACION FIRME Mw - Mes	COSTO INVERSION MILES U.S. \$	COSTOS UNITARIOS	
				INSTALACION U.S. \$/Kw	GENERACION U.S. \$/Kw-H
PRESA EN VADO HONDO					
Vado Hondo	103.9	50.7	96.529*	929	0.022
Ranchería	152.3	70.7	127.123*	835	0.021
Unele	122.7	48.5	132.625*	1.081	0.031
PRESA EN VADO HONDO					
Vado Hondo	103.9	50.7	98.682*	950	0.022
Ranchería	152.3	70.7	130.250*	855	0.021
Pajarito	94.5	33.5	125.697*	1.330	0.043
Recetor	164.0	75.0	245.047	1.494	0.038
PRESA EN TOQUILLA					
Guspaquirá	72.7	34.8	44.725*	615	0.015
Ranchería	92.8	39.4	50.058*	539	0.015
Candelas	83.9	31.8	78.541*	936	0.028
Sabanalarga	143.8	45.4	79.380*	552	0.020
Chámeza	96.1	47.1	183.771	1.912	0.045
Bocas del Salinero	133.9	63.6	180.653	1.349	0.033
PRESA EN ALISAL					
Guspaquirá	73.4	35.7	47.599*	648	0.015
Ranchería	94.6	40.3	53.834*	569	0.015
Candelas	84.5	32.5	81.850*	969	0.029
Sabanalarga	144.2	46.4	84.956*	589	0.021
Chámeza	96.1	47.1	183.771	1.912	0.045
Bocas del Salinero	133.9	63.6	180.653	1.349	0.033
PRESA EN ALISAL					
Guspaquirá	73.4	35.7	49.296*	672	0.016
Ranchería	94.6	40.3	56.078*	593	0.016
Corinto	88.3	31.6	69.972*	792	0.025
Pajarito	83.1	31.3	87.059*	1.048	0.032
Chámeza	96.1	47.1	183.771	1.912	0.045
Bocas del Salinero (Sin desvío)	157.2	74.8	191.107	1.216	0.029

* Los Costos indicados resultan de distribuir el costo de la presa proporcionalmente a la potencia instalable.

PROYECTOS QUE LA INTEGRAN	CAPACIDAD INSTALABLE Mw	GENERACION ANUAL Gwh/año	COSTO TOTAL MILLONES U.S. \$	COSTOS UNITARIOS	
				INSTALACION U.S. \$/Kw	GENERACION U.S. \$/Kw-H
1 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería, Candelas, Sabanalarga	396.7	1357	268	676	0.020
2 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería, Corinto	256.3	943	189	736	0.020
3 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería, Corinto, Pajarito.	339.4	1216	262	773	0.022
4 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería	168.0	666	133	792	0.020
5 PRESA EN ALISAL Ranchería, Corinto	182.9	630	151	827	0.024
6 PRESA VADO HONDO Vado Hondo, Ranchería (ESEE), Pajarito (ESEE)	350.7	1357	329	938	0.024
7 PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo, Ranchería, Unefe	378.9	1489	356	940	0.024
8 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería, Candelas, Sabanalarga, Chámeza, Bocas del Salinero.	626.7	2328	633	1010	0.027
9 PRESA EN ALISAL Guspaquirá, Ranchería, Corinto, Pajarito, Chámeza, Bocas del Salinero	592.7	2284	637	1075	0.028
10 PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo, Ranchería (ESEE), Pajarito (ESEE), Chámeza, Bocas del Salinero.	604.0	2425	709	1165	0.030
11 PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo, Ranchería, Pajarito, Recetor.	514.7	2015	600	1165	0.030
12 CHAMEZA Bocas del Salinero (Sin desvío)	253.3	1068	375	1.480	0.035
13 CHAMEZA Bocas del Salinero (con desvío)	230.0	964	364	1.584	0.038

SOEIC LTDA.
INGENIEROS CONSULTORES

FECHA: TABLA 8-3

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO
DE ENERGIA ELECTRICA

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA
ETAPA A - FASE II

TITULO: EVALUACION DE CONJUNTOS
DE APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

