

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

**APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DEL RIO CUSIANA**

ANEXO C

1982



232

Instituto Colombiano de Energía Eléctrica

Electrificadora de Boyacá S.A.



Total 664

**APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DEL RIO CUSIANA**

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

**ANEXO C
GEOLOGIA
SUELOS Y MATERIALES
SISMOLOGIA**

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.

(163-165)
165

**APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DEL RIO CUSIANA**

ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

**ANEXO C
GEOLOGIA
SUELOS Y MATERIALES
SISMOLOGIA**

ESTUDIO FINANCIADO POR

- FONADE -

FONDO NACIONAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO

BOGOTA - AGOSTO DE 1982

SODEIC LTDA
INGENIEROS CONSULTORES E INTERVENTORES

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

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

A N E X O - C -

- GEOLOGIA
- SUELOS Y MATERIALES
- SISMOLOGIA

P A R T E - A -

- GEOLOGIA

INDICE

ANEXO - C -

PARTE - A -

GEOLOGIA

TITULO	PAGINA
I. GEOLOGIA	.
1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVO	1
1.2 LOCALIZACION, POBLACION Y ACCESOS	1
1.3 FISIOGRAFIA	2
1.4 TRABAJOS PREVIOS	3
1.5 METODOLOGIA DEL ESTUDIO	4
2. GEOLOGIA	
2.1 GENERALIDADES	6
2.2 LITOLOGIA	6
2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	13
2.4 FALLAS	16
2.5 DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES MENORES	17
3. LAS OBRAS DE CIERRE	
3.1 LA PRESA DE TOQUILLA	26

TITULO

PAGINA

3.2	LA PRESA DE ALISAL	28
3.3	LA PRESA DE VADO HONDO	30
3.4	LA PRESA DE CHAMEZA	31
3.5	LA PRESA DE BOCAS DEL SALINERO	33
3.6	LA PRESA DE CHARTE	35
3.7	OTRAS PRESAS MENORES	36
4.	LOS TUNELES	
4.1	LITOLOGIA	37
4.2	RECUBRIMIENTO	38
4.3	PRESENCIA DE AGUA	39
4.4	ACCESOS INTERMEDIOS	40
4.5	ORIENTACION	40
4.6	REVESTIMIENTO	41
4.7	PORTALES	42
4.8	METODOS DE EXCAVACION	42
4.9	CONCLUSIONES Y PREVISIONES	44
5.	CAVERNAS PARA CASA DE MAQUINAS	46
6.	INVESTIGACIONES	
6.1	GENERALIDADES	47
6.2	PRESAS	47

T-I T U L O	P A G I N A
6.3 TUNELES	50
6.4 CAVERNAS	50
6.5 MATERIALES DE CONSTRUCCION	51
7. GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LOS PROYECTOS ATRACTIVOS	
7.1 PROYECTO GUSPAQUIRA	53
7.2 PROYECTO RANCHERIA	57
7.3 PROYECTO CANDELAS	61
7.4 PROYECTO SABANALARGA	67
7.5 PROYECTO CHARTE	73
7.6 PROYECTO CHAMEZA	78
7.7 PROYECTO BOCAS DEL SALINERO	90
8. ANALISIS DE OTROS PROYECTOS	
8.1 PROYECTO VADO HONDO	98
8.2 PROYECTO RANCHERIA	99
8.3 PROYECTO UNETE (ESEE)	101
8.4 PROYECTO UNETE (EMBALSE)	103
FIGURAS	
C-1 a C- 17. PROYECCIONES ESTEREOGRAFICAS	
- COLUMNAS ESTATIGRAFICAS (9)	

I. INTRODUCCION

1.1 Objetivo

El estudio fotogeológico y su respectiva comprobación de campo tienen el propósito de identificar y evaluar las diferentes unidades y los depósitos no consolidados presentes en el estudio de los posibles aprovechamientos del Desarrollo Hidroeléctrico del Río Cusiana y las Hoyas Vecinas.

En la etapa posterior se complementó la anterior información con comprobaciones de campo especialmente en los sitios de mayor interés de los diferentes proyectos tales como : Areas de embalse, sitios de presa, sitios de portales y casas de máquinas sólo a los túneles se les efectuó una fotogeología más detallada debido a su inaccesibilidad por lo abrupto del terreno y por estar cubierto de una espesa capa vegetal o por bosques naturales.

El alcance de estos estudios es a nivel de prefactibilidad y se realizaron en cumplimiento del Contrato No. 3979, suscrito entre el Instituto de Energía Eléctrica (ICEL) y SODEIC LTDA.

1.2 Localización, Población y Accesos

El área objeto de este estudio está localizado en la Vertiente Oriental Andina dentro de las planchas 192 y 211 del IGAC, demarcada dentro de las coordenadas :

X : 1'110.000 y : 1'135.000

X : 1'030.000 y : 850.000 con origen en Bogotá

Geográficamente el área está ubicada dentro del departamento de Boyacá y la

Intendencia del Casanare (Fig. 1).

Los principales poblados de la región son Aguazul, Tauramena, Pajarito y Chámeza; poblaciones de 10.000, 6000 y 4000 habitantes respectivamente.

El acceso a las poblaciones mencionadas se puede hacer por carretera, a excepción de Chámeza que solo es posible por vía aérea.

1.3 Fisiografía

La región estudiada está ubicada en el flanco Este de la Cordillera Oriental y presenta un relieve montañoso, cuya altitud varía entre 300 metros (Rio - Charte) y 3.600 m.s.n.m. (Toquilla).

Los principales ríos que surcan esta región son :

El Cusiana, Unete, Charte y Salinero, sobre los que se ha dirigido la investigación.

Las geoformas son variadas, en ellas se observan valles Alpínicos fluvioglaciales, en la parte alta, como el que conforma la zona Toquilla, en donde se ha proyectado uno de los embalses.

Escarpes que tienden a la vertical y que reflejan la resistencia de la roca infrayacente, como son el Salto de Candelas, Cerro del Presidio y Loma Volador.

Valles Intermontanos, en general de 1 a 3 Km, de ancho labrados por socavación y posterior depósito del río, como son los de Pajarito, Tonce, Salinero y Charte parte media.

Terrazas aluviales, zonas plano-inclinadas, poco disectadas, con bordes verticales y localizadas paralelas a los ríos, como las que se observan cerca

a Tauramena, y parte media del río Unete.

Piedemonte una superficie plano inclinada constituida por la unión de varios conos de deyección en la zona donde termina la Cordillera y empieza los Llanos Orientales.

En el área se observa una gran variedad de climas: clima húmedo montano alto, con vegetación de páramo; clima muy húmedo-montano bajo y clima subtropical seco correspondiente a la Llanura Oriental. La precipitación varía entre 1.200 m.m. y 8.000 m.m.

1.4 Trabajos Previos

En la zona se han hecho estudios geológicos de diferente índole, unos con fines de tipo Ingenieril y otros con propósito de complementar la cartografía Geológica del País.

Para éste estudio se recopiló la información existente y se tomó como base la información consignada en los siguientes escritos.

" Geology of the Llano Basin and Adjacent Eastern Cordillera " Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysics Geological fieldtrips 1959-1978.

Apreciación Geológica del proyecto de Embalse del río Toquilla al S.E., de Sogamoso, Hubach, E. (1941)

Report of the Toquilla Dam Project at rio Cusiana, U. Oppen hein.

Toquilla Dam Site, A.E., Sandberg.

Represa de Toquilla, Alvarado B.

Preliminary Geologic Report-Toquilla and San Antonio Dam sites-Cusiana river, Fahlquiet, F.E.

Geología del Cuadrángulo K-13, Tauramena, Ulloa C et al.

La zona está cubierta con fotografías aéreas cuya escala varía entre 1:30.000 y 1:60.000 Igualmente dispone de mapas topográficos escala 1:10.000 y 1:25.000.

1.5 Metodología 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

estos estuviesen localizados en lo posible sobre el mejor tipo de roca y que atravesarán casi perpendicularmente a las estructuras, lo cual conlleva a 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 carcavamiento, 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.

2. GEOLOGIA

2.1 Generalidades

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 fluvio-glaciares, 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 parezcan estar debajo de las más antiguas.

La Litología de las diferentes unidades se describen en orden cronológico de las más antiguas a las más recientes.

2.2 Litología

Rocas Cretácicas

2.2.1 Formación Lutitas de Macanal (Kilm).

Nombre asignado por Ulloa et al (1976) para describir el conjunto de lutitas del grupo Cáqueza.

Consiste en lutitas negras, micáceas, compactas, ligeramente calcáreas, con algunos nódulos arenosos cuyo tamaño varía entre 5 y 10cm

de diámetro.

Contienen esporádicas intercalaciones de arenisca gris oscura y delgadas capas de caliza.

Estas rocas afloran en la zona de los proyectos Guspaquirá-Ranchería y en las cercanías de Pajarito. (Pl. No. 4-5).

Estas lutitas producen una morfología suave, meteorizan a suelos arcillosos rojizos, son inestables en presencia de agua y para proyectos subterráneos debe considerarse como unidad de baja-alta resistencia dependiendo de su grado de fallamiento y fracturamiento, pueden utilizarse como material para núcleo.

2.2.2 Formación Arenisca de las Juntas (Kias).

El nombre fué propuesto por Ulloa, et al (1976) para designar un conjunto de areniscas cuarzosas, de grano fino, estratificación gruesa, con un porcentaje muy bajo de lutitas negras interestratificadas.

Esta unidad forma una topografía escarpada, lo cual refleja la resistencia de la roca que es muy alta. Aflora en los proyectos Ranchería y Salto de Candelas (Pls. Nos. 4-5 y 4-8).

Entre Toquilla y Corinto pueden ser utilizadas como fuentes de materiales para enrocado y filtro mediante trituración.

2.2.3 Formación Fômeque (Kif)

Descrita por Hubach E. (1957), la constituyen capas de lutitas de

color gris oscuro a negro con intercalaciones de margas (lutitas limosas calcáreas) y lumaquelas (calizas fosilíferas) y en poco porcentaje areniscas cuarzosas micáceas.

Esta formación aflora cercaa Monterralo (planchas No.4-4) y en el área del proyecto Toquilla y en Sunce-Salinero. (planchas Nos.4-3 y 4-12).

Las lutitas meteorizadas de esta formación pueden utilizarse para material de núcleo.

2.2.4 Formación Une (kiu)..

Fué definida por Hubach, E (1957) y consiste en un conjunto de areniscas cuarzosas, blancas, de grano fino a medio, masivas, las cuales constituyen la base; hacia la parte media afloran areniscas congloméricas con guijos de cuarzo hasta de 2cm de diámetro, en matriz arenosa; el techo está compuesto por areniscas arcillosas de grano fino a medio.

Esta unidad aflora cerca a Vado Hondo y en las cercanías de la confluencia de los ríos Cusiana y Salinero. (Planchas Nos. 4-4 y 4-12).

Las rocas de esta formación son duras y resistentes, se puede considerar como una formación estable.

Los fenómenos de inestabilidad están relacionados con el fracturamiento ocasionado por fallas y diaclasas y en las zonas en que éstas rocas han sido sometidas a grandes esfuerzos y presenten pequeñas intercalaciones de rocas de carácter arcilloso.

2.2.5 Formación Chipaque (Ksc)

Esta formación fué definida por Hubach, E (1931) y redefinida por Renzóni, G (1962).

Está compuesta por lutitas negras con intercalaciones de caliza y algunas capas de arenisca cuarzosa, de grano fino, fosilífera, estratificada en bancos hasta de 3m de espesor.

Esta formación aflora cerca a Recetor en el área de los proyectos de Chámeza-Salineró y Tauramena (Planchas Nos. 4.12, 4-14 y 4.19).

La formación es medianamente estable, la resistencia es media y en las zonas de lutitas, los proyectos subterráneos pueden considerarse soportados.

Rocas Terciarias

2.2.6 Grupo Palmichal TKP.

El nombre para esta unidad fué propuesto por Ulloa et al (1976), designando así una serie de areniscas y conglomerados finos que afloran en la Quebrada Palmichal (Planchas Nos. 4.1).

Este grupo está constituido en su base, por un miembro arenoso que tiene 180m de espesor; por areniscas cuarzosas blancas de grano fino, con intercalaciones de limolitas y lutitas silíceas, lutitas gris claro y areniscas de pocos metros de espesor, hacia la parte media. La parte superior está compuesta por areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, masivas, friables, con pequeñas intercalaciones de

lutitas gris oscuro y algunos lentejones de conglomerado cuarzoso. Este grupo Palmichal, debido a su litología puede considerarse como estable; la morfología es escarpada, lo cual refleja la resistencia de las areniscas.

2.2.7 Formación Arcillas El Limbo (Tal).

El nombre de esta formación fué dado por Hubach, E (1941). Aflora en cercanías de Tauramena y en inmediaciones de los ríos Charte y Unete (Planchas Nos. 4.1).

La formación está constituida principalmente por arcillas grises y verdosas con intercalaciones de arenisca cuarzosa, de grano medio a grueso, estratificada en bancos de 5m, de espesor y de color blanco amarillento.

La estabilidad de esta formación es precaria, la resistencia baja y para proyectos subterráneos debe asumirse que requerirá soportes y concreto.

2.2.8 Formación Areniscas de Limbo (Tarc)

Esta formación definida por Hubach (1941), está compuesta por conglomerados con cantos subredondeados de cuarzo, hasta de 5cm de diámetro, dentro de una matriz arenosa, a los que se superponen areniscas de grano fino a medio con niveles de hierro oolítico y algunas interstratificaciones de arcillolitas y lutitas limosas.

Estas areniscas afloran en el área del proyecto Charte (Planchas Nos.4.1)

y cerca a Tauramena.

El carácter geotécnico de esta formación es bueno, las rocas pueden considerarse como estables y resistentes.

2.2.9 Formación San Fernando (Tsf).

Descrita por Renz, O (1938) está compuesta predominantemente por arcillolitas grises, capas de carbón y esporádicas intercalaciones de arenisca cuarzosa.

Esta formación aflora en el Piedemonte del Llano (Pls. Nos. 4.1) su estabilidad es muy baja, en ella se observan deslizamientos rotacionales y planares de rocas y suelos. Las arcillas derivadas de esta formación pueden utilizarse como material para núcleo.

2.2.10 Formación el Diablo (Td).

Esta formación fué definida por Renz, O (1938) y está constituida por areniscas cuarzosas, gris verdoso, de grano fino a grueso, estratificadas en bancos hasta de 6m, de espesor, con delgadas intercalaciones de arcillolita y limolitas grises verdosas a rojizas.

Estas areniscas están medianamente consolidadas y pueden servir para enrocado.

La estabilidad de esta formación es buena y se observan afloramientos entre los ríos Unete y Charte (Planchas Nos. 4.1).

2.2.11 Formación Caja (Tc)

Descrita por Valencia E. (1938), aflora cerca a Tauramena y en inmediaciones de los ríos Unete y Charte (Planchas No. 4.1).

La formación está constituida por arcillolitas y limolitas rojizas, con delgadas intercalaciones de arenisca arcillosa, rojiza, de grano fino a medio y conglomerados hasta de un metro de espesor.

En general por su litología y su grado de consolidación es una formación poco estable y de resistencia media a baja. Puede utilizarse como material para núcleo.

2.2.12 Formación Corneta (Qt1c).

El nombre de esta unidad fué propuesto por Ulloa, et al (1976) y está constituida exclusivamente de gravas con cantos hasta de 0.8 m de diámetro dentro de una matriz arcillosa.

Esta formación aflora predominantemente en inmediaciones de Tauramena entre los ríos Caja y Cusiana.

La formación Corneta es de resistencia media y su utilidad como fuente de material presenta problemas para su extracción.

2.2.13 Depósitos Cuaternarios

En la zona de proyecto existen depósitos fluvioglaciares, depósitos aluviales y coluviales.

Los depósitos fluvio-glaciares están representados por restos de morrenas, localizadas en los alrededores de Toquilla.

Estos depósitos están constituidos por gravas, bloques y bolos subangulares a subredondeados embebidos en una matriz de arena, limos y arcillas.

Los depósitos aluviales están representados por terrazas aluviales, flujos de lodo, llanuras aluviales, conos de deyección y rellenos de cauce actual, tales como islotes, playas y barras.

En general estos materiales no están consolidados, presentándose seu- doestratificados, pudiendo utilizarse como materiales granulares.

Los depósitos coluviales localizados sobre las laderas de los diferentes valles están constituidos por bloques angulares, gravas y gravillas en matriz arcilloarenosa.

La composición es muy heterogénea y depende del área de aporte. Generalmente son por naturaleza inestables.

2.3 Geología Estructural

La tectónica del área del proyecto no es muy compleja. En términos generales está conformada por pliegues sinclinales y anticlinales abiertos, más o menos simétricos y con plano axial cercano a la vertical. La dirección de sus ejes varía entre N 20°E y N 45°E.

Las fallas regionales encontradas son de tipo inverso.

Se describen las principales estructuras en sentido Noroeste Sureste.

2.3.1 Sinclinal de Armadillos

Esta estructura tiene un rumbo general N 45°E, es normal y simétrica. Afecta a las formaciones Une y Fômeque.