ALTERNATIVA		CAIDA BRUTA M	ENERGIA FIRME Gwh/año	POTENCIA INSTALABLE Mw	COSTO TOTAL miles U.S.\$	COSTOS UNITARIOS	
						INSTALACION US \$/Kw	GENERACION US \$/Kwh
I	PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo- Ranchería - Unete	2.340	1489	378.9	356.277	940	0.024
II	PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo- Ranchería- Pajarito- Recetar	2.388	2015	514.7	599.681	1.165	0.030
III 1	PRESA EN TOQUILLA Guspaquirá- Ranchería- Candelas y Sabanalarga	2.230	1327	393.2	252.704	643	0.019
	Chámeza y Bocas del Salinero	524	971	228.9	364.424	1.592	0.038
	SUMA		2300	622.1	617.128	992	0.027
III 2	PRESA EN ALISAL Guspaquirá- Ranchería- Candelas y Sabanalarga	2.230	1357	396.7	268.240	676	0.020
	Chámeza y Bocas del Salinero (con desvío)	524	971	230.0	364.424	1.584	0.038
	SUMA		2328	626.7	632.664	1.260	0.027
III 3	PRESA EN ALISAL Guspaquirá- Ranchería- Corinto- Pajarito	2.045	1216	339.4	262.406	773	0.022
	Chámeza y Bocas del Salinero (sin desvío)	523	1068	253.3	374.878	1.480	0.035
	SUMA		2284	592.7	637.284	1.075	0.028
V	PRESA EN VADO HONDO Vado Hondo- Ranchería (ESEE) Pajarito	2.142	1357	350.7	329.005	938	0.024
	Chámeza, Bocas del Salinero (sin desvío)	523	1068	253.3	374.878	1.480	0.035
	SUMA		2425	604.0	708.883	1.165	0.029
EVALUACION DE CONJUNTOS							
VI	PRESA EN ALISAL Guspaquirá - Ranchería	1.150	666	168.0	133.020	792	0.020
VII	PRESA EN ALISAL Ranchería - Corinto	1.060	630	182.9	151.287	827	0.024
VIII	PRESA EN ALISAL Guspaquirá - Ranchería - Corinto	1.610	943	256.3	188.759	736	0.020
ICEL	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II				SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.		TITULO: CARACTERISTICAS Y COSTOS DE LAS ALTERNATIVAS				FECHA:	TABLA: 8 - 2

CAPITULO IX

ALTERNATIVA SELECCIONADA

CAPITULO IX

9. ALTERNATIVA SELECCIONADA

9.1 INTRODUCCION

La alternativa seleccionada está conformada por los proyectos Guspaquirá, Ranchería, Candelas, Sabanalarga, Chámeza y Bocas del Salinero.

9.2 DESCRIPCION DE LAS OBRAS

9.2.1 Presa de Alisa

La presa está ubicada aproximadamente a 4Km de la localidad de Toquilla en la dirección de aguas abajo, hacia el municipio de Pajarito, sobre la carretera que bordea el río Cusiana.

El esquema general se ilustra en la figura 2-3.

En la figura 2-6 se muestran la planta general, la sección máxima y los perfiles de la presa.

El embalse inundará cerca de 9 Km^2 (900 Ha) de tierras planas dedicadas al pastoreo y con algunos cultivos; se extenderá hasta la cota 2958 y afectará 8 Km de la carretera actual y el caserío de Toquilla.

Esta presa tendría una altura de 107m y un volúmen de $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El volúmen útil del embalse sería de $119 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El vertedero de tipo Azud con compuertas y tiene una capacidad de

574 m³/s., y estará localizado en la margen izquierda. Tendría un ancho de canal de 33 m y longitud de 360m.

Sobre el estribo izquierdo se adelanta un espolón rocoso delgado y entrecortado por pequeñas fallas y fracturas.

El flanco derecho es macizo y de altura indefinida, pero esta también afectado por trastornos tectónicos locales.

Localmente se aprecian areniscas con bajo porcentaje de lutitas, que pertenecen a las formaciones Fômeque y Une. Las rocas son competentes y de buenas características mecánicas.

Tanto el espolón izquierdo como el más macizo flanco derecho de la sección están afectados por pequeñas fallas (o grandes fracturas) de rumbo normal al eje del río y de buzamiento cerca de la vertical; las que entrecortan el espolón en secciones de algunas decenas de metros de espesor (en el sentido del río) lo debilitan y representan además probables rutas de fuga para el agua.

La presa es de tierra y enrocado, de altura máxima de 107m, una longitud en la corona de 498m, taludes 2:1, para un volúmen de $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El fondo del río en el sitio de la presa tiene una cota de 2859.

Existe la posibilidad alternativa de considerar una presa de enrocado con pantalla de concreto.

Para el enrocado puede usarse la arenisca local y para el núcleo se pueden utilizar las tierras arcillosas de los alrededores sin ningún problema especial.