En el área del proyecto se extiende en una longitud de 3.0 Km y en inmediaciones de Toquilla está cubierto por depósitos morrénicos - pleistocénicos en una extensión de 5.5 Km.

2.3.2 Anticlinal de Toquilla

Estructura paralela a la anterior, tiene una longitud aproximada de 29 Km y afecta los sedimentos de las formaciones Macanal, Juntas Fômeque y Une. Este anticlinal cabecea hacia el Sur y parte de la estructura está cubierta en el área de Toquilla en una longitud de 4 Km por depósitos fluvioglaciares.

2.3.3 Sinclinorio Rio Vado Hondo

Tiene un rumbo general variable entre N 35°E y N 60°E.

Afecta las formaciones Fômeque, Une y Chipaque. La traza de su eje ha sido cartografiada en una longitud aproximada de 50 Kms. Esta gran estructura presenta repliegues anticlinales y sinclinales cerrados hasta de 10 Km de longitud.

Es una estructura normal con flancos simétricos.

2.3.4 Anticlinal del Río Sunce

A partir de la falla de Chámeza esta estructura se extiende en una

longitud de 60 Kms.

La traza de su eje tienen un rumbo variable entre N 35°E a N 62°E. En el núcleo aflora la formación Macanal y sus flancos están constituidos por las formaciones Juntas, Fόμεque y Une. Este pliegue es abierto y simétrico; dentro de esta estructura se localizan varios de los proyectos.

Una vez truncado por la falla de Chámeza este anticlinal continúa hacia el Suroeste, en donde tiene su cabeceo por una longitud de 21 Km y recibe el nombre de anticlinal de Chámeza.

2.3.5 Sinclinal del Desespero.

A partir de la falla de Chámeza se extiende por una longitud de 40 Km en una dirección que varía entre N 25°E y N 55°E.

Es un pliegue muy abierto, simétrico y con plano axial vertical. Afecta a las formaciones Macanal, Juntas, Fόμεque, Une y Chipaque.

2.3.6 Anticlinal de Monterralo

A partir del caserío del mismo nombre se extiende en dirección N 40°E por una longitud de 30 Km. Es una estructura cerrada y sus flancos están delimitados por dos fallas inversas. Afecta las formaciones - Une, Chipaque y Palmichal.

2.3.7 Sinclinal de Zapatosa

Estructura normal, amplia, simétrica, cuyo eje tiene dirección gene

ral N 50°E; su núcleo lo constituyen las rocas de la formación Caja. Su extensión en el área de estudio es de 70 Km. El flanco Oriental está afectado por la falla de Guaicaramo. Esta estructura afecta principalmente los proyectos de Charte, Cusiana y Tauramena.

2.4 Fallas

Las fallas de extensión regional fueron observadas en la parte central y baja del proyecto. Se describen en dirección Noroeste-Sureste:

2.4.1 Falla de Santa María

También denominada por algunos autores como falla de Chámeza.

Esta fractura, en cercanías al poblado de Chámeza tiene un rumbo general Oeste Este y en Recetor sigue un rumbo aproximadamente Norte-Sur, como se observa cerca a Pajarito, en donde el curso del río Cusiana está controlado por el rumbo de dicha falla.

3 Km al Norte de Pajarito la falla, cambia su rumbo a Norte 50°E; su buzamiento es Norte y Oeste, su ángulo es alto, 60° en promedio y tiene un gran desplazamiento en la vertical. Su zona de falla es amplia como se observa por las milonitas y brechas encontradas en el camino San Benito-Recetor.

2.4.2 Falla del Mirador

Es una falla de Rumbo con desplazamiento lateral de 500 m. El Rum

bo de esta fractura es N 35°E, su plano de falla se inclina hacia el Noroeste aproximadamente 60° y su zona de falla se extiende en un ancho de 800m.

2.4.3 Falla de Guaicaramo

Es de tipo inverso, de ángulo alto, 60°, cuyo plano de falla buza hacia el Noroeste.

Esta falla tiene un rumbo que varía entre Norte 35°-40° Este y se extiende en una longitud de aproximadamente 90 Kms. Afecta los proyectos de Charte y Bocas del Salinero.

Su desplazamiento vertical es de gran magnitud, pues pone en contacto rocas de la formación Caja (Terciario Superior) con rocas de la formación Fômeque (Cretáceo Inferior).

2.4.4 Falla de San Miguel

Esta estructura tiene un rumbo N 35°E buza 60° al Noroeste.

Afecta a las formaciones Caja, Corneta y El Diablo.

Su presencia incide en los proyectos Quiquía-Caja estudiados en la etapa inicial.

2.5 Discontinuidades Estructurales Menores.

Fracturas menores, diaclasas.

2.5.1 Area del sitio de presa Alisal

Una vez elaborados e interpretados los diagramas polares equiareales del fracturamiento; una vez observada la densidad a nivel de afloramiento, se llegó a los siguientes resultados (Ver figuras C-1 y C-2).

Disposición Estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento).

N 40°(± 5°) E / 52° (± 5°) W

N 80°E / 71°(± 4°) W

E - W / vertical (± 10°, tend. al S)

N 65 W / vertical (± 20°, tend. al E)

N 40 (± 10°) W / 85°E

N 40°W / 20°E

N 35 (± 10°) E / 55 (± 15°, tend. al E)

N 10°W / 75 (± 5°, tend. al W)

N 72° (± 8°) W / vertical

Según el análisis del diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes :

1. N 35° (± 5°) E / 50° (± 5°, tend. al W)
2. N 65 W / 70°E con tend a la vertical
3. N 70° (± 10°) W / verticales

El fracturamiento menor principal tiende a ser paralelo al rumbo de los estratos.

2.5.2 Area del sitio de presa Vado Hondo.

Con base en el diagrama polar equiareal mediante el análisis de 26 datos (Ver figuras C-3 y C-4).

Disposición Estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento).

N 40° (± 5°) E / 50° (± 5, tend. al W)

N 65° (± 5°) W / 70°E con tendencia a la vertical

N 15°E / 50° (± 10°, tend al E)

N 65°W / 40°E

N 40°E / 38° (± 7° tend. al E)

N 46°E / 75°E

N 60°E / 45°E

N 15°W / 74°W

N 25°E / 50°W

N 70°E / vertical

Según el diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes :

1. N 40° (± 5°) E / 50° (± 5, tend. al W)

2. N 65° (± 5°) W / 70°E con tendencia a la vertical

El fracturamiento menor principal tiende a ser paralelo a la dirección del rumbo de los estratos.

Los dos fracturamientos menores tienden a formar ángulos de 75°

2.5.3 Area del sitio de presa de Guspaquirá.

De acuerdo con el diagrama polar equiareal con base en el análisis de 70 datos (figuras C-5 y C-6).

Disposición Estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento):

N - S / 80°E con tendencia a la vertical
 N 60°W / 75° (± 5° tend al W)
 N 55° (± 15°) W / 70° (± 10° tend al W)
 N 20° (± 2°) W / 85° W tendencia a la vertical
 E - W / 85°W tend a la vertical
 N 70° (± 5°) E / 80°W tend a la vertical
 N 70°W / 80°E tend a la vertical
 N 62° (± 3°) W / 65° (± 5° tend al E)
 N 30° W / 70° (± 5° tend al E)
 N 15° (± 5°) W / 80°E con tendencia a la vertical
 N 30° (± 10) E / 70° (± 10° tend al E)

Según el diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes :

1. N 60° (± 10°) W / 60°E con tendencia a la vertical
2. N 25° (± 15°) E / 60° (± 10° tend al E)
3. E - W / 80 N con tend a la vertical
4. N - S / con tendencia a la vertical
5. N - S / con tendencia a la horizontal

La mayoría de diaclasas tienden a la vertical, aunque una serie de diaclasas secundarias tiende a la horizontal.

La principal disposición de diaclasas es normal al rumbo general de los estratos.

2.5.4 Areas de sitio de presa Rancharía

Analizando el diagrama polar equiareal con base en 46 datos.

Disposición Estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento)

(Ver figuras : C-7, C-8 y C-9).

N 70° (± 3°) W / 75°E con tend a la vertical

N 65° (± 10°) W 60°E con tend a la vertical

N 65° (± 15°) W / con gran dispersión en la dirección del buzamiento hacia el E.

N 10° (± 10°) W / 60° (± 10° con tend al W)

N 15° (± 15°) W / 55° (± 20° con tend al W)

N 18° (± 5°) W / 50° (± 7° con tend al W)

Según el diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes.

1. N 70° W / 70° (± 20° con tend al E)

N 10° (± 10°) W / 60° (± 10° con tend al W)

N 15° (± 15°) W / 55° (± 20 con tend al W)

Las fracturas tienden a ser normales a la dirección del rumbo de los estratos.

Las dos principales disposiciones de diaclasas forman ángulos de 60° y su rumbo general tiende hacia el W.

2.5.5 Area del Sitio de Presa Candelas

De acuerdo con el diagrama polar equiareal de fracturamiento se encontraron la siguiente disposición de diaclasas analizando 75 datos.

(ver figuras : C-10 y C-11).

Disposición estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento) :

N 60°E / 82 (± 3° tend al E)

E - W / 80° N con tendencia al buzamiento vertical

N 80° (± 5°) W / 85°E con tend a la vertical

N 50°W / con tendencia a la vertical

N 30° (± 5) W / 80° con tendencia a la vertical

N 20° (± 15°) E / 60°W con tendencia a la vertical

N 60° (± 5°) E / 70°W con tendencia a la vertical

N 50° (± 10) E / 50° (± 10° con tendencia al W)

N 70° (± 5) W / 3° (± 2 con tend al E)

N 52 (± 2°) W / 5 E

N 1° (± 5) E / 5 (± 5° con tend al Sur)

N 30° (± 5) W / 80 E con tendencia a la vertical

N 35°W / 52 (± 3° con tendencia al E)

N 15 (± 10) E / 70° E con tendencia a la vertical

Analizando el diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes .

1. N 60°E (± 10°) / 60°W con tendencia a la vertical
2. E - W / con tendencia a buzamientos verticales
3. N 20°E (± 10°) / 70°W con tendencia a la vertical
4. N 30°W (± 10°) / 40° (± 10° con tendencia al E)

La principal disposición de diaclasas forma un ángulo pequeño (40°) con el rumbo general de los estratos y un ángulo grande con la posición del eje de la presa (130°).

Todas las inclinaciones de buzamiento tienden a la vertical.

2.5.6 Area del sitio de presa de Sabanalarga

En la base al diagrama polar equiareal de fracturamiento con un total de 28 datos se encontraron las siguientes disposiciones de diclases. (Ver figuras : C-12 y C-13).

Disposición estructural (con dispersiones de rumbo y buzamiento):

N 50° (± 5°) W / 60° (± 5° con tend al W)

N 45° (± 3°) W / 65° (± 2° con tend al W)

N 55°W / 78° (± 3° con tend al W)

N 65° (± 5°) W / 70°E

N 55° (± 5°) W / 80°E con tendencia a la vertical

N 20°W / 80°E con tendencia a la vertical

N - S / 70°W

N 40° (± 5) E / 70°E

N 68 E / 70°E

E - W / 48°S

Analizando el diagrama polar equiareal se dedujeron las siguientes disposiciones estructurales dominantes :

1. N 50 (± 5) W / 65°W con tendencia a la vertical
2. N 60° (± 10°) W / 50°E con tendencia a la vertical
3. N 40° (± 5) E / 70°E

La primera disposición hace un ángulo de 70° con la dirección de

los estratos. Existe una tendencia tanto del buzamiento de los estratos como de las diaclasas a ser verticales.

2.5.7 Area del sitio de Presa de Corinto.

El diagrama polar del diaclasamiento dio los siguientes resultados basados en el análisis de 20 datos. (Ver figuras C-14 y C-15) .
Disposición estructural (con dispersión de rumbo y buzamiento).

N 45°W / 65° (± 3° con tendencia al E)

N 68°W / 35° (± 5° con tendencia al E)

N 30°W / 65° (± 5° con tendencia al E)

N 40° ± 5 W / 45° (± 5° con tendencia al W)

E - W / 70° N

Según el análisis del diagrama polar equiareal existe una dirección dominante del diaclasamiento :

1. N 45° W / 65° (± 3° con tendencia al E)

La principal dirección dominante hace un ángulo de 15° con el rumbo de los estratos.

El Rumbo general de las fracturas tiene una dirección N W con inclinación hacia el E.

2.5.8 Area del sitio de presa de Congutá

El diagrama polar de diaclasamiento dió los siguientes resultados basados en el análisis de 35 puntos. (Ver figuras C-16 y C-17).

Disposición estructural (con dispersión de rumbo y buzamiento) :

N 60° ($\pm 3^\circ$) W / 95°W con tendencia a la vertical

N 70°W / 80° E con tendencia a la vertical

N 50° ($\pm 5^\circ$) E / 50° ($\pm 5^\circ$ con tendencia al W)

N 42° ($\pm 3^\circ$) E / 80°E con tendencia a la vertical

N 50°W / 60°E con tendencia a la vertical

N 55° ($\pm 5^\circ$) E / 80°E con tendencia a la vertical

N 50°W / 72° ($\pm 8^\circ$ con tendencia al W)

N 37° ($\pm 3^\circ$) E / 85° ($\pm 5^\circ$ con tendencia al W)

Después de analizar el diagrama polar equiareal existen las siguientes disposiciones dominantes.

1. N 65° ($\pm 5^\circ$) E / con tendencia al buzamiento a la vertical
2. N 40°E / 80°E con tendencia a la vertical
3. N 65° ($\pm 5^\circ$) W / 65° ($\pm 5^\circ$ con tendencia al W)
4. N 40°E / 80°W con tendencia a la vertical

Las 2 disposiciones principales se intersectan en forma normal.

La 2a. disposición sigue en dirección paralela al rumbo de los estratos.

3. LAS OBRAS DE CIERRE

3.1 La Presa de Toquilla

Hállase en un ambiente típico de páramo, en los 3000m de altura s.n.m. Se desarrolla por un terreno ondulado, se observa a la izquierda el curso del Río Cusiana, mientras sobre la derecha existe una amplia depresión sin drenaje, posiblemente un antiguo cauce del río. La longitud total del coronamiento de la presa es de unos 800m y la altura puede variar entre 50 y 60m.

Los flancos del valles son generalmente suaves, denunciando la presencia de una fuerte cobertura de materiales detríticos de pasta limo-arcillosa, incluyendo potentes capas de morrenas glaciales, aparentemente reacondionadas por el drenaje y la solifluxión (materiales lacustro fluvio-glaciales), Grandes fragmentos rocosos (arenisca) se hallan esparcidos sobre las laderas, prácticamente por todas partes.

Los depósitos arriba descritos yacen por encima de la Formación Fômeque de lutitas arcillo-limosas, limolitas y con algunas intercalaciones de arenisca. El espesor de los materiales sueltos que recubren la Fômeque no está bien determinado. Quizás habría que pensar en 30m más o menos; un espesor que de todas maneras impide que la fundación de la obra de cierre llegue a la roca de fondo.

El recubrimiento de materiales sueltos no permite evidenciar la existencia de fallas o importantes trastornos tectónicos, pero la misma morfología del sitio no aparenta dicha existencia.

Los problemas prácticos que se pueden observar en este sitio se refieren a las características mecánicas de los terrenos de fundación y a su permeabilidad.

Las características mecánicas de los terrenos son evidentemente pobres. Hay que esperar alta compresibilidad de los materiales arcillo-limosos, cuyo esqueleto lítico no será suficiente para darles una estructura de cierta rigidez, De ahí se desprende la necesidad de construir una obra de cierre que tenga propiedades mecánicas muy diferentes de los terrenos de fundación.

Una presa de terraplén homogéneo utilizando las mismas capas arcillosas indicadas para un eventual núcleo compactado, puede ser la solución adecuada para el sitio. Quizás el mismo material morrénico puede ser utilizado, obviamente después de cierta clasificación para eliminar los grandes fragmentos de roca.

La sección de una obra de cierre de este tipo podría ser la convencional homogénea, con filtro de arena y protección de enrocado.

Aparentemente la permeabilidad de estos terrenos es baja; quizás se puede asumir en un 10^{-6} a 10^{-7} cm/s. Con este tipo de permeabilidad no hacen falta obras de impermeabilización. Por otro lado se avanza la hipótesis que -- existe en profundidad capas reacondicionadas por el acarreo, o materiales fluviales de alta permeabilidad. Si así fuere (y solamente los sondeos profundos podrán suministrar el dato definitivo), se podrá estudiar el procedimiento de impermeabilización más adecuado. Se presentan, en casos como estos, tres posibilidades tecnológicas :

a) Inyecciones

b) Pantalla vaciada en sitio (con bentonita)

c) Manto impermeable aguas arriba

Inyecciones a través de materiales granulares en presencia de arena fina, limo y arcilla, no se consideran ni efectivos ni económicos.

La pantalla vaciada en sitio (concreto o materiales plásticos ternarios de limo, concreto y arena) tienen un costo quizás excesivo para una obra de esta clase. Queda el manto impermeable, cuya ubicación y extensión serán dadas por las investigaciones y el cálculo hidromecánico y cuyo espesor puede ser aceptado en 2-3m de material impermeable (el mismo de las morrenas locales), protegido por piedras sueltas (riprap).

Un sector que podría necesitar el manto impermeable se puede indicar en la depresión de la derecha, donde también se puede pensar que en profundidad existen terrenos permeables y hasta capas de turba, originadas en el antiguo lago glacial o pantano.

El vertedero puede ser construido en el sector de centro derecha, cuidando que su parte final no vaya a chocar con la ladera del flanco izquierdo del valle, donde según evidencias de superficie y record histórico, se desarrolla un movimiento de inestabilidad plástica, tipo creeping. El pié de éste flanco izquierdo inestable se puede también proteger por medio de gaviones.

3.2 La Presa de Alisal

El valle es amplio y su piso está ocupado por materiales de acarreo, de espesor desconocido.

Sobre la izquierda se adelanta un espolón rocoso delgado y entrecortado por pequeñas fallas y fracturas. El flanco derecho macizo y de altura indefinida, pero está también afectado por trastornos tectónicos locales. La sección de cierre tendría un perfil trapezoidal, y una eventual presa de 107m de altura (de acuerdo con las necesidades de proyecto) tendría una relación entre altura y coronamiento de 1 a 4; y quizás más.

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) y debilitan el mismo representando, además probables rutas de fuga para el agua.

Considerando el perfil de la sección, como se indica antes, la presencia de las fallas-fracturas y el material de acarreo en el fondo del río, se excluye la posibilidad de construir aquí en forma conveniente una presa de concreto. Una obra convencional de enrocado, utilizando la arenisca local, se adapta muy bien al sitio. El núcleo impermeable se puede formar con capas arcillosas de los alrededores sin ningún problema especial.

El vertedero va a representar un problema constructivo de cierta dificultad pues harán falta grandes excavaciones sobre la ladera izquierda y consecuentes obras de estabilización para los taludes resultantes de las excavaciones.

3.3 La Presa de Vado Hondo

Esta sección se encuentra a unos 2.500m aguas abajo del Alisal y la altura de la presa sería aquí de 129m. El perfil de la sección es más bien asimétrico con el flanco derecho de más suave pendiente.

En la izquierda aparece una terraza aluvial antigua, en parte destruída y en la derecha, inmediatamente aguas abajo del eje de cierre, un amplio conoide llegaría a interesar la parte de aguas abajo de la obra de cierre. En el fondo del río existe material de acarreo, cuyo espesor se desconoce, pero con toda la apariencia de ser importante.

La litología es la misma que en Alisal : areniscas con capas de lutitas, de las formaciones Fômeque y Une.

La estructura local no es muy clara aunque no se observan grandes trastornos tectónicos. Las rocas aparecen muy fracturadas y localmente perturbadas. El único tipo de obra que se adapta al sitio es un terraplén convencional de enrocado, impermeabilizado por un núcleo compactado. No parecen existir problemas para los materiales de construcción. Grandes excavaciones se van a necesitar para eliminar la terraza aluvial de la izquierda, el conoide de la derecha y muy probablemente el monto de material de acarreo del fondo del río. El vertedero también obligaría a grandes excavaciones en el flanco de la sección.

La eventual impermeabilización del manto de acarreo presentaría serios problemas técnico-económicos.

En conclusión se puede decir que una obra de cierre en ésta sección, aunque factible, no parece conveniente ni técnica ni económicamente.

3.4 La Presa de Chámeza

Se encuentra sobre el río Salinero inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el río Sunce. Aquí se planea una obra de cierre que puede tener altura variable entre 147 y 180m de acuerdo con necesidades hidrológicas.

El río corre en una garganta rocosa de paredes muy empinadas, con partes hasta verticales y material de acarrero de espesor desconocido en el fondo. Sobre la izquierda el flanco está formado por un espolón bastante delgado y de altura máxima alrededor del 150m sobre el nivel del cauce. Al contrario, el flanco derecho está formado por un macizo rocoso de altura indefinida en relación con la obra de cierre.

En ambas márgenes afloran rocas de la Formación Las Juntas que consisten de un conjunto de areniscas cuarzosas de grano fino, de estratificación maciza, con intercalaciones de lutita negra pizarrosa.

La estructura local parece bien definida, con capas subverticales de dirección casi normal al eje del río. Con esta estructura principal el espolón de la izquierda queda entrecortado por las juntas de las diferentes capas y entonces aún más debilitado.

Una importante falla regional, la falla de Chámeza (o de Santa María) transita aguas arriba de la confluencia y del sitio de presa, controlando el curso de los dos ríos concurrentes : el Salinero y el Sunce. Su distancia del sitio de cierre sinembargo le quita importancia para efectos prácticos. Los problemas prácticos de ésta sección se refieren a la escasez del cuerpo rocoso del espolón izquierdo, a la permeabilidad del mismo, al espesor de

acarreo en el lecho del río.

El espolón izquierdo limita prácticamente la altura de la obra a un teórico 150m, pero efectivamente a poco más de 140m. La hipótesis que se ha avanzado de construir un dique por encima del espolón para llegar a una altura de presa de 180m no parece aceptable por lo menos en términos de conveniencia económica (y posiblemente hasta técnica). De hecho para fundar un dique, que sería de concreto y con altura de más de 30m, habría que excavar y acondicionar el tope del espolón por no menos de 10m. La altura del dique sería entonces de 40m. El espolón estaría sometido a un esfuerzo en doble sentido horizontal por la carga hidráulica y vertical por el dique. Conociendo su estructura de capas verticales, parece que el espolón difícilmente podría sustentar dichos esfuerzos.

En cuanto a permeabilidad, ésta seguramente afectará el espolón (y posiblemente también el flanco derecho). Hará falta una intensa y extensa campaña de inyecciones para conseguir el necesario sellado de la sección.

No se puede excluir de antemano la posibilidad de construir aquí una obra de cierre de concreto. Sin embargo considerando también que el vertedero encuentra su posición natural y muy conveniente sobre una depresión del espolón de la izquierda, la obra que más se adapta al sitio parece un enrocado convencional, impermeabilizado por un núcleo compactado de tierra arcillosa. No se prevén problemas para conseguir los materiales de construcción la roca puede ser la misma arenisca de los alrededores. Tierras arcillosas deben de haber en abundancia aguas arriba, en los dos valles confluentes, de buena morfología.

Variante con dos presas. Se ha adelantado la hipótesis de substituir la pre

sa grande de Chámeza, en el sitio que se acaba de describir, con dos presas ubicadas cerca de la confluencia, en los dos ríos confluentes Salinero y Sunce. Los dos embalses que se formarían, podrían estar conectados por medio de un túnel de unos 1000m de longitud.

Factible en principio, esta alternativa presenta varios problemas constructivos, además del económico; el volumen de las dos presas sería superior al volumen de la presa única; las dos presas estarían más cerca de la falla de Chámeza; el túnel de conexión entre los dos embalses sería de difícil excavación por el escaso recubrimiento y el tipo de roca a ser atravesado.

Variante de Presidio : Otra alternativa para la presa de Chámeza ha sido indicada aguas abajo, en el sitio llamado Presidio. Aquí el volumen de la obra de cierre sería substancialmente mayor que en Chámeza y la altura de la misma llegaría a los 200m.

La morfología parece favorable y la litología es la misma que en Chámeza. El material de acarreo en el fondo del río parece tener espesor importante, posiblemente similar al de aguas arriba. El vertedero sería excavado en el flanco de la sección izquierda, necesitando grandes excavaciones de roca y consecuentes obras de estabilización.

La sección de cierre en Presidio, se puede concluir, no parece económicamente conveniente.

3.5 La Presa en Bocas del Salinero

Se encuentra en la confluencia del Río Salinero con el Río Cusiana. Aquí la confluencia ha excavado hondos cañones entre rocas, dejando un acentuado es

polón rocoso que domina la confluencia misma con laderas abruptas. La obra de cierre que se planea en este sitio tendría 150m de altura.

En el sitio de cierre, inmediatamente aguas abajo de la confluencia, afloran rocas de la Formación Une de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, macizas, con partes conglomeráticas y partes arcillosas.

La estructura local es un anticlinal, que puede observarse en ambos flancos. La dirección de la estructura presenta un rumbo N-40°E, es decir cruzando el río casi normalmente.

Aguas arriba de la confluencia parece transitar una falla local pero su presencia está todavía por comprobarse. No estaría de todas maneras en el área de interés de la obra.

Al contrario, el propio sitio de presa parece libre de cualquier disturbio tectónico.

El río parece haberse abierto paso a través de la cuesta aprovechando las juntas paralelas a su curso, las capas están buzando aguas arriba con un fuerte ángulo; la estructura está netamente favorable tanto desde el punto de vista mecánico como del punto de vista del sellado de la sección.

La permeabilidad de las rocas locales puede ser grande, especialmente si se considera la abundancia de fisuras y diaclasas pero en este tipo de roca una buena campaña de inyecciones debe tener éxito completo.

La solidéz y competencia de las rocas locales y así mismo la morfología de la garganta, pueden sugerir la conveniencia de diseñar aquí una obra de concreto. Una presa en arcogravedad podría representar el tipo más adecuado con el cual también el problema del vertedero quedaría facilitado. El arco

podría englobar el espolón rocoso del centro el cual oportunamente acondicionado por excavaciones parciales, podría ser incorporado en la presa misma, ahorrando volumen de concreto.

Si una presa de concreto no resultara conveniente, un terraplén de enrocado con núcleo impermeable es seguramente posible, usando de la misma arenisca local para el material grueso del enrocado.

Tierras arcillosas para el núcleo tienden ser abundantes en los alrededores tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio de presa.

3.6 La Presa de Charte

Se sitúa sobre el río Charte, en su última garganta antes de abrirse hacia el Llano. La obra de presa aquí puede tener una altura entre 128 y 150m. El río rompe una cuesta cuyas capas están buzando hacia aguas arriba con ex tensos afloramientos. Se trata de una formación litológica terciaria, denominada Diablo (Td) y compuesta por areniscas cuarzosas, de grano fino a grue so, estratificadas en bancos potentes, de hasta 6m de espesor.

Hay delgadas intercalaciones de arcillolitas y el porcentaje arenisca-rocas de origen arcilloso varía con la altura en la columna estratigráfica.

La estructura del sitio es favorable para la obra de cierre; como ya se ha dicho las capas están buzando aguas arriba con fuerte ángulo. No se conocen fallas importantes que afecten directamente la sección de presa.

Fundación y sellado no parecen problemas de dificultad especial en el sitio. El material de acarreo no parece importante (debido a lo angosto de la gar ganta), la permeabilidad de la sección no puede salirse de lo normal en és

tos casos y se podrá contrarrestar por medio de inyecciones.

En cuanto al tipo de obra que más se adapta al sitio no hay suficientes datos para determinar si una obra de concreto, que por la morfología podría ser aceptable, pueda ser diseñado. De todos modos un enrocado con núcleo im permeable es seguramente factible, utilizando materiales de construcción lo cales. El vertedero en este caso podría ubicarse sobre un flanco, abriendo excavaciones en la ladera. De estas excavaciones se podría utilizar el mate rial para el enrocado.

Un problema relativo a esta sección se refiere al sedimento sólido que las aguas están acarreando. Especialmente la quebrada llamada La Colorada, transporta gran cantidad de material en suspensión y que su curso está cruzando formaciones terciarias de arcillas y rocas deleznales.

3.7 Otras Presas Menores

El proyecto considera diferentes presas sobre ríos y quebradas, cuya altura no puede provocar problemas constructivos.

Se trata de obras de captación sin embalse, tales como Ranchería, Guspaquirá, Sabanalarga, Candelas y otras que pueden volverse interesantes en la eco nomía general del proyecto.

Estas obras no van a tener ningún problema relativo a la geología y pueden ser planeadas en esta fase preliminar sin mayores preocupaciones. Eventuales pequeños problemas locales serán estudiados en las fases sucesivas, cuando el esquema del aprovechamiento esté bien definido.

4. LOS TUNELES

El proyecto de aprovechamiento del río Cusiana, cualquiera que sean sus soluciones implica la excavación de varios túneles, cuya longitud puede variar hasta un máximo algo inferior a los 20 Km.

En la presente fase de estudio casi ninguno de los túneles que se pueden planear tiene la seguridad de entrar en el esquema final del aprovechamiento. Por esta razón se considera inútil discutir caracterísricas prácticas de túneles específicos, mientras parece más conveniente enfrentar los problemas más generales que en esta región y en estos tipos de terrenos se pueden presentar para túneles de mediana y gran longitud.

Estos problemas se refieren a litología, recubrimiento, presencia de agua de infiltraciones, longitud óptima, necesidad de accesos intermedios para excavación y drenaje, orientación de la galería en función de la orientación de la estructura regional, portales, revestimiento y soportes, métodos de excavación.

4.1 Litología

Se considera la posibilidad de dos tipos de roca: la arenisca, en todas sus variedades, y las rocas de origen arcilloso, como lutita, limolita, marga, arcillolita, etc.

Un túnel a través de arenisca ofrece buenas condiciones de excavación; la roca es medianamente dura, generalmente homogénea, aunque algo abrasiva, por lo menos cuando se trata de arenisca cuarzosa de cemento silíceo, lo que parece el caso más frecuente en la región.

Un túnel a través de las unidades litológicas de génesis arcilloso, presenta fácilmente condiciones mecánicas dudosas pues la roca es débil, poco competente, químicamente alterable, y, en presencia de agua, frecuentemente arcillificada.

Cuando la roca se ha vuelto arcilla, ésta última es sumamente inestable y con tendencia a hincharse. Por otro lado en el interior del macizo rocoso lejos de perturbaciones tectónicas, la excavación en éstas rocas puede muy bien resultar favorable y hasta mejor que en la arenisca, siendo rocas más compactas, menos afectadas por fracturamiento y con poca agua de infiltración.

De todas maneras cada vez que se pueda escoger entre un túnel a través de arenisca o de lutita y rocas asociadas, será oportuno mantenerse en la arenisca.

4.2 Recubrimiento

Muy importante en este tipo de geomorfología es el recubrimiento de los túneles, entendiendo el espesor de roca que se considera mínimo para una segura operación de excavación, tanto en el sentido vertical (techo del túnel), como en los flancos.

El diámetro de los túneles que se pueden diseñar en el área del proyecto es siempre modesto, no sobrepasando, en la excavación, los 3.50m. Un diámetro pequeño influye también sobre el espesor de recubrimiento que por obvias razones, puede ser menor.

En arenisca, roca rígida y competente, el recubrimiento mínimo se puede indicar en unos 50m, siempre que no se presenten fuertes anomalías estructura

les, como fallas, grietas o fisuras.

En rocas lutíticas y afines el espesor tiene que ser conservativamente considerado nunca inferior a los 100m. Esta necesidad toma en cuenta la incompetencia de la roca, su plasticidad, los espesores de detrito que general-mente la recubren, la alteración que esta misma roca sufre fácilmente por efecto del meteorismo y de la presencia de agua.

4.3 Presencia de Agua

El agua de infiltración en el interior de los túneles se puede considerar en general abundante. Esta afirmación se basa en los datos siguientes :

- Elevada pluviosidad regional
- Fuerte diaclasamiento y fracturación de las formaciones rocosas locales
- Permeabilidad primaria de las areniscas (por porosidad).

Quiere decir que en terrenos de arenisca el agua de infiltración se puede presentar en forma abundante y reunida en avenidas bien definidas a través de grietas que drenen macizos enteros. En formaciones de capas alternadas de arenisca-lutita, la primera roca puede encerrar agua estancada y bajo presión, confinada por las capas impermeables de lutita y rocas afines. Cuando las alternancias litológicas entre rocas permeables y rocas impermeables son de gran espesor (gran espesor de roca impermeable que encierra un gran espesor de roca permeable), al pasar la perforación del impermeable el permeable puede abrir paso a grandes caudales de agua que invaden el túnel con peligro para el personal y el equipo.

La presencia de agua obliga a diseñar una canaleta de drenaje en el piso de la galería, cuya capacidad será establecida después de obtener datos de las

investigaciones (véase cap.6). La presencia de agua favorece también la abertura de accesos intermedios (ventanas) todas las veces que la topografía lo permita.

4.4 Accesos Intermedios

Además que por razones del drenaje, como aquí arriba se indica, los accesos intermedios, o ventana pueden ser útiles para facilitar las operaciones de excavación. La apertura de ventanas intermedias solo es posible cuando la topografía (depressiones, quebradas, valles laterales) lo favorece. Además, con la moderna técnica de excavación hay una longitud óptima de tramo de excavación que resulta inútil rebajar. Para máquinas de perforación rotativas la longitud óptima puede ser asumida en 10Km, así que la apertura de ventanas intermedias que reduzcan estas longitudes se puede justificar solamente por el drenaje.

También las ventanas pueden ser función de la pendiente del túnel, túnel a una pendiente hacia aguas abajo, túnel a dos pendientes (piezométricos), etc. Estas características representan detalles que no pertenecen a esta fase preliminar del estudio.

4.5 Orientación

La estructura de las formaciones geológicas está bien definida y tiene un rumbo aproximado general NE-SW.

Los filos rocosos, las cuestas y los relieves en general obedecen a ésta alineación que no es sino la alineación de la Cordillera Andina del Norte

de Colombia.

Ejes de anticlinales y sinclinales, como también fallas regionales, siguen el mismo rumbo, mientras el drenaje, obligado por los pliegues y controlado por las fallas, está obligado a romper las cuestas y las cordilleras con rumbos de las gargantas normales a la alineación estructural, es decir aproximadamente NW-SE.

Resulta de las consideraciones anteriormente anotadas que la mejor orientación de los túneles de cierta longitud, será la que atraviesa normalmente las estructuras; cuestas, filos, pliegues, fallas, etc. Una orientación paralela a las estructuras puede caer en una falla, puede tener escaso recubrimiento y puede volverse de difícil excavación porque estaría atravesando las mismas capas por notables longitudes, resultando en problemas de estabilidad en la excavación.

4.6 Revestimiento

En principio todo túnel hidráulico que atraviese terrenos como los del proyecto Cusiana, tiene que ser revestido de concreto. El revestimiento tiene triple función : contribuir a la estabilidad de la excavación, sellar el túnel, disminuir el coeficiente de fricción.

El espesor del revestimiento de concreto convencional se calcula en un 10% aproximado del diámetro del túnel. No se consideran hierros de armadura sino en casos excepcionales (presencia de trastornos tectónicos, arcillificación, etc).

Métodos modernos de revestimiento permiten dividir la operación en dos

etapas, eliminando la necesidad de un prerevestimiento con concreto lanzado, mallas de acero y anclajes.

Estos procedimientos, que pueden ser industrializados, quiere decir que pueden hacerse con elementos prefabricados y estandarizados, se aplican especialmente cuando la perforación del túnel se hace por medio de máquinas rotativas.

4.7 Portales

En terrenos de arenisca no se prevén dificultades para abrir portales de túneles. Solamente será suficiente acondicionar el frente de excavación con mallas de acero y concreto lanzado y anclajes.

En terrenos de lutita y rocas asociadas, al contrario, se puede esperar inestabilidad, debido a la incompetencia de la roca, a la masa detrítica y a la alteración de la roca misma en sus capas superficiales. Para los portales en éstas condiciones habrá que diseñar embocaduras artificiales, quiere decir tramos de túnel artificial en concreto por una decena de metros afuera del portal, llegando, en el interior de la excavación, hasta juntarse con la roca fresca y competente.

4.8 Métodos de Excavación

Metodologías de excavación, clásicas ó con máquinas rotativas, solo se pueden establecer conociendo los túneles específicos del proyecto, su longitud y los terrenos que van a ser atravesados. En esta fase de los estudios por lo tanto no queda sino adelantar noticias generales.

Cualquier tipo de roca, desde arenisca hasta las unidades más blandas de las rocas de génesis arcilloso, puede en principio ser atravesado con máquinas rotativas modernas.

Las condiciones que se necesitan se refieren a homogeneidad de la roca y a la longitud de la excavación.

La homogeneidad se entiende como uniformidad de la unidad litológica a ser atravesada puesto que la versatilidad de las máquinas perforadoras tienen un límite. No se puede pensar, por ejemplo, que una misma máquina rotativa sirva para perforar arenisca cuarzosa y lutita arcillosa.

Por lo que a longitud se refiere, es bien sabido que un túnel de 10Km de longitud representa la distancia óptima para dicha máquina (igualmente en relación con su depreciación).

La ventaja de aplicar una máquina rotativa moderna se refleja también en las operaciones auxiliares, tales como el revestimiento de concreto. Como dicho anteriormente (véase párrafo 3.6), ciertas máquinas llevan dispositivos para la aplicación de elementos de concreto prefabricado (en forma de tejas), para finalizar el revestimiento del túnel, volviendo ésta operación estandarizada, fácil y económica.

Se puede concluir adelantando la opinión que por el tipo de terreno del proyecto (fácilmente formado por alternancias de rocas duras y de rocas blandas), por la longitud de los túneles que se pueden diseñar y por la dificultad de los accesos, la utilización de moderna maquinaria de perforación no parece muy fácil ni económica. De todas maneras la excavación con métodos clásicos (perforación y voladura) disfruta hoy en día de metodologías y equipos adelantados (y ambos con maniobras electrónicas), cuyo rendimiento

no se aleja mucho del de las máquinas rotativas.

4.9 Conclusiones y Previsiones .

Se quiere concluir el aspecto de excavación de túneles en el área del proyecto, con las previsiones relativas a tipos de roca y a operación de excavación y soporte, para las diferentes unidades litológicas.

Para túneles en arenisca maciza o en alternancia en los cuáles las areniscas representan la mayoría hasta por lo menos un 70%, se pueden hacer las siguientes previsiones.

Roca del tipo A, que no necesita soporte durante la excavación	60%
Roca del tipo B, que necesita soportes livianos y distanciados	30%
Roca del tipo C, que necesita soportes pesados y continuos	10%

Para túneles en rocas lutíticas y asociadas (limolitas, margas, arcillolitas, etc) :

Roca del tipo A : 50 %
Roca del tipo B : 20 %
Roca del tipo C : 30 %

En la roca del tipo C se incluyen los portales.

Cambiando las proporciones de los tipos de roca, cambia proporcionalmente el porcentaje de los tipos A, B y C.

En cuanto a agua de infiltración se esperan mayores cantidades en areniscas. Para túneles de gran longitud parece conveniente considerar caudales de algunos hasta varios centenas de l/s en total.

Se excluye de antemano la posibilidad de excavar cavernas para casas de máquinas en rocas francamente lutíticas (o margas, etc), a elevada plasticidad y la fácil alteración de estas rocas lo impiden.

En rocas prevalentemente de arenisca, cavernas de cualquier tamaño se pueden excavar y en éstos casos la competencia de la roca y su estructura jugarán un papel esencial.

En cuanto a estructura será necesario determinar con las investigaciones dirección y buzamiento de las capas y además, el retículo de la microestructura (juntas), para escoger la mejor orientación de la caverna.

En rocas alternadas de areniscas y lutitas, arcillolitas, margas, etc., se tratará de evaluar los parámetros mecánicos que pueden suponerse de acuerdo con los diferentes porcentajes de los dos tipos litológicos.

De todas maneras el diseño de la caverna será de lo más conservativo posible, tratando de diseñar cavidades autoportantes.

Una caverna de muy buena estabilidad, por ejemplo, se identifica con una bóveda autoportante por efecto de arco y una parte baja formada por pozos circulares o elípticos, uno por cada unidad generadora separados por espesos diafragmas de roca in situ, sobre cuyos pisos se sitúan los patios de operación. Con este tipo de caverna tanto la mitad superior como la mitad inferior son autoportantes y no van a necesitar grandes obras de atirantamiento, con excepción de sitios específicos perturbados por tectonismo o alteración de la roca. La estratificación de las rocas locales es de todas maneras favorable para la aplicación de tirantes que puedan necesitarse en sitios -

específicos.

Las paredes y bóvedas de la caverna serán enteramente revestidas de concre
to y convenientemente drenadas.

6. INVESTIGACIONES

6.1 Generalidades

Para las próximas etapas de estudio habrá que llevar a cabo investigaciones tanto de campo como de laboratorio. En principio como investigaciones se puede indicar :

- Excavaciones a cielo abierto : pozos, tajos, 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 Roca in situ
- Pruebas de Mecánica de Suelos in situ

Las investigaciones de laboratorio se limitan a pruebas de mecánica de roca, pruebas de mecánica de suelos, análisis mineralógicos.

6.2 Presas

Toquilla : Los problemas principales a ser estudiados en ésta sección se refieren a :

- a) Características mecánicas de los terrenos de fundación
- b) Permeabilidad de los terrenos de fundación

Los dos problemas pueden ser estudiados conjuntamente por medio de una serie de sondeos de roto-percusión, uno cada 100m, sobre el eje de cierre,

verticales que atraviesen todo el cuerpo de material suelto y penetren por lo menos 10m en la roca del fondo. En estos sondeos se llevarán a cabo pruebas de permeabilidad y se sacarán testigos (núcleos en la roca, muestras en Shelby tubes en el material suelto).

Al encontrar capas o lentes de materiales permeables o de muy baja característica mecánica (grava, arena, cieno, turba) se podrá perforar sondeos adicionales sobre una alineación normal al eje de cierre, con el objeto de averiguar la extensión de dichos depósitos hacia aguas arriba y abajo.

Los sondeos sobre el eje pueden ser integrados por secciones geofísicas (sísmicas con sondeos eléctricos tipo Schlumberger en los puntos de encuentro de las secciones sísmicas), con el objeto de reconocer con más exactitud el perfil de la roca de fondo.

Excavaciones a cielo abierto pueden ser útiles, tales como pozos y trincheras, de los cuáles se pueden sacar muestras para pruebas de laboratorio. Las pruebas de laboratorio sobre muestras del material de fundación serán las convencionales que el especialista en mecánica de suelos puede indicar.

Alisal y Vado Hondo : En éstas secciones los problemas principales se refieren al espesor del manto aluvial y a la presencia de fallas locales, o grandes fracturas, que entrecortan los flancos de la sección.

Sondeos de rotación, orientados en forma de atravesar el mayor número de capas, puede dar buenos resultados.

En el fondo del río sondeos rotativos convergentes pueden indicar la posible existencia de una falla longitudinal al valle y, al mismo tiempo, indicar el espesor, la granulometría y la permeabilidad del material de acarreo.

Este último dato puede ser también corregido, o perfeccionado, por medio de investigaciones geofísicas.

En los flancos de las secciones, para averiguar la existencia y el significado de las fallas o facturas, se pueden excavar socavones hasta de 100m de profundidad, dentro de los cuales llevar a cabo pruebas de mecánica de roca.

Chámeza : La consistencia y permeabilidad del espolón de la falla izquierda y el espesor del manto aluvial representan los problemas principales de esta sección.

Sondeos de rotación en el fondo del río, verticales y convergentes, pueden indicar las características del material de acarreo.

Sondeos inclinados de 45° pueden indicar permeabilidad y consistencia del espolón de la izquierda el cual tendrá que ser atravesado también por túneles de exploración (socavones) oportunamente orientados y que lleguen o penetren íntegramente el espolón mismo. En estos socavones se pueden llevar a cabo pruebas de mecánica de roca.

Bocas del Salinero : Al presente nivel de conocimiento de esta sección de cierre no se pueden indicar más que una serie de sondeos rotativos que lleguen a interesar los dos estribos y el espolón central. También socavones en los flancos son recomendables en fases de estudios más avanzados. Muy importantes para ésta sección serán las pruebas de mecánica de roca in situ, especialmente si se considera la posibilidad de construir aquí una obra de cierre en concreto.

Charte : Valen aquí las mismas consideraciones recomendadas para la presa en Bocas del Salinero.

Presas Pequeñas :

Excavaciones a cielo abierto y algunos sondeos de poca profundidad pueden ser suficientes para aclarar las características geotécnicas de los sitios de presa donde se va a necesitar tan solo una obra de captación sin altura.

6.3 Túneles

Las investigaciones para túneles largos se pueden indicar como a continuación :

- a- Análisis fotogeológico con control sobre el terreno
- b- Sondeos de rotación en los portales y en las depresiones a lo largo del recorrido.
- c- Socavones en los portales y en eventuales ventanas intermedias.
- d- Secciones geofísicas longitudinales y transversales
- e- Estudios hidrogeológicos.

De importancia primaria y de fácil ejecución se consideran los estudios hidrogeológicos.

Obviamente las investigaciones hidrogeológicas solo se llevan a cabo para túneles de cierta longitud, por ejemplo no menos de 10Km.

6.4 Cavernas

La posibilidad de investigar cavernas para casa de máquinas depende de la ubicación de las mismas en el interior del macizo rocoso.

Generalmente las investigaciones de campo se limitan a sondeos de rotación, verticales e inclinados, que lleguen hasta el piso de la caverna, por lo menos. Un socavón excavado sobre el eje de la futura galería de acceso resulta de suma utilidad y su profundidad será la suficiente para llegar al centro de la futura caverna. Al fondo del socavón se abrirán ramales para explorar los alrededores y también se abrirán cámaras donde se puedan llevar a cabo pruebas de mecánica de rocas.

El especialista entregará el programa de investigaciones de mecánica de roca tanto in situ como en laboratorio. De todas maneras dichas pruebas se pueden indicar en Pruebas de carga con placa circular rígida. Pruebas de corte (cizallamiento) sobre cubos excavados y modelados in situ. Pruebas para tensiones residuales, otras pruebas eventuales. Las pruebas in situ serán confirmadas por una serie de pruebas similares, en laboratorio.

6.5 Materiales de Construcción

El programa de investigaciones de campo y laboratorio para materiales de construcción (roca, agregados para el concreto, tierras arcillosas) es tarea del especialista de mecánica de suelos. Se puede adelantar que, para localizar y evaluar canteras de roca, será necesario ejecutar voladuras experimentales en frentes de cantera, con el fin de obtener datos sobre explosivos, procedimientos de exploración, tamaño y forma del producto de cantera. En laboratorio se procederá a los análisis y pruebas usuales para desgaste, dureza, reactividad de las muestras sacadas de los frentes ensayados.

Para terrenos arcillosos será suficiente excavar pozos de ensayo en los sitios morfológicamente favorables, atravesando el estrato aprovechable, sa-

cando muestras en distintos niveles y en cada cambio de material. Seguirán los ensayos de laboratorio en la forma convencional.

Para los agregados del concreto se establecerán las granulometrías de los materiales sacados de pozos de ensayos a través de los mantos de acarreo. Otro dato necesario se refiere al recuento mineralógico estadístico de los fragmentos rocosos, en fin seguirán las pruebas de laboratorio para desgaste y reactividad.

7.0 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LOS PROYECTOS ATRACTIVOS

7.1 Proyecto Guspaquirá

Generalidades

Este proyecto consiste en una presa de derivación localizada aguas abajo de la confluencia de la Quebrada Guspaquirá con el río Cusiana.

Sobre la vertiente izquierda del río Cusiana estarán localizadas las demás estructuras.

La Geología General del proyecto y el perfil generalizado del túnel se muestra en las Figuras 4.5 y 4.6

7.1.1 Litología

La presa de derivación está localizada sobre lutitas limo-arcillosas y limolitas de la formación Fómeque, la cual tiene un rumbo general N 70°E con una inclinación de 30° hacia el Noroeste (ver columna estratigráfica adjunta).

Los túneles atraviezan por las siguientes formaciones : Lutitas arcillosas y limolitas negras estratificadas en capas de pocos centímetros hasta de un metro de espesor con intercalaciones de margas y capas de caliza lumaquéllicas hasta de 2 mts de espesor.

También afloran la Formación Juntas que consiste de areniscas cuarzosas, de grano fino, masivas, duras y resistentes, con delgadas interestratificaciones de lutitas negras.

Hacia la Casa de Máquinas existe un pequeño depósito aluvial que con-

siste en : bolos, gravas, gravillas y arena no consolidados.

7.1.2 Material de Descapote

Por ser presa de pocos metros de altura y aflorar la roca en el lecho del río, sólo se requiere remover la pequeña capa de meteorización, hasta una profundidad aproximada de 2 mts y los restos de depósitos aluviales y coluviales localizados en las márgenes del sitio de presa.

Para la zona de casa de máquinas se recomienda remover el aluvión en la margen izquierda del río, y tener en cuenta las siguientes disposiciones estructurales : 1) N 70°W / 70° (\pm 20° con tend al E)

2) N 10° (\pm 10°) W / 60° (\pm 10° con tend al W)

3) N 15° (\pm 15°) W / 55° (\pm 20° con tend al W)

7.1.3 Estabilidad de las laderas

En el sitio de la presa de derivación no se observan fenómenos de inestabilidad aunque se observen las siguientes disposiciones estructurales :

1) N 60° (\pm 10°) W / 60°E con tendencia a la vertical

2) N 25° (\pm 15°) E / 60° (\pm 10° con tend al E)

3) E-W / 80°N con tend a la vertical

4) N-S / con tend a la vertical

5) N-S / con tend a la horizontal

El túnel se localizó sobre la margen izquierda en razón a que la zona

está menos fracturada y en el, el porcentaje de roca de buena calidad es mayor. Las obras que se programen con el fin de buscar la estabilidad deberán estar relacionadas con las siguientes recomendaciones :

- 1) La mayoría de diaclasas tienden a la vertical.
- 2) La principal disposición de diaclasas es normal al rumbo general de los estratos.

Se evitarán atravesar por la formación Macanal que es la que presenta los mayores problemas de inestabilidad en toda el área.

En la zona donde se hará la explanación para la casa de máquinas, deberá hacerse un estudio de suelos para el diseño del talud de corte y la capacidad portante del suelo infrayacente.

7.1.4 Estabilidad de los Túneles

El portal de entrada del túnel de conducción estaría localizado sobre las lutitas de la formación Fômeque, las cuáles, buzan en la dirección aguas arriba. Debido al poco techo y la naturaleza arcillosa de la formación este portal y los primeros 200 metros deben ser blindados y revestidos con concreto neumático. (ver disposiciones estructurales de fracturamiento).

Desde el K 0 + 200 hasta el K 1 + 550 se requerirá pernos y revestimientos con concreto neumático.

El tramo K 1 + 550 hasta el K 8 + 500, el túnel atravieza en su mayor parte areniscas de la formación las Juntas, las cuáles son masivas y resistentes.

Como estas areniscas están interestratificadas con delgadas capas de lutitas y debido a que en la parte media (K 4 + 125) se localiza el eje de un anticlinal, allí es posible que el túnel atraviese por lutitas de la formación Macanal, en éste tramo se ha sugerido que el 30% debe llevar pernos y concreto neumático en el sector restante, se sugiere un simple revestimiento debido a la buena calidad de la roca.

Desde el K 8 + 500 hasta la casa de Máquinas, afloran estratos arenosos de la formación arenisca de las Juntas; como estaría localizada la Almenara y la tubería de presión se requerirá soportes y refuerzos del túnel de carga debido a las grandes presiones generadas.

7.1.5 Determinación y Evaluación Preliminar de las Fuentes de Materiales de las Zonas de Préstamo.

Debido a los bajos volúmenes requeridos para las obras y considerando la litología por donde atravieza el túnel, se ha considerado que con el material aluvial y el producto de la excavación de las areniscas durante la construcción del túnel, se obtiene el material necesario para la presa de derivación y los agregados de concreto, previa trituración.

7.1.6 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el proyecto Guspaquirá es factible, se requiere, en estudios posteriores, una investigación detallada de las capas de -

La formación Fômeque en donde se ubica la presa de derivación y el portal de entrada en la relación con el estado de fracturamiento o disposición estructural.

El túnel será estable en la mayor parte del proyecto, en aquellas zonas en donde crucen lutitas que son rocas incompetentes, se sugiere su estabilización con pernos o marcos de acero y concreto neumático.

La razón por la que el túnel se ha ubicado sobre la vertiente izquierda, es que aunque por la otra margen tiene un traza más corto, la inestabilidad, fracturas, deslizamientos y naturaleza la formación haría el proyecto altamente oneroso.

Para la casa de Máquinas se debe tratar de fundar directamente sobre roca, lo cual es posible, debido al poco espesor del depósito aluvial.

7.2 Proyecto Ranchería

Generalidades

Localizado a continuación del proyecto Guspaquirá (figuras Nos.4.5 y 4.7) y como el anterior es un proyecto de caída presentando la misma conformación Geológica.

7.2.1 Litología

En el área de influencia de éste proyecto, afloran rocas sedimentarias pertenecientes a la formación areniscas de Las Juntas, que constan de estratos masivos, duros y resistentes de areniscas cuarzosas, de grano fino, con pequeñas intercalaciones de lutitas negras. (Ver

columnas estratigráficas) .

Tanto en el sitio de ubicación de la presa de derivación como en el de la casa de Máquinas, existen depósitos aluviales de poco espesor, compuestos de bloques, cantos rodados y gravas de composición arenosa, metidos dentro de una matriz limo-arenosa.

El rumbo general de la única formación por la cual cruzan los túneles es de N 20°E, con buzamiento de aproximadamente 30° en dirección SE.

7.2.2 Material de Descapote

Tanto en el sitio de presa como en el sitio de ubicación de la Casa de Máquinas el descapote es mínimo, ya que consistirá en remover el pequeño espesor del depósito aluvial puesto que muy próximos, sobre el Río Cusiana, existen afloramientos de roca.

7.2.3 Estabilidad de Laderas

Debido a que la presa de derivación es de poca altura y que cerca a ella sobre la margen derecha existe un pequeño coluvión de poco espesor, es aconsejable removerlo.

Sobre la margen izquierda la roca aflora y solo se necesitará remover la capa de meteorización que no alcanza al metro de espesor. También deberá tenerse en cuenta que las fracturas tienden a ser normales a la dirección del rumbo de los estratos y que las dos direcciones principales forman ángulos de 60° y su rumbo general tiende hacia el W lo cual incide en el estado de fracturamiento y en el grado de estabi

lidad de las laderas.

La casa de máquinas quedaría localizada encima de un depósito de te
rraza que es estable a simple vista; la ladera inmediata se observa
estable.

7.2.4 Estabilidad de los Túneles

Tanto el túnel de carga como la tubería de presión y la almenara se
localizan en su totalidad sobre areniscas de la formación Las Juntas,
que consiste en estratos masivos y resistentes, con pequeñas inter
tratificaciones de lutitas en pequeñas capas, con las siguientes dis
posiciones estructurales dominantes :

- 1) N 70°W / 70° ($\pm 20^\circ$ con tend al E)
- 2) N 10° ($\pm 10^\circ$) W / 60° ($\pm 10^\circ$ con tend al W)
- 3) N 15° ($\pm 15^\circ$) W / 55° ($\pm 20^\circ$ con tend al W)

En el portal de entrada del túnel de carga, por tener bajo techo, de
berá ser blindado y revestido con concreto neumático en los primeros
100 metros. El resto hasta la almenara, cruzará roca sana y por lo -
tanto con un simple revestimiento de concreto lo podrá soportar. En
las zonas en donde se encuentran intercalaciones de lutitas se debe-
rán proteger para asegurar estabilidad, especialmente si los procesos
de meteorización son evidentes.

La almenara y la tubería de presión estarán localizados sobre roca sa
na, similar a la encontrada en el anterior túnel. Se requerirán sopor
tes y refuerzos en concreto debido al grado de fracturamiento y a que
se generan altas presiones.

7.2.5 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo.

Debido a los bajos volúmenes requeridos para las obras y considerando la formación litológica por donde atraviezan los túneles, se estima que con el material aluvial y el producto de la excavación de las areniscas durante la construcción del túnel, se obtendrá el material necesario para la presa de derivación y los agregados de concreto, previa trituración.

7.2.6 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el proyecto Ranchería es factible.

Para la ubicación de los estribos de la presa de derivación sólo se tendrá que hacer un pequeño descapote de la roca meteorizada y de los pequeños depósitos existentes, teniendo en cuenta que las fracturas tienden a ser normales a la dirección del rumbo de los estratos o tienden hacia el W.

Los túneles serán estables 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.

Para la casa de máquinas se debe de tratar de fundar directamente sobre roca, lo cual es posible, debido al poco espesor del depósito -- aluvial en donde quedaría ubicada y que podría ser removido fácilmente.

7.3 Proyecto Candelas

Generalidades

Es uno de los proyectos más extensos de toda el área estudiada y consiste en varias presas de derivación localizadas en las quebradas Germania, Cónguta, La Lejía, La Rocha, Río Cusiana y canales que conduzcan el agua de las anteriores quebradas al Río Cusiana.

Un túnel de conducción de aproximadamente 10.500 metros y una tubería de presión de una longitud de 1700 metros y una casa de máquinas.

En este proyecto se trata de desviar las aguas del Río Cusiana y llevarlas al Río Charte.

La Geología general del proyecto y el perfil generalizado del túnel se muestra en las figuras Números 4.8 y 4.9.

7.3.1 Litología

En el área del proyecto se encuentran únicamente rocas sedimentarias y depósitos no consolidados.

A continuación se hace una descripción de las unidades siguiendo un orden a medida que se las iba encontrando.

Las presas de derivación de las quebradas y el canal de conducción, estarían localizadas en parte sobre las lutitas de la formación Macanal y en parte sobre el cono de deyección de Corinto. La formación de Macanal consiste de manera general por lutitas negras, bastante impermeables con pequeñas intercalaciones de areniscas. (Ver columna

estratigráfica).

La presa de derivación estará localizada sobre un pequeño depósito aluvial, posteriormente se atravesarán capas de areniscas de la formación Las Juntas que tienen un rumbo de N 30°W, con inclinación de 30° hacia el NE; capas de la formación Fômeque, compuesta de una alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y margas que conforman el eje de una sinclinal de rumbo N 45° E y cabeceo hacia el SW; nuevamente se encuentran capas de la formación Areniscas de las Juntas, que consisten de capas de areniscas cuarzosas de grano fino, masivas, duras y resistentes con delgadas intercalaciones de lutitas negras, con un rumbo general de N 70° E y buzamiento de 30° hacia el NW. Posteriormente los túneles cruzan por la formación Macanal consistente de lutitas negras con intercalaciones de areniscas de poco espesor. Hacia la parte final se cruza una falla de rumbo N 40° E que puede presentar una zona de milonita de unos 50 metros de espesor. La casa de máquinas quedaría localizada sobre un depósito aluvial compuesto de bloques, gravas, gravillas de composición arenosa lutítica metidos dentro de una matriz arcillosa.

7.3.2 Material de Descapote

Como materiales de descapote se consideran los suelos residuales, la roca meteorizada, materiales de terraza y conos de deyección.

Debido a la poca altura de las presas de derivación sólo se tratará de remover el material superficial que puede llegar a los 3 metros de espesor como máximo. En las pequeñas presas localizadas en las -

quebradas Germania y Cónguta, deberá removerse el material meteorizado, ya que debido a su plasticidad puede presentar problemas. El descapote en los sitios de las quebradas La Lejía y La Rocha y sobre el Río Cusiana es mínimo ya que estarían localizadas sobre depósitos de cono de deyección y restos de terraza que a simple vista parecen estables.

Tanto en el portal de entrada como en el de salida hacia la casa de máquinas el descapote es mínimo pudiendo estar entre 2 y 5 metros. El material de descapote del canal podría sobrepasar los 5 metros de espesor debido a la naturaleza inestable de las lutitas que atraviesa.

7.3.3 Estabilidad de las Laderas en los Sitios de Presa y Canal.

Para la estabilidad de las laderas de los sitios de presa de las quebradas Germania y Cónguta y para la ladera por donde corre el canal en las lutitas de la formación Macanal, deberá hacerse un estudio especial debido a que esta formación presenta problemas de inestabilidad en la carretera actual que de Corinto conduce a Pajarito. A simple vista y sin mayores reconocimientos de campo de una manera general puede decirse que el terreno se comporta en forma estable. Las laderas de las presas sobre las quebradas La Lejía, Rocha y sobre el Río Cusiana se presentan estables, aunque en la última, deberá removerse la capa de los materiales superficiales tratanto de localizar la roca fresca o menos meteorizada. La principal disposición de diaclasas forma un ángulo de aproximadamente 130° con la posi--

ción del eje de la presa.

7.3.4 Estabilidad de Laderas en los Portales

Preliminarmente no se preveen dificultades para la construcción del portal de entrada ya que se encuentra ubicado sobre un gran escarpe de areniscas macizas. Las principales disposiciones estructurales dominantes son las siguientes :

- 1) N 60°E ($\pm 10^\circ$) / 60°W con tendencia a la vertical
- 2) E-W / con tend a buzamientos verticales
- 3) N 20°E ($\pm 10^\circ$) / 70°W con tend a la vertical
- 4) N 30°W ($\pm 10^\circ$) / 40° ($\pm 10^\circ$ con tend al E)

Para el portal de salida deberán orientarse los estudios hacia la estabilidad de dicho sector ya que se atravieza por una zona de naturaleza arcillosa muy fracturada, lo que incidiría notablemente en su estabilidad. Para la construcción de ésta última parte se deberán hacer estudios de fracturamiento de la roca ya que la falla geológica que cruza por este sector es de especial magnitud y cuidado. El espesor de la capa de meteorización es bastante apreciable, por lo que en estudios posteriores se tratará de investigar su incidencia en la estabilidad general del área.

7.3.5 Estabilidad del Túnel

En general, el túnel estará situado sobre roca fresca bastante competente en un mayor porcentaje que sobre roca incompetente. El frac

turamiento forma un ángulo pequeño (40°) con el rumbo general de los estratos y estos son normales a la dirección del túnel en largos trayectos.

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

A continuación se hacen análisis de la estabilidad del túnel partiendo del portal de entrada.

Como se dijo antes el portal de entrada estará localizado sobre bancos de areniscas masivas y resistentes. (Ver columna)

Para prevenir cualquier grado de inestabilidad debido a efectos de fracturamiento, los primeros 150 metros deberán ser blindados con concreto neumático. A partir del K 0 + 150 y hasta el K 9, el túnel se presenta estable y solo necesitará un simple revestimiento con gunita o concreto neumático. En las partes donde existan intercalaciones arcillosas y hacia la parte situada en proximidades del K 4 + 500 en donde está situado el eje de un sinclinal, deberán tomarse especiales medidas de protección con pernos, soportes y concreto neumático y deberá investigarse por métodos hidrogeológicos principalmente, la incidencia de las infiltraciones.

A partir del K 9 y hasta el portal de salida se prevee que el tramo del túnel necesite mayor soporte que el tramo anterior debido a la naturaleza inestable de la formación Macanal y a la acción de la falla que crea una zona de intenso fracturamiento, susceptible de deformarse y crear zonas inestables. Para este tramo se sugiere blindaje y revestimiento con concreto neumático y pernos de anclaje. Hacia és

ta parte deberá tenerse en cuenta la acción de las infiltraciones que alteran la roca y la hacen susceptible a la descomposición, meteorización y desde luego a la inestabilidad.

7.3.6 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo.

Debido a los bajos volúmenes requeridos para las obras y considerando la calidad de la formación litológica por donde atraviezan los túneles, se estima que con los materiales aluviales localizados en los alrededores y el producto de la excavación de las areniscas de la formación las Juntas, durante la construcción del túnel, se obtendrá el material necesario para las presas de derivación y el canal de conducción, previa selección y trituración del material.

7.3.7 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el Proyecto Candelas es factible.

No obstante las investigaciones tendientes a estudiar las condiciones del suelo en las presas de derivación y en el canal de conducción, serán las que lleven a mejorar las condiciones del proyecto. Se requerirán estudios posteriores para mejorar las condiciones de estabilidad de esta zona del proyecto como son los que investiguen los niveles freáticos, capacidad portante de los suelos, espesores de coluviones, etc. También se requerirán estudios detallados de las diferentes formaciones geológicas, especialmente de la formación Macanal principalmente en donde el grado de fracturamiento sea apreciable ya que este conduciría a infiltraciones. Se recomiendan investigaciones en-

la parte en donde estará ubicada la almenara y la casa de Máquinas. En lo referente al túnel se puede catalogar como estable en su mayor parte. En aquellas zonas en donde se atravicen lutitas se sugiere su estabilización con pernos o marcos de acero y concreto y estudios tendientes a deducir el estado de la roca en profundidad.

Se preveen derrumbes hacia la parte del túnel localizado sobre lutitas al final del proyecto. La falla que cruza el sector también ocasionará problemas de estabilidad y soporte de los túneles debidos principalmente a posibles infiltraciones de agua y a la posibilidad de encontrar sistemas de fracturas interconectadas con los planos de estratificación. Hacia ésta parte se deberán hacer estudios especiales que conlleven a deducir la capacidad portante de la roca y al grado de estabilidad de los túneles.

No se prevee ninguna dificultad en la excavación del portal de entrada del túnel pero si para el de salida por estar localizado sobre la zona de lutitas y de fallamiento anteriormente descrita.

Para los materiales se sugiere hacerles los ensayos correspondientes con el fin de definir las posibilidades de utilización y poder evaluar su cantidad y calidad.

7.4 Proyecto Sabanalarga

Localizado a continuación del anterior sobre el Río Charte.

Consiste de una presa de derivación localizada sobre el mismo río en la cota 1000; unos túneles sobre la margen izquierda en la cota 500 aproximadamente. Es un proyecto de caída similar al anterior.

La Geología general del proyecto y el perfil generalizado del túnel se muestra en las figuras Números 4.10 y 4.11.

7.4.1 Litología

En el área de este proyecto afloran rocas sedimentarias de edad cretácea a terciaria cubiertas por depósitos cuaternarios recientes. A continuación se hace su descripción partiendo de la presa de derivación en dirección a la Casa de Máquinas. La columna detallada del portal de entrada se presenta al final de este informe.

La presa de derivación está localizada sobre un depósito aluvial compuesto de bloques, gravas, gravillas y arenas producto de las formaciones vecinas.

A continuación afloran las areniscas de la formación Une en estratos de areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, con un rumbo general de N 30°E y con buzamiento de 30° en dirección SE. e intercalaciones de pequeño espesor, no sobrepasan el metro, de lutitas grises oscuras.

También haciendo parte de una estructura sinclinal y en uno de sus flancos aflora la formación Chipaque con el mismo rumbo de la formación anterior pero con una inclinación menor y en la misma dirección. Consiste esta formación, hacia esta parte del proyecto, de lutitas negras en estratos de resistencia media a baja, con intercalaciones de areniscas de pocos metros de espesor con esporádicos lentes de caliza.

Hacia la parte media del túnel de conducción haciendo parte del núcleo de la estructura sinclinal aflora el grupo Palmichal, que con--

siste de bancos bastante potentes de areniscas cuarzosas, blancas, de grano fino, con intercalaciones de lutitas y limolitas silíceas.

Hacia esta parte se encuentra una gran falla inversa que puede tener más de 100 metros de roca fracturada y milonitizada.

Haciendo parte del otro flanco sinclinal aparece nuevamente las capas de la formación Chipaque pero con una inclinación de las capas mucho mayor que las encontradas en el otro flanco.

Siguiendo en dirección a la Casa de Máquinas afloran las areniscas de la formación El Limbo siguiendo la misma dirección de la estructura sinclinal y caracterizada por prestar una topografía escarpada. Se compone de conglomerados con cantos de cuarzo cementados con una matriz arenosa, interestratificados con una serie de arcillolitas, lutitas y areniscas cuarzosas.

A continuación de esta formación nuevamente aparecen las formaciones Chipaque y Une haciendo parte de un anticlinal.

Hacia esta parte estas formaciones se hacen más competentes y estables.

En ésta última formación de areniscas de Une estaría localizada la Almenara, la tubería de presión y hacia la parte baja el portal de salida y la Casa de Máquinas, ésta última localizada sobre un depósito aluvial en la margen izquierda del Río Charte.

7.4.2 Material de Descapote

Como material de descapote se clasifican los depósitos aluviales y la

capa de meteorización de las areniscas de la formación Une localizadas en proximidades de la presa de derivación, la casa de máquinas y en los portales.

El espesor de este material puede llegar a los 3 metros sobre los depósitos aluviales y de un metro como máximo en los portales.

7.4.3 Estabilidad de las Laderas en el sitio de Presa y Casa de Máquinas.

Por ser una presa de poca altura y por estar la roca poco meteorizada es de esperarse buena estabilidad en toda el área. Las principales disposiciones estructurales deducidas en base a diagramas polares y que están relacionadas con el grado de estabilidad son las siguientes :

- 1) N 50° (± 5) / 65°W con tend a la vertical
- 2) N 60° (± 10°) W / 50°E con tend a la vertical
- 3) N 40° (± 5°) E / 70°E

La casa de Máquinas, estaría situada sobre un depósito aluvial, por lo tanto deberá investigarse el subsuelo para saber su espesor.

7.4.4 Estabilidad de las Laderas de los Portales

En el talud del portal de entrada preliminarmente no se prevén dificultades para la construcción ya que se encuentra ubicado sobre bancos de arenisca cuarzosa, resistente y estable, con una disposición estructural principal que hace un ángulo de 70° con la dirección de los estratos y con una tendencia tanto del buzamiento de los estratos

tos como el de las diaclasas hacia la vertical, lo cual está relacionado directamente con su estabilidad.

El talud del portal de salida puede presentar problemas de estabilidad, ya que existen depósitos de ladera que a simple vista parecen superficiales, debido a la proximidad de una falla es probable que los estratos estén fracturados, por lo tanto, podría ser necesario soportarlos adecuadamente e investigar la incidencia del fracturamiento sobre el talud de corte.

7.4.5 Estabilidad de Los Túneles

En los primeros 150 metros del túnel de conducción se sugiere soportarlo con pernos y con concreto neumático. Esto como medida preventiva a pesar de que se estime que debido a la buena calidad de la roca no se necesiten sino en un tramo menor.

Hacia la abscisa K 1 + 000 próxima a la quebrada Aguarata se prevee que podrán encontrarse infiltraciones debido al poco techo del túnel. En esta parte deberá protegerse con pernos y concreto neumático.

En el tramo entre el K 1 + 000 y el K 5 + 000 debido a las intercalaciones arcillosas se preveen algunas zonas de posible inestabilidad. En un 60% de este tramo deberá protegerse con pernos y concreto neumático.

Por los análisis efectuados sobre el terreno en este mismo tipo de roca, aparece estable pero en etapas posteriores del estudio únicamente podrá definirse con mayor certeza su estabilidad.

Del K 5 + 000 hasta la Almenara la roca es relativamente sana y se espera que éste tramo sea estable en su totalidad debido a la naturaleza relativamente sana de la roca.

Como medida preventiva por donde está localizada la Almenara y la tubería de presión deberá ser revestido debido a la proximidad de la zona de falla, la cual crea zonas de intenso fracturamiento en sus vecindades y por ende zonas de infiltraciones.

7.4.6 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo.

Debido a que la presa de derivación es de baja altura y que la calidad de la roca que se extraiga de los túneles es relativamente buena, se aconseja la utilización de los horizontes de areniscas cuarzosas para el enrocado. Para los finos y concretos podrán utilizarse los depósitos aluviales situados en las margenes del Río Charte. Su cantidad y calidad ha de evaluarse más exáctamente en futuras exploraciones, por medio de los correspondientes ensayos in situ y de laboratorio.

7.4.7 Evaluación Geotécnica Preliminar

El poryecto Sabanalarga es geotécnicamente factible.

Se estima de manera preliminar que los depósitos situados en el sitio de la presa no ofrecen dificultades para su excavación y existen materiales suficientes para su construcción.

La excavación para la casa de Máquinas es también factible, pero debido a encontrarse próxima a una zona de falla, que en su actividad

creó una zona de esfuerzos, deberá investigarse su incidencia ya que posiblemente en la etapa de construcción se presenten problemas por sobreexcavación, debido a las infiltraciones.

Los túneles parecen cruzar por formaciones estables, pero en etapas posteriores deberá hacerse un mapeo más al detalle de las diferentes secuencias litológicas con el fin de ubicar las zonas arcillosas en donde posiblemente se presenten derrumbes durante la construcción. La zona de falla ubicada en proximidades del K 2 + 650 deberá ser de marcada y cartografiada en detalle. Lo mismo que la posición relativa de la estructura en relación con la zona de esfuerzos y los sistemas de fracturas, ya que allí se prevén infiltraciones que pueden -- crear zonas inestables en la etapa de construcción. Hacia esta parte se prevee en la construcción un sistema para sellar las fracturas generadas por la falla, una vez deducidas las principales disposiciones estructurales.

Hacia los contactos de las diferentes formaciones o tipos de roca, por constituir zonas potenciales de debilidad deberán tomarse las medidas necesarias para ubicarlas por medio de cartografía geológica detallada y mapeo geotécnico con el fin de deducir el estado de la roca y cambios que incidan en su estabilidad.

7.5 Proyecto Charte

Localizado sobre el Río Charte en proximidades de la cota 475 m.s.n.m. Consiste en una presa de aproximadamente 128 metros de altura, una casa de Má-

quinas y un túnel de conducción.

La geología general del proyecto y el perfil geológico generalizado se muestran en las figuras Números 7-15 y 7-17, del informe de Fase 1.

7.5.1 Litología

La expresión litológica de este proyecto no es muy compleja, ya que únicamente afloran dos formaciones litológicas : Formación Diablo - (Td) y Formación San Fernando (Tsf).

Hacia la parte baja donde estaría localizada la casa de máquinas aparece un depósito aluvial.

La Formación Diablo está constituida en su base por areniscas cuarzosas, grises verdosas, de grano fino a grueso, estratificadas en -- bancos hasta de 6 metros de espesor, con intercalaciones de arcillolitas grises claras. El espesor de este conjunto es de 40 metros. La parte media está compuesta por arcillolitas y limolitas grises verdosas a rojizas, con intercalaciones de cuatro niveles de areniscas -- cuarzosas grises verdosas de grano fino a medio, con estratificación maciza. El espesor de las areniscas varía de 50 a 70 metros.

El techo de la unidad está formado por una alternancia de areniscas y arcillolitas rojizas de grano fino a medio, estratificadas en bancos hasta de 3 metros de espesor, este conjunto alcanza un espesor -- de 100 metros.

La formación San Fernando, está compuesto por una serie de arcillas y arcillolitas grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas, de

grano medio a grueso, estratificadas en bancos hasta de 3 metros de espesor. En la parte inferior a media de esta unidad se observan esporádicos lentes de carbón.

El depósito aluvial en donde se localiza la Casa de Máquinas, consiste de bloques, gravas, arenas y limos de diferente tamaño de composición de areniscas de las formaciones aledañas.

7.5.2 Material de Descapote

Como material de descapote se clasifican los suelos residuales y la roca meteorizada de las Formaciones el Diablo y San Fernando y los depósitos aluviales de los depósitos aledaños a la casa de Máquinas.

7.5.3 Estabilidad de Laderas en el Sitio de Presa

En el sitio de presa afloran capas de areniscas cuarzosas con intercalaciones de arcillolitas. Las anteriores rocas están parcialmente meteorizadas y dan suelos limo-arcillosos de espesores que fluctúan entre 1 y 3 metros. Un poco aguas abajo del sitio de presa se presentan arcillolitas bastante meteorizadas a arcillas bastante plásticas que ocasionan algunas zonas inestables.

La excavación de los estribos es fácil, utilizando dinamita, ya que la roca es fácil de excavar debido a su naturaleza arenosa.

Se deberá remover la capa de suelos; se espera que la presa esté localizada enteramente en roca fresca, aunque un poco fracturada.

Debido al buzamiento de las capas en contra de la pendiente topográfica y en dirección favorable para la localización de la presa,

sin embargo se podría necesitar un tratamiento para la zona situada por debajo de la fundación con el fin de prevenir infiltraciones del embalse por debajo de la presa.

7.5.4 Estabilidad de los Túneles

El túnel de conducción cruzaría estratos de areniscas cuarzosas con intercalaciones de arcillolitas grises en un tramo aproximado de 1 kilómetro. Preliminarmente no se prevén dificultades para la excavación de la bocatoma, sin embargo podrán aparecer pequeños depósitos coluviales que deberán removerse.

Debido a la naturaleza de los estratos se recomienda que en los primeros 200 metros serán necesarios un sistema de soportes con un revestimiento posiblemente en concreto neumático.

En los sitios en donde aparezcan intercalaciones de arcillolitas se recomienda proteger con soportes y revestimiento con concreto neumático. Se recomienda en una etapa posterior investigar la secuencia de los diferentes estratos con un mapeo a una escala mejor.

El resto del túnel sería revestido y soportado íntegramente debido a las grandes presiones generadas.

7.5.5 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo

Preliminarmente se considera como una fuente de enrocado los afloramientos sobre ambos taludes y ubicados en el sitio de presa. Se utilizarían todas las areniscas situadas por encima de la máxima cota-

de fundación de la presa.

Para el material impermeable, es posible que los sedimentos meteorizados a arcillas de las formaciones Diablo y San Fernando y localizados sobre ambos márgenes un poco abajo del sitio de Presa. Actualmente estos sedimentos crean algunas zonas inestables debido a su plasticidad. Para su utilización sería extraerlos de allí, lo cual sería conveniente ya que controlarían estas dos zonas potencialmente inestables.

Para los filtros y agregados para concreto se recomiendan los depósitos aluviales ubicados en la parte baja en donde el valle del Río Charte se amplía. A estos depósitos se les deberá hacer los ensayos correspondientes.

7.5.6 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el proyecto Charte es factible. Sin embargo deberá investigarse la estabilidad general de las diferentes zonas afectadas por la humedad en los diferentes taludes de influencia del vaso, ya que sobre las fotografías aéreas se observaron algunas zonas inestables que podrían repercutir en la sedimentación del embalse.

Las rocas que afloran en el sitio de presa no ofrecen dificultades para su excavación. A los taludes de los estribos se les deberán hacerse los tratamientos generales para su protección.

La excavación de los túneles es factible, sin embargo deberán hacerse estudios que indican el espesor de los diferentes estratos que atraviesan ya que su protección incide en los costos generales de los pro

yectos.

Todas las posibles fuentes de materiales están localizadas muy próximas, lo cual disminuye los costos de acarreos.

Para la ubicación de la casa de Máquinas se considera que el depósito sobre el cual se localizaría es estable, aunque deberá investigarse se con apiques, su grado de capacidad de soporte.

7.6 Proyecto Chámeza

Generalidades

Con este proyecto se trata de captar las aguas del Río Salinero y del Sunce en proximidades de la población de Chámeza.

Consiste de una presa, un túnel de desviación, un túnel de conducción, una tubería de presión con su correspondiente Almenara y una Casa de Máquinas. Se capta en la cota 1000 y se entrega en la cota 625.

La Geología general del proyecto y el perfil generalizado de los túneles se muestra en las figuras números 4.12 y 4.13.

La presa está localizada 750 mts aguas abajo de la confluencia de los ríos Sunce y Salinero, plancha No.

Los ríos en éste sector tienen un flujo simuoso, controlado por la diferencia en resistencia de las rocas, sinembargo localmente el curso del río está influenciado por la dirección preferencial de las familias de diaclasas. El Valle del río es escarpado con pendientes naturales en los estribos de presa cercanos al 1/2 a 1. El nivel de aguas medias es de 850 mts y la cota superior de embalse es de 1.010 mts lo cual da una longitud de corona de -

480 mts, y una altura de presa de 160 mts.

La pendiente longitudinal promedio en el sitio de presa es de 3.5% teniendo variaciones causadas por la resistencia de las areniscas y la erodabilidad de las lutitas y margas a las cuáles intersecta el río a ángulo casi perpendicular.

7.6.1 Litología

Las rocas más antiguas que afloran en el área de proyecto corresponden a la formación Macañal de naturaleza arcillosa y limosa predominantemente y que afloran en un 90% del área del embalse.

Estas rocas son de edad cretáceo inferior y están en este sitio en contacto fallado con rocas arenosas (areniscas) descritas como formación Las Juntas. (plancha No. 4.12 y 4.13).

Esta falla se observa en la confluencia de los ríos Sunce y Salinero y el ancho de zona de falla observado en el campo es de aproximadamente 50 mts. La formación Juntas en este sector tiene un espesor medido de 180 mts de los cuáles el 20% es de lutitas grises y negras. Superpone a las rocas antes mencionadas las margas, calizas, lutitas y delgadas capas de arenisca descritos como formación Fômeque (Kif) los cuáles afloran en el sitio propuesto para eje de presa.

Las formaciones Une de naturaleza arenacea, Chipaque (arcillas y calcarenitas) y el grupo Palmichal (potentes bancos de arenisca) las cuáles han sido ampliamente descritas en el capítulo de Geología general sólo interfieren en el proyecto en lo que concierne al túnel de con-

ducción.

En general los estratos de las diferentes formaciones forman una estructura monoclinas con inclinación hacia el Este, variable entre 35° y 60° grados, correspondientes al flanco occidental de una gran estructura sinclinal.

Además se observaron dos fallas, una de las cuáles con dirección general N 15°E y cercana a la vertical, la cual se observa en la confluencia de los ríos Sunce y Salinero con un ancho de Zona de falla promedio de 50 mts e intensa brechación y silicificación de la brecha proveniente de las areniscas.

La Segunda falla tiene una dirección general N 70 E es una falla Regional inversa con una zona de falla de aproximadamente 300 mts de ancho pero no incide directamente en el proyecto.

Sobre el estribo izquierdo se observó una fractura de dirección general N-S pero no ha sido posible determinar si se trata de una falla o una diaclasa mayor.

Por las diaclasas medidas en el campo se observan 3 patrones generales :

- 1) N 45 W - N 60 W con inclinación de 50 a 80° al SW
- 2) N 30 E - N 50 E con inclinación de 35° a 50° al NW
- 3) N 70 W - N 80 W con inclinación cercana a la Vertical

Solo en las vecindades de la zona de falla este tiene un índice de Cecil de 6 a 8 pero en general se trata de roca masiva con una y dos familias de discontinuidades con un índice de Cecil inferior a 3 lo cual permite clasificar a la roca como rocas sanas ya que el espaciamiento entre diaclasas es de 0.4, 0.6 y 1.2 mts.

7.6.2 Material de Descapote

Como material de descapote se han clasificado los suelos residuales y la roca meteorizada de las formaciones areniscas de las juntas y la formación Chipaque; los depósitos aluviales de los ríos Salinero y Sunce en el sitio de presa y los del Salinero en el Casa de Máquinas.

7.6.3 Estabilidad de Taludes en el Sitio de Presa y Túnel de Desviación.

En el sitio de presa afloran areniscas de la formación Las Juntas, las cuáles son geotécnicamente estables.

Se meteorizan a suelos areno-arcillosos que en algunos sitios pueden presentar fenómenos de inestabilidad. La excavación de los estribos sería fácil y no se esperan fenómenos de inestabilidad sobre los taludes. En el túnel de desviación, hacia el portal de entrada quedaría localizado sobre terreno conformado por areniscas cuarzosas. Sin embargo existen unos pequeños depósitos coluviales los cuáles deberán ser removidos para evitar problemas. El portal de salida del túnel de desviación quedaría localizado sobre la formación Fómeque de carácter arcilloso y de naturaleza inestable.

Tanto el portal de entrada como el portal de salida del túnel de desviación deberán ser investigados en etapas posteriores para poder determinar el diseño del talud de corte para los portales.

7.6.4 Estabilidad de Laderas en la Casa de Máquinas

Para este sitio se estudió dos alternativas la primera bás cercana al río y la segunda 200 mts atrás, esto se debe a que el material en que se fundó la primera de estas estructuras está colocada sobre una terraza aluvial, la cual muestra claras señas de erosión lateral, erosión que afecta notablemente al proyecto pues el material de terraza es no consolidado y por tanto poco resistente a la erosión.

En el segundo caso la zona es más estable que la anterior sin embargo requiere ser fundado en roca para lo cual es necesario remover el coluvión que existe en este sitio y que puede alcanzar hasta 10 mts de espesor.

El talud de corte para la excavación dentro de la roca puede hacerse 0.5:1 y dentro del coluvión 1:1 o menos indicado ya que el buzamiento es contrario al corte proyectado.

7.6.5 Estabilidad de los Túneles

El túnel de conducción en su mayor parte cruza por formaciones con diferentes características geotécnicas, por lo cual se lo analiza siguiendo un orden a medida que se van encontrando a partir del portal de entrada.

El portal de entrada quedaría localizado sobre las areniscas de las Juntas de buena calidad. Como medida de seguridad se sugiere protegerlo en los primeros 150 metros con soportes y concreto neumático. Del K 0 + 150 hasta el K 0 + 500 debido a la buena calidad de la ro

ca solo se necesitará un simple recubrimiento.

El tramo localizado entre el K 0 + 500 y el K 1 + 250 deberá ser soportado y cubierto con concreto neumático en los sitios donde afloren las lutitas y en los contactos de las diferentes capas debido a que estos son superficies de debilidad.

A partir del K 1 + 250 y hasta el K 2 + 750 el túnel está localizado sobre areniscas cuarzosas, masivas de la formación Une sin mayores problemas de inestabilidad; este tramo con un simple recubrimiento podrá soportarse, aunque debido a la presencia de agua subterránea puede presentarse el fenómeno de soliflucción.

Desde el K 2 + 750 y hasta el K 5 + 780 en donde está localizada la Almenara, el túnel cruza dos formaciones con las mismas características de inestabilidad, por lo cual se sugiere que en los sitios en donde afloren lutitas se deberá soportar y recubrir con concreto neumático debido a que se podrán presentar problemas de inestabilidad especialmente cerca a la Quebrada Comogó (K.4) donde se observó una zona de falla.

Desde el K 5 + 780 y hasta el final, debido a las grandes presiones generadas, el túnel deberá ser soportado y protegido con concreto neumático, en un gran porcentaje ya que existen intercalaciones lutíticas y a la presencia de una estructura sinclinal y a la que el proyecto intercepte perpendicularmente. Esta estructura y dada la litología presente espesos bancos de arenisca, es favorable para la formación de un acuífero originando grandes presiones hidrostáticas y dificultando el drenaje durante la construcción.

Todo el tramo del túnel, en etapas posteriores de estudio, deberá ser investigado ya que como la cubierta superficial camufla las diferentes estructuras es difícil poder predecir su comportamiento geotécnico en una etapa preliminar.

7.6.6 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo

Con un examen preliminar de las diferentes formaciones rocosas y de los diferentes tipos de suelos generados a partir de ellas se sugiere la siguiente utilización :

Para la presa existe suficiente material sobre los talúdes situados inmediatamente arriba de la cota del nivel máximo de fundación. Debido a que la presa tiene 162m, si los materiales anteriormente aconsejados no son suficientes, podría pensarse en los materiales extraídos en la etapa de construcción de la formación de las areniscas de las Juntas.

Como material de núcleo se aconsejan los depósitos coluviales y los suelos residuales localizados sobre la margen derecha del río Salinero a 800 metros de longitud, aguas abajo del sitio de presa y sobre la quebrada Volcanera afluente derecha. Estos materiales arcillosos provienen de la formación Fômeque.

Para los filtros y materiales para concreto se sugieren todos los depósitos de terraza y aluviales localizados aguas arriba del sitio de presa y situados aproximadamente a 1.5 Km de distancia.

En la casa de máquinas los materiales para concreto podrán ser seleccionados de las excavaciones de los túneles próximos. También existen

fuentes de gravas y arenas sobre las márgenes del Salinero a una distancia de 2 a 3 Kms aguas arriba.

7.6.7 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el proyecto Chámeza es factible.

Preliminarmente se hacen las siguientes consideraciones que pueden incidir en la realización de este proyecto :

Las rocas que afloran en el sitio de la presa no ofrecen dificultades para su extracción.

Existen suficientes materiales para la construcción tanto de la presa como de las diferentes obras que se necesiten.

Se prevee que los estribos de la presa estarán localizados sobre roca de buena calidad, solo se necesitarán simples tratamientos superficiales para evitar infiltraciones.

Como el embalse es bastante pequeño se sugiere investigar la incidencia de la humedad sobre los taludes próximos, ya que se notan algunas zonas de inestabilidad potencial.

Para los túneles, la evaluación geotécnica de su estabilidad ya fué descrita en la parte pertinente, solo se aconseja intensificar la investigación en etapas posteriores con el fin de deducir y comprobar la buena o mala calidad de la roca, para así poder definir con mayor exactitud las diferentes protecciones que deberán llevar en algunos tramos.

Deberá también investigarse la acción de la falla ubicada en proximidades de la Almenara y la Casa de Máquinas ya que por ser de un carácter regional generó grandes presiones que fracturaron las formaciones vecinas que podrían ser zonas de debilidad y por lógica zonas de intenso fracturamiento.

Condiciones Hidrológicas

Dentro del área del vaso han sido observados varios materiales y cerca a la zona del eje de presa se observan surgencias de agua correspondientes posiblemente a niveles freáticos colgados.

El hecho de que las capas se inclinen en la dirección aguas abajo y la permeabilidad de las areniscas de las formaciones Juntas y Une sean altos infiere un flujo subterráneo hacia el Este, las formaciones Palmichal, Fômeque y Chipaque pueden considerarse prácticamente impermeables ya que tienen una mayor escorrentía superficial como puede deducirse de la mayor densidad de drenaje y el patrón de este que corresponde a un dedrito con arroyos cortos, valles poco profundos y poco espaciados.

Ingeniería Geológica

Un bosquejo general de las estructuras proyectadas se muestran en la figura 2-16 y consisten del dique de presa, vertedero, túnel de desvío, túnel de conducción y casa de máquinas.

Aspectos Geotécnicos del vaso

Las características geotécnicas de las rocas y depósitos que afloran en el vaso de la presa pueden describirse así :

Por razón de la litología de la Formación Macanal principalmente arcillosa y el Rumbo de las capas, es prácticamente imposible que se presente fugas o escape de aguas hacia las cuencas vecinas al área del proyecto.

La misma naturaleza arcillosa de la formación Macanal produce una morfología con pendientes suaves dentro del vaso y en él solo se han cartografiado dos zonas inestables las cuáles están más relacionadas con la erosión vertical y lateral de los ríos Tonce y Salinero pero que por su poco volumen no ofrecen mayor problema para la estabilidad del embalse.

Los depósitos no consolidados, gravas y arenas que constituyen los conos, terrazas y valles aluviales son de poco espesor y no constituyen amenaza alguna para la colmatación rápida de la presa.

El mayor problema para el embalse puede referirse a la zona de falla que conforma el contacto entre las formaciones Macanal y Juntas, que puede constituirse en un plano de fuga importante debido al incremento de la permeabilidad secundaria de la roca, sin embargo esta zona de falla requiere ser investigada en estudios posteriores con sondeos mecánicos profundos.

Aspectos Geotécnicos del Sitio de Presa

El dique principal de la presa se ubica sobre el contacto de las for maciones Juntas y Fômeque las cuáles por sus características litoló gicas diferentes presentan condiciones disímiles de fundación.

Las unidades de la formación Juntas en el sitio de presa consiste en areniscas de grano fino y medio a veces conglomeráticas, duras, resis tentes, bien cimentadas con silice y óxidos de hierro, los cuáles tie nen una capacidad portante mayor que el de las lutitas, margas y are niscas de la formación Fômeque ya que en éstas últimas la dureza dis minuye notablemente pues la naturaleza arcillosa de la matriz dis minuye su tenacidad.

El hecho de que existe un contacto entre la formación permeable y una relativamente impermeable y que éste se incline en la dirección aguas abajo presume que pueden existir oqueadas o espacios abiertos en este contacto lo cual además de producir posible flujo subterráneo disminuye notoriamente la capacidad portante de las rocas cercanas a este contacto y por tanto su naturaleza debe ser investigada en estudios posteriores con exploraciones del subsuelo.

La alta pendiente longitudinal del río hace que el relleno aluvial en el sitio de presa sea muy delgado y en algunos casos no existe por tanto aflora la roca en el lecho del río.

Esto mismo sucede con las paredes de los estribos en donde por ser es carpadas el espesor de suelo y de roca meteorizada es muy bajo por tanto la excavación previa a la fundación del dique en promedio no

sobrepasa los 10 metros lo cual deberá removerse para la conformación del talud.

Se pueden presentar asentamientos diferenciales en las capas de lutitas carbonosas y en aquellas areniscas que presentan intercalaciones de carbón por la compresibilidad de estos materiales los cuáles afloran en un ancho no inferior a 70 mts., teniendo en cuenta su espesor, ángulo de buzamiento y pendiente natural del terreno.

Considerando el rumbo de las capas, el buzamiento de estos mayor a 45° y la altura de la presa es posible que se presenten aberturas en el contacto entre estas, esto deberá ser investigado en etapas posteriores del estudio.

Para evitar los asentamientos diferenciales se puede excavar a una profundidad determinado el material compresible y reemplazado por otro de mayor calidad, la profundidad será determinada con un estudio de mecánica de rocas en la fase de factibilidad.

El talud del dique para una altura de presa como la propuesta, no debe ser inferior a 2:1 y en lo posible 2.5:1.

Vertedero

Esta estructura localizada sobre el estribo izquierdo tiene una longitud de 540 mts., aproximadamente y su dirección es prácticamente perpendicular al rumbo de las capas lo cual permite diseñar taludes de corte 1/2 a 1; para los cortes por encima de 20 mts., y 1/4 a 1 para los cortes inferiores a 20 mts., de altura.

La roca en que se funda esta estructura consiste principalmente en areniscas duras y resistentes lo cual permite que el revestimiento del canal sea relativamente delgado ya que es una roca poco erodable.

El material producto de la excavación para este vertedero puede utilizarse como enrocado en el dique de presa.

La excavación de este material infiere el uso de voladura, pero por la calidad de la roca se estima que no tiene problemas de orden geotécnico.

7.7

Proyecto Bocas del Salinero

Situado en inmediaciones de la confluencia del Río Salinero y el Río Cusiana, cerca a la desembocadura, 140 metros aguas abajo.

Consiste en una presa de embalse situada sobre el Río Cusiana, dos alternativas de túnel de conducción y un posible proyecto pie de presa, un túnel de descarga y una casa de máquinas situada sobre la margen derecha del río.

La Geología general del Proyecto y el perfil generalizado del túnel se muestra en las figuras Nos. 4.14 y 4.15.

7.7.1 Litología

En este proyecto afloran rocas sedimentarias de edades que fluctúan entre el cretáceo y terciario, con una cubierta de depósi-
tos cuaternarios bastante considerable.

La presa de embalse está situada sobre la formación Une, que hace parte de una estructura anticlinal, apareciendo en ambos flancos. La dirección de la estructura presenta un rumbo N 40°E y es atravezado por el túnel casi en forma normal.

La formación Une consiste en tres conjuntos : un Conjunto basal constituido en su parte inferior por areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, macizas; hacia su parte media las areniscas son conglomeráticas; el techo está compuesto por areniscas arcillosas, rojizas de grano fino a medio.

La parte media de la unidad está compuesta por lutitas grises oscuras con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas rojizas, de grano fino, en estratos hasta de 1 metro.

La parte superior de la formación está compuesta por areniscas cuarzosas, blancas, de grano fino a medio, con rumbo N 40 E/50°-60° al NW en el sitio de presa.

Haciendo parte del eje de la estructura anticlinal aparece la formación Fόμεque, constituida por lutitas negras con intercalaciones de areniscas, margas y calizas.

Aflora también el grupo Palmichal constituido por los siguientes conjuntos : En la base areniscas cuarzosas blancas, de grano fino con intercalaciones de lutitas y limolitas silíceas. A continuación lutitas grises con intercalaciones de areniscas de pocos metros de espesor, areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, macizas, friables con pequeñas intercalaciones de lutitas y limolitas negras. Hacia la parte superior de este grupo afloran areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, con lentejones de conglomerados.

Hacia la parte baja, en inmediaciones del Río Cusiana, afloran las Arcillas de la Formación El Limbo, que como su nombre lo indica, está compuesto principalmente de arcillas verdosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, blanco-amarillentas de grano medio a grueso estratificados en bancos de 5 metros de espesor. También afloran hacia la parte baja del proyecto depósitos de terraza en dos niveles : Qt compuesto por bolos, gravas y arenas poco consolidadas y bastante permeables. El Qt2 consiste de terrazas aluviales recientes, poco consolidadas.

La casa de máquinas estaría situada sobre éste último depósito.

Estructura

Las rocas en este sector forman el flanco Occidental de una estructura anticlinal cuyo eje dista 2 Kms del sitio de presa por tanto las capas tiene un rumbo general N 40 E y buzan entre 50 y 70 al noroeste es decir se inclinan en dirección aguas arriba del sitio de presa.

Se observa un intenso diaclasamiento perpendicular al rumbo de las estructuras, existiendo diaclasas mayores hasta de 1 Km de longitud y con rumbo N 40 E e inclinación de 70° a 90° este sistema es el predominante y en cierta forma es el que controla al río.

Existe un segundo sistema con rumbo N 65 E e inclinación de 30-40° al SE.

Un tercer sistema tiene una dirección general N-S y se inclina 70° a 80° al Oeste.

De este tipo de estructuras las diaclasas N 40°E son las que mayor problema presentan al proyecto ya que se trata de fracturas abiertas que se continúan en profundidad hasta 50 mts, convirtiéndose en verdaderos canales de fuga.

La roca en general puede considerarse como sana y tiene un índice de cecil de 1.

Condiciones Hidrológicas

La naturaleza granular de la roca en el sitio de presa y su alta permeabilidad hace que no se observen arroyos perennes y solo zanjones intermiten surquen el área.

Esto implica por tanto que es posible la presencia de abundante agua subterránea, factor que debe tenerse en cuenta para las excavaciones

del túnel de desvío y los taludes de corte a tajo abierto.

De otra parte el hecho de que las capas bucen en dirección aguas arriba y existan intercalaciones de arcillolita, esto hace preveer que - las posibilidades de fuga del embalse y hacia otras cuencas es prácticamente nula.

7.7.2 Material de Descapote

Como material de descapote se han clasificado los suelos residuales, la roca meteorizada producto de la formación Une y depósitos aluviales en donde se localiza la casa de máquinas para el proyecto llamado por el ESEE " Recetor ".

El espesor en el sitio de la presa se estima que puedan llegar a los 2 metros como máximo.

En la casa de máquinas su espesor es bastante grande ya que prácticamente se localiza sobre las márgenes del río Cusiana, donde afloran un cono de deyección y una llanura aluvial.

7.7.3 Estabilidad de Taludes en el Sitio de Presa

En el sitio de presa afloran areniscas de la formación Une estratificada en capas de 0.8, 1.2, 1.6, 2.2 y 2.8 mts de espesor, poco fracturada con índice de cecil de 1, lo que permite clasificar la roca como sana. La roca se presenta relativamente fresca y el suelo residual es de muy poco espesor. Los problemas de inestabilidad son nulos ya que los afloramientos en los taludes así lo hacen suponer. Las rocas buzan en dirección aguas arriba, hecho que favorece las condicio

nes de impermeabilidad pues hacia la parte inferior de la sección se observan lutitas arcillosas que actúan como sello.

7.7.4 Estabilidad de las Laderas en los Portales

En el portal de entrada afloran areniscas cuarzosas frescas y sanas, no se preveen problemas de inestabilidad durante la construcción. Se sugiere que el talud situado por encima del portal de entrada sea protegido con soportes y concreto neumático.

El portal de salida, debido a la naturaleza inestable de los depósitos, deberá ser soportado y revestido con concreto neumático en su totalidad.

7.7.5 Estabilidad de los Túneles

El proyecto contempla la construcción de un túnel de desvío localizado sobre el estribo izquierdo con un diámetro de 10m y una longitud de 740 mts y un túnel de conducción de diámetro de 5.50 mts y una longitud que varía entre 2 y 5 Kms dependiendo de si se considera la alternativa baja " Proyecto Recetor " o la alternativa alta seleccionada por Sodeic Ltda y el cual está localizada sobre el estribo derecho.

El túnel de desvío y los primeros 1000 y 2000 mts del túnel de conducción dependiendo de la alternativa seleccionada se aloja en un 90% en areniscas de estratificación gruesa, medianamente duras y resistentes las cuales por su gran permeabilidad pueden presentar fenómenos de soliflujión cuando se excava por debajo del nivel freático esto reque-

rirá de un recubrimiento con junito y/o concreto.

En el tramo en que los túneles atraviesan el sector de la formación Fόμεque, la cual constituye el núcleo de un anticlinal, es de esperar abundante presencia de gas, ya que la estructura es favorable para la acumulación de este material y además la litología muestra abundantes indicios de la presencia de materia orgánica. En este tramo los túneles requieren de concreto y soportes en un 70%.

También se puede presentar infiltraciones de la quebrada La Tigra y sus afluentes para el caso del túnel de la alternativa baja. Similar tratamiento se le debe dar en la zona de la roca fracturada en donde atraviesa una zona de falla.

En las zonas de falla y en el núcleo del anticlinal se sugiere una investigación detallada que permita diseñar y garantizar la estabilidad de los túneles.

7.7.6 Determinación y Evaluación Preliminar de las Zonas de Préstamo

Debido a que la cantidad de materiales para la construcción de las diferentes obras no es muy grande y que en el área existen materiales suficientes se sugiere lo siguiente :

Para material de enrocado hacia ambos márgenes del río y en ambos estribos, por encima de la máxima cota de fundación de la presa, existe suficiente material proveniente de las areniscas de la formación Une.

Como material de núcleo se recomienda el horizonte arcilloso meteorizado proveniente de la formación Fômeque y localizado como a 500 metros aguas abajo del sitio de presa.

Para material de filtro y para concreto se sugieren los depósitos aluviales situados en ambas márgenes y dentro del cauce del río Cusiana.

7.7.7 Evaluación Geotécnica Preliminar

Geotécnicamente el proyecto Bocas del Salinero es factible. Preliminarmente se estima que las rocas que afloran en el sitio de presa no ofrecen dificultades para su excavación, los talúdes serán estables, sólo se aconseja que deberán ser tratados superficialmente para prevenir infiltraciones.

Existe suficiente material para la construcción de la presa. La estabilidad del vaso por ser de pequeña extensión, de manera preliminar no se observan indicios de inestabilidad en el área próxima.

El mayor problema geotécnico en el sitio de presa puede estar relacionado con la presencia de diaclasas abiertas de bordes paralelos y rumbo N 40 W y N-S las cuales pueden clasificarse como fracturas mayores que pueden servir como canal de fuga para el embalse y debilitan los estribos pues los separan en bloques independientes.

Los taludes de corte para el canal de aducción y el vertedero pueden proyectarse 1/4 a 1 y verticales, pues la estructura proyectada forma un alto ángulo con respecto al rumbo de las capas. Dada la buena cali

dad de la roca de fundación esta estructura solo requiere una delgada capa de concreto.

Para el túnel se necesitará en una etapa posterior investigar la incidencia de las fallas por las que cruza ya que son fallas regionales, con zonas bastante extensas y zonas potencialmente inestables. El espesor de las capas lutíticas deberá ser investigado posteriormente, ya que a simple vista por estar el terreno cubierto parece no presentar fenómenos de inestabilidad.

El túnel en su mayor parte cruza las estructuras en forma casi normal, por lo que, problemas de este tipo se anticipa no se vayan a presentar.

El talud del dique de presa debe proyectarse 2 a 1, pero considerando la calidad de la roca se debe continuar analizando una presa en concreto.

7.8 Variante al Proyecto Bocas del Salinero

Consiste en emplear la misma localización del sitio de presa, la misma área de embalse, la captación se hace poco más arriba, pero el comienzo del túnel y su recorrido total transcurre sobre la misma formación Fόμεque.

La geología general de éste proyecto y el perfil generalizado de los túneles se muestra en las figuras 4.14 y 4.15.

7.8.1 Litología

Este proyecto se localiza en su totalidad sobre la formación Fómeque constituida por intercalaciones de Lutitas negras, areniscas cuarzosas, margas y calizas en bancos homogéneos, tanto en el espesor como en composición. Al comienzo cruza por la formación Une geotécnicamente estable. Para la descripción del material de descapote, estabilidad de taludes en el sitio de presa y estabilidad de laderas en el portal de entrada, se pueden asumir las mismas condiciones tratadas en los párrafos 7.7.2, 7.7.3 y 7.7.4 anteriormente mencionados.

7.8.2 Estabilidad del Túnel

A pesar de la pequeña variación del portal de entrada, el túnel en los 150 metros iniciales deberá ser soportado y revestido en concreto neumático; esta misma consideración deberá tenerse en cuenta para los 150 metros finales en el portal de salida. Para el resto del trayecto de túnel cruza por una zona de roca estable, por la que se sugiere un simple recubrimiento ya que atraviesa por las formaciones Une y Fómeque en porcentajes iguales.

7.8.3 Zonas de Préstamo

Para su determinación y evaluación debido a que las obras son menores debido a su variación, las mismas zonas seleccionadas para

el proyecto largo serían las recomendadas.

7.8.4 Evaluación Geotécnica Preliminar

Este proyecto debido a que los túneles son más cortos ya que se evita la zona de depósitos aluviales del anterior proyecto es más factible que el anterior considerado inicialmente.

Las zonas de intenso fallamiento localizadas al final del anterior proyecto en la zona de casa de máquinas, fué otro factor que se tuvo en cuenta para el estudio de esta alternativa ya que estaba localizado sobre terrazas aluviales cuaternarias que podrían ser inestables en profundidad debido a la zona de las fallas de Chámeza y del Cusiana, zona de milonita y de roca fracturada con condiciones de inestabilidad en un porcentaje bastante elevado.

La casa de máquinas en esta alternativa estará fundada en roca lo cual considerando su naturaleza litológica y la estructura los cortes de excavación pueden hacerse 1/2 a 1 y 1:1.

En la alternativa " Recetor " o baja la casa de máquinas estaría fundada sobre depósitos no consolidados heterogéneos y de comportamiento geomecánico anisótropo, lo cual implicaría un tratamiento previo con inyecciones de concreto.

8.0 ANÁLISIS DE OTROS PROYECTOS

Proyectos Identificados por el ESEE

8.1 Proyecto Vado Hondo

Embalse similar al de Toquilla, en el mismo sitio de Presa; los túneles de conducción, de presión y la Casa de Máquinas ubicadas en la margen izquierda del Río Cusiana.

8.1.1 Características Litológicas Generales

El sitio de Embalse y la presa están situadas sobre la misma conformación geológica del proyecto Toquilla; sus características litológicas son iguales, debido a que se encuentran sobre las formaciones Fômeque y sobre los depósitos de morrenas anteriormente descritos para el Proyecto Toquilla.

Los túneles de conducción, la almenara, la tubería de presión y la casa de Máquinas están ubicadas sobre las formaciones Fômeque, Une y haciendo parte del sinclinal de Vado Hondo.

La formación Fômeque consiste de lutitas negras con intercalaciones de areniscas, margas y calizas, estratificadas en bancos hasta 2 metros de espesor.

La formación Une consiste de tres conjuntos : a) Conjunto basal constituido en su parte inferior por areniscas cuarzosas, de grano fino a medio, macizas; hacia su parte media las areniscas son conglomerá-

ticas en una matriz arenosa; el techo está compuesto por areniscas arcillosas, rojizas de grano fino a medio.

Esta formación está completamente fracturada y diaclasada.

8.1.2 Características Geotécnicas Generales

Geotécnicamente, el sitio de Embalse y la Ubicación de la presa no presentan problemas de estabilidad.

La ubicación de los túneles de conducción, la Almenara y la Casa de Máquinas quedarían sobre la margen derecha del Río Cusiana; dicha margen debido al intenso fracturamiento de la roca, especialmente de la formación Une, se presenta geotécnicamente inestable, debido a que existen deslizamientos y reptaciones que harían el proyecto demasiado honeroso, ya que se necesitaría soportar y recubrir completamente los túneles.

La longitud de los túneles en comparación con el proyecto Toquilla es mayor.

8.2 Proyecto Ranchería (ESEE)

Proyecto muy similar en sus comienzos al proyecto Ranchería anteriormente descrito. El túnel de presión y la casa de Máquinas quedarían localizados un poco más abajo de la ubicación del proyecto del mismo nombre.

8.2.1 Características Litológicas Generales

El proyecto está ubicado sobre formaciones litológicas de edad cretá

cica y atravieza las formaciones Areniscas de las Juntas, formación Fômeque y formación Macanal.

La formación Arenisca de las Juntas consta de un conjunto de areniscas cuarzosas, de grano fino, estratificación maciza, con delgadas intercalaciones de lutitas negras.

Formación Fômeque constituida por lutitas negras con intercalaciones de areniscas, margas y calizas.

Formación Macanal ; consiste de lutitas negras, micáceas, compactas, algo calcáreas con pequeñas intercalaciones de areniscas cuarzosas. Esta formación en éste proyecto está ubicada sobre el eje de una estructura sinclinal y se encuentra completamente meteorizada a arcillas negras bastante plásticas.

La presa de derivación estaría localizada sobre las Areniscas de las Juntas de buena estabilidad.

El túnel de conducción estaría localizado sobre las formaciones Areniscas de las Juntas y Formación Fômeque.

La tubería de presión y la Casa de Máquinas quedarían ubicadas sobre la formación Macanal. (Ver figura 4-17)

8.2.2 Características Geotécnicas Generales

La presa de derivación quedaría ubicada en un sitio similar al del proyecto Ranchería, anteriormente descrito. Los túneles de conducción, la tubería de carga, la Almenara y la casa de Máquinas quedarían ubicados sobre la margen izquierda del río Cusiana.

Inicialmente el portal de entrada y parte del túnel de conducción --

quedarían localizados sobre la formación Areniscas de las Juntas, geotécnicamente estable.

Prosigue luego por las lutitas de la formación Fômeque, que debido a la naturaleza de las rocas necesitará ser soportado y revestido totalmente.

Luego el túnel de conducción atravesaría por un sector estable.

La Almenara y la tubería de presión quedarían localizadas sobre la formación Macanal, en éste sector geotécnicamente inestable. En esta parte se atravesarían las estructuras en dirección paralela al rumbo de los estratos. La longitud de los túneles de este proyectos es mayor que la del otro proyecto Ranchería anteriormente descrito.

8.3 Proyecto Unete (ESEE)

Este proyecto toma las aguas del Río Cusiana en proximidades de la casa de Máquinas del Proyecto Ranchería, para llevarlos y descargarlos sobre el río Unete, en donde quedaría localizada la Casa de Máquinas.

8.3.1 Características Litológicas Generales

La presa de derivación y parte del túnel de conducción quedarían ubicados en la formación Macanal que consiste de Lutitas negras, micáceas, compactas, algo calcáreas con pequeñas intercalaciones de areniscas cuarzosas. Esta formación una vez meteorizada, da suelos arcillosos, negros, bastante plásticos y que ayudados por la humedad da zonas inestables.

Después de cruzar la anterior formación, el túnel atravieza por las siguientes formaciones descritas, anteriormente y que ofrecen unas características litológicas bastante similares : Areniscas de la Formación Une; lutitas negras con intercalaciones de areniscas de la formación Chipaque; Areniscas con intercalaciones de lutitas del grupo Palmichal; Areniscas de la formación El Limbo; Areniscas con intercalaciones de arcillolitas de la formación Diablo y Arcillolitas y Limolitas de la Formación Caja. A todas estas formaciones los túneles las cruzan en forma normal, lo mismo que los diferentes anticlinales y sinclinales y fallas (ver plano geológico general).

8.3.2 Características Geotécnicas Generales

La presa de derivación, el portal de entrada y parte del túnel de conducción quedarían localizados sobre la formación Macanal geotécnicamente inestable. Es la que presenta las más grandes zonas de inestabilidad de todo el proyecto debido a que está constituida por lutitas negras.

El túnel al cruzar por esta formación deberá ser soportado y revestido con concreto neumático en todo el tramo. Cerca de la mitad de los túneles quedarían localizados en esta formación.

El resto del trayecto de túneles quedaría localizado sobre formaciones más o menos estables y descritas anteriormente.

La casa de Máquinas quedaría localizada sobre depósitos no consolidados situados en las márgenes del Río Unete.

8.4 Proyecto Unete (Embalse)

Consiste en una presa de aproximadamente 100 metros de altura para embalsar las aguas del Río Unete y una conexión de aproximadamente 3 Kms de longitud para llevar las aguas al proyecto Charte para aumentar así el caudal. La conexión se haría aprovechando la proximidad de las quebradas la Mohana e Ignacio.

8.4.1 Características Litológicas Generales

El sitio de presa, el vaso de embalse y la conexión con el embalse Charte quedarían ubicados sobre las formaciones Diablo y Caja.

La formación Diablo está constituida en su base por areniscas cuarzosas, grises y verdosas, de grano fino a grueso, estratificadas en bancos hasta de 6 metros de espesor con intercalaciones de arcillolitas grises claras. El espesor del conjunto es de 40 metros.

La parte media está compuesta por arcillolitas y limolitas grises verdosas a rojizas, con intercalaciones de cuatro niveles de areniscas cuarzosas grises verdosas de grano fino a medio, con estratificación maciza.

El espesor de las areniscas varía de 50 a 70 metros.

El techo de la unidad está formado por una alternancia de areniscas y arcillolitas rojizas de grano fino a medio, estratificadas en bancos hasta de 3 metros de espesor. Este conjunto alcanza un espesor de 100 metros.

La otra formación aflorante en el área es la formación Caja y está

constituída en su base por arcillolitas y limolitas rojizas con algunas intercalaciones de areniscas arcillosas, rojizas de grano fino a medio y conglomerados hasta de 1 metro de espesor.

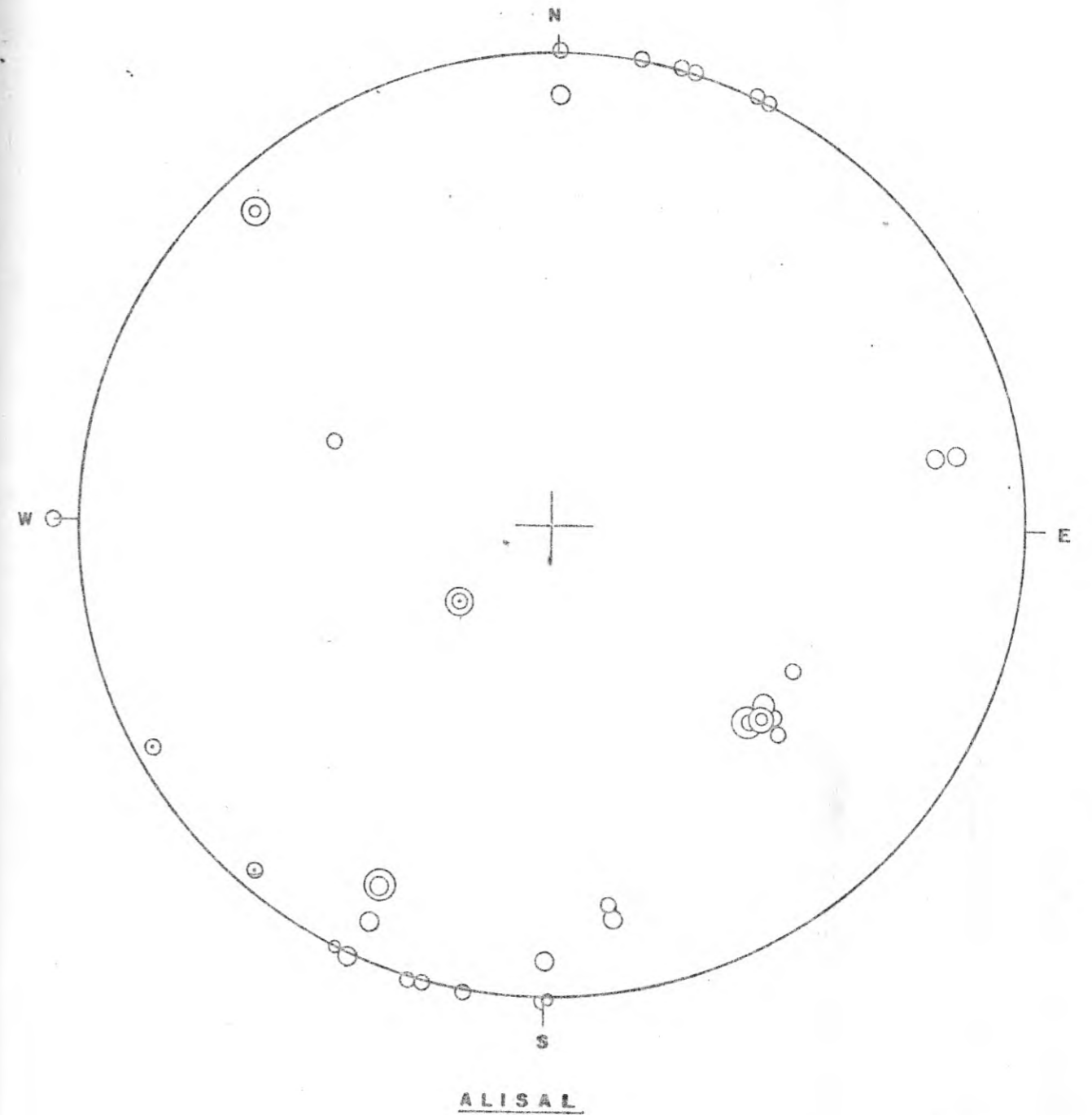
El espesor de este conjunto es de 470 metros. La suprayace una alternancia de arcillolitas, limolitas y conglomerados.

8.4.2 Características Geotécnicas Generales

La presa quedaría localizada sobre la formación Diablo en un estrechamiento del Río Unete. A simple vista y por análisis sobre fotografías aéreas se observan ambas laderas del río relativamente estables, aunque existen algunos coluviones que podrían crear zonas potencialmente inestables que en etapas posteriores serán estudiadas.

El embalse y sus zonas aledañas de manera preliminar se observa estables, aunque como se dijo antes en etapas posteriores se analizará su incidencia en la estabilidad general.

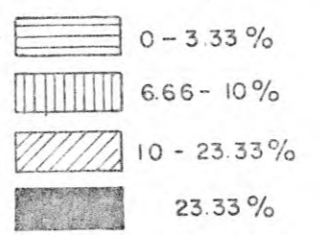