El vertedero representará un problema constructivo de cierta difi-

cultad pues serán necesarias grandes excavaciones sobre la ladera izquierda y consecuentes obras de estabilización para los taludes resultantes de las excavaciones.

La desviación consistiría en un túnel de 6.0m de diámetro y 530m de longitud y ataguías.

9.2.2 Proyecto Guspaquirá

Inmediatamente aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Guspaquirá al río Cusiana se capta éste mediante una pequeña presa de derivación de 5m de altura sin que afecte la carretera ni viviendas. En la figura 2.8 se presenta el esquema general del proyecto el cual se desarrolla entre las cotas 2720 y 2170, con caudal de diseño de $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$ para una potencia instalada de 73.4 MW.

9.2.2.1 Presa de Derivación

Es una pequeña presa-vertedero de derivación de concreto de 5m de altura y 35m de longitud, provista de compuertas de limpia, estructura de captación con rejilla, desarenador con vertedero de excesos y compuertas de entrega al túnel de conducción. (ver figura 2-9)

9.2.2.2 Túnel de Conducción

Por razones geológicas se seleccionó la margen izquierda para la ruta de la conducción. El primer tramo hasta la Almendra tiene un diámetro de 2.5m y 8550m de longitud para una capacidad de conducción de $16.7 \text{ m}^3/\text{s}$. La pendiente es del 1%.

Este túnel será estable en la mayor parte del proyecto; en aquellas zonas en donde se crucen lutitas se sugiere su estabilización con pernos o marcos de acero y concreto neumático. La razón por la que el túnel se ha ubicado en la márgen izquierda se fundamenta en mayor estabilidad y menores fracturas y deslizamientos por dicha margen.

Los túneles en general en todos los proyectos, se han considerado revestidos, teniendo en cuenta disminución de coeficientes de rugosidad, pérdidas de agua por filtración y la posible generación de problemas de inestabilidad.

9.2.2.3 Tubería de Presión

Tendría una longitud de 1130m y un diámetro de 1.8m

9.2.2.4 Casa de Máquinas

Por las condiciones geotécnicas se eligió una casa de máquinas superficial, localizada en la márgen izquierda del Rfo Cusiana frente al sitio Ranchería, la cual alojará dos unidades Pelton con grupos generadores de 36.7 MW.

9.2.3 Proyecto Ranchería

En las cercanías del sitio Ranchería, a unos 1000m de distancia estaría ubicada la posible presa de derivación.

En la figura 2.8, se presenta el esquema general del proyecto Ranchería.

9.2.3.1 Presa de Derivación

Se trata de una presa vertedero en concreto de 5m de altura y 35m de longitud.

El proyecto se desarrolla entre las cotas 2165 y 1565.

La presa estará provista de captación con rejilla, compuertas de entrega al túnel de conducción y desarenador.

9.2.3.2 Túnel de Conducción

La conducción se ha escogido por la margen derecha del Río Cusiana por ser la de menos longitud y porque está localizada en una formación geológica de condiciones favorables para la ubicación de un túnel.

El túnel de conducción tendrá una longitud de 820m y 2.6m de diámetro, revestido con concreto.

El túnel será estable en su mayor parte; en aquellas zonas en donde se cruce por lutitas se sugiere su estabilización con pernos o marcos de acero y concreto neumático.

9.2.3.3 Tubería de Presión

Tendrá 1620m de longitud y un diámetro de 2.1 m.

9.2.3.4 Casa de Máquinas

Será de tipo superficial y estaría ubicada aguas abajo del Salto Candelas. Alojaría 2 turbinas Pelton de 47.3 MW cada una.

9.2.4 Proyecto Candelas

Aguas abajo del Salto Candelas, sobre la cota 1565, se ha ubicado una pequeña presa derivadora donde se capta el río Cusiana y se desvía hacia el río Charte, tal como se muestra en la figura 2-11.

9.2.4.1 Presa de Derivación

Se propone una presa vertedero de 5m de altura y 40m de longitud; estaría provista de captación con rejilla, compuertas de entrega al túnel de conducción y desarenador.

9.2.4.2 Túnel de Conducción

Tiene una longitud de 10.650m y un diámetro de 2.5m.

En general el túnel estará situado sobre roca fresca bastante competente.

Es probable que se presenten algunas zonas inestables especialmente cuando se cruce por sectores de lutitas.

9.2.4.3 Tubería de Presión

Tendría 1.600m de longitud y 2.5m de diámetro.

9.2.4.4 Casa de Máquinas

Es del tipo superficial y se ha localizado en las proximidades del sitio denominado Sabanalarga. Alojaría 2 turbinas Pelton de 42.2 MW cada una.

9.2.5 Proyecto Sabanalarga

En las cercanías de Sabanalarga después de la confluencia de la Quebrada Macanal se captan el río Charte y el caudal desviado del río Cusiana.

9.2.5.1 Presa de Derivación

Se propone una presa vertedero de 10m de altura y 25m de longitud. Tendría estructura de captación con rejilla, compuertas de entrega al túnel de conducción y desarenador.

9.2.5.2 Túnel de Conducción

Tendría una longitud de 7.125m y un diámetro de 3.2m. Como medida preventiva donde está localizada la Almenara y las tuberías de presión, el túnel deberá revestirse debido a la proximidad de la zona de falla, que crea zonas de intenso fracturamiento en sus vecindades y por ende zonas de infiltraciones.

9.2.5.3 Tubería de Presión

Tendría una longitud de 2.420m y un diámetro de 2.8m.

9.2.5.4 Casa de Máquinas

Es del tipo superficial y alojaría 2 turbinas Pelton de 72.1 MW.

9.2.6 Proyecto Chámeza

En las proximidades del municipio de Chámeza se ha proyectado una presa de embalse con el fin de regular el río Salinero.

9.2.6.1 Presa

El sitio de presa se localiza 500m después de la confluencia de los ríos Salinero y Sunce, en inmediación del sitio denominado " Loma Volador " a unos 4 Km al Sureste de la población de Chámeza.

El sitio de presa es un cañón rocoso de paredes casi verticales; el tipo de presa más adecuado es de enrocado con núcleo impermeable de materiales arcillosos.

La altura de la presa será de 165m, los taludes se han escogido 2:1, el ancho de la corona será de 12m. La longitud a nivel de la cresta es de 478m. El volumen de presa se ha estimado de 11.9 millones de m³.

El embalse útil creado será de 197 millones de m³, e inundará un área de 400 Ha, para una regulación del 80%.

Las obras de desviación constarán de un túnel de 7m de diámetro y 820m de longitud y una atagüa.

9.2.6.2 Rebosadero

Se localizó el rebosadero en la margen izquierda. Es de tipo azud con compuertas y tiene un ancho de canal de 45m y una longitud de 510m. La capacidad del rebosadero es de 1.345 m³/s.

9.2.6.3 Túnel de Conducción

De 5.900m de longitud y con un diámetro de 3.4 m.

9.2.6.4 Tubería de Presión

Tendría una longitud de 940m y un diámetro de 2.8m.

9.2.6.5 Casa de Máquinas

Sería de tipo superficial y alojaría 2 turbinas Francis de 48 MW cada una.

9.2.7 Proyecto Bocas del Salinero

9.2.7.1 Presa

El sitio de Presa se encuentra localizado en un profundo cañon rocoso inmediatamente después de la confluencia de los ríos Cusiana y Salinero, unos 5 Km al sur del pueblo de Recetor.

El tipo de presa es de enrocado con núcleo impermeable de material arcilloso.

La altura de la presa es de 153m.

Los taludes se han supuesto 2:1, el ancho de la corona se ha tomado de 12m.

El volumen de presa es de 9.2 millones de m³.

La longitud de la cresta es de 344m.

El volumen de embalse útil creado es de 236 millones de m³; el área inundada es de 500 Ha.

La desviación, consistirá de una atagufa y un túnel de desviación de 10.0m de diámetro y 710m de longitud.

9.2.7.2 Rebosadero

Se ha localizado un rebosadero de tipo azud con compuertas en la margen izquierda; el ancho del canal es de 79m y su capacidad de 3.585 m³/s.

9.2.7.3 Túnel de Conducción

De 1.700 m de longitud y con un diámetro de 5.5m.

9.2.7.4 Tubería de Presión

Tendría una longitud de 470m y un diámetro de 4.5m.

9.2.7.5 Casa de Máquinas

Será de tipo superficial y alojaría 2 turbinas Francis de 67 MW cada una.

CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO X

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

Los estudios realizados permiten concluir que en una primera etapa se puede aprovechar hidroeléctricamente el río Cusiana mediante dos proyectos Guspaquirá y Ranchería, aprovechando la cascada alta del río que presenta pendientes elevadas.

El costo por kilovatio instalado para el conjunto de estos dos proyectos -- es de US.\$ 792; su potencia instalada sería de 168 MW y su energía firme de 76 MW-mes. El costo de generación sería de US.\$ 1750/Kw-mes.

10.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un levantamiento aerofotogramétrico (fotos en escala 1:20.000) que continúe la banda existente Aguazul-Pajarito, hasta Toquilla con la adición de una banda o corredor a lo largo del río Salinero desde Chámeza hasta su desembocadura en el río Cusiana.
- Establecer redes de triangulación geodésica de control que permitan definir la localización futura de las obras. Estas triangulaciones deben realizarse en los ejes San Benito-Recetor y San Benito-Chámeza.
- Realizar restituciones de las zonas de presas y casas de máquinas de los proyectos de la alternativa recomendada en escala 1:2000 con curvas de nivel cada 2m
- Realizar una red de triangulaciones geodésicas mediante la cual se asig

nen tres coordenadas a puntos de interés en la zona de ejes de estructuras principales.

- Para la etapa de factibilidad se recomiendan investigaciones en cuanto a geología, geotecnia y materiales de construcción :
 - Excavaciones a cielo abierto : pozos, tajos y trincheras.
 - Socavones o túneles de exploración.
 - Sondeos de percusión con pruebas de permeabilidad (SPT).
 - Sondeos de rotación con pruebas de permeabilidad a presión.
 - Secciones geofísicas : sísmicas y eléctricas.
 - Observaciones hidrogeológicas.
 - Pruebas de mecánica de rocas in situ.
 - Pruebas de mecánica de suelos in situ.
- Se proponen las siguientes actividades en lo concerniente a hidrología:
 - Instalación de las siguientes estaciones climatológicas :
 - Toquilla sobre el río Cusiana : Climatológica principal; sería representativa de la zona alta del proyecto.
 - Pajarito : evaporímetro, termómetro, anemómetro, psicrómetro y pluviógrafo.
 - Municipio de Chámeza : estación climatológica principal
 - Bocas del Salinero : evaporímetro, termómetros, anemómetro.
 - Puente Charte, sobre el río Charte : evaporímetro, termómetros, anemómetro, psicrómetro y pluviógrafo.
 - Instalaciones de las siguientes estaciones pluviométricas :
 - Periferia de la zona de Toquilla al Este en el límite de la cuenca.

- Punto intermedio entre Toquilla y Pajarito en la serranía del Gallo.
- Zona alta de las cuencas de los ríos Unete y Charte.
- Instalación de las siguientes estaciones hidrométricas :
 - Río Cusiana en Guspaquirá; limnómetro y maxímetro.
El observador emigró de la zona.
 - Río Cusiana en Cónguta : limnómetro y maxímetro.
El proyecto Cónguta fué propuesta al final de los estudios por los asesores de ELC.

Acondicionamiento de las estaciones existentes instaladas por SODEIC :

- Río Cusiana, Alisal, instalación de tarabita, limnógrafo.
 - Río Cusiana, Candelas : instalación de tarabita.
 - Río Cusiana, Cónguta : limnómetro, maxímetro y sedimentos.
 - Río Cusiana, Visinaca (aguas abajo de Bocas del Salinero) : instalación de tarabita bifilar y limnógrafo.
 - Río Sunce, afluente del río Salinero; adecuación de la sección de afloros mediante el retiro de algunas rocas.
 - Río Tonce, El Puente : instalación de Tarabita.
 - Río Salinero, El Bizcocho : instalación de tarabita y limnógrafo.
 - Río Unete, Los Esteros : sedimentos.
 - Río Charte, Puente Charte : sedimentos.
- Se recomienda también desarrollar en lo posible el programa de conservación de la cuenca alta del río Cusiana, permitiendo el desarrollo de la ve

getación de rastrojo de páramo y estableciendo un vivero forestal en las cercanías de la vereda Cañas.

- Por otra parte son de capital importancia los estudios del manejo piscícola en las zonas del río afectadas por los proyectos y del rendimiento hídrico de cada una de las subcuencas creadas por los proyectos en escalera a fin de precisar el impacto sobre la vida acuática.
- Para las zonas media y baja de la cuenca sería deseable que el INDERENA tomara medidas para evitar la continuación de la destrucción del bosque.
- Son necesarios estudios más detallados de impacto ambiental, hidráulicos e hidrológicos con el fin de definir el comportamiento futuro del río Charte con el aumento de caudal desviado desde el río Cusiána.
- Sería conveniente estudiar el aspecto de propósito múltiple de proyectos atractivos como los de Charte (presa Charte) y de Bocas del Salinero, en lo referente a riego de las zonas del piedemonte en inmediaciones de la carretera marginal de la selva.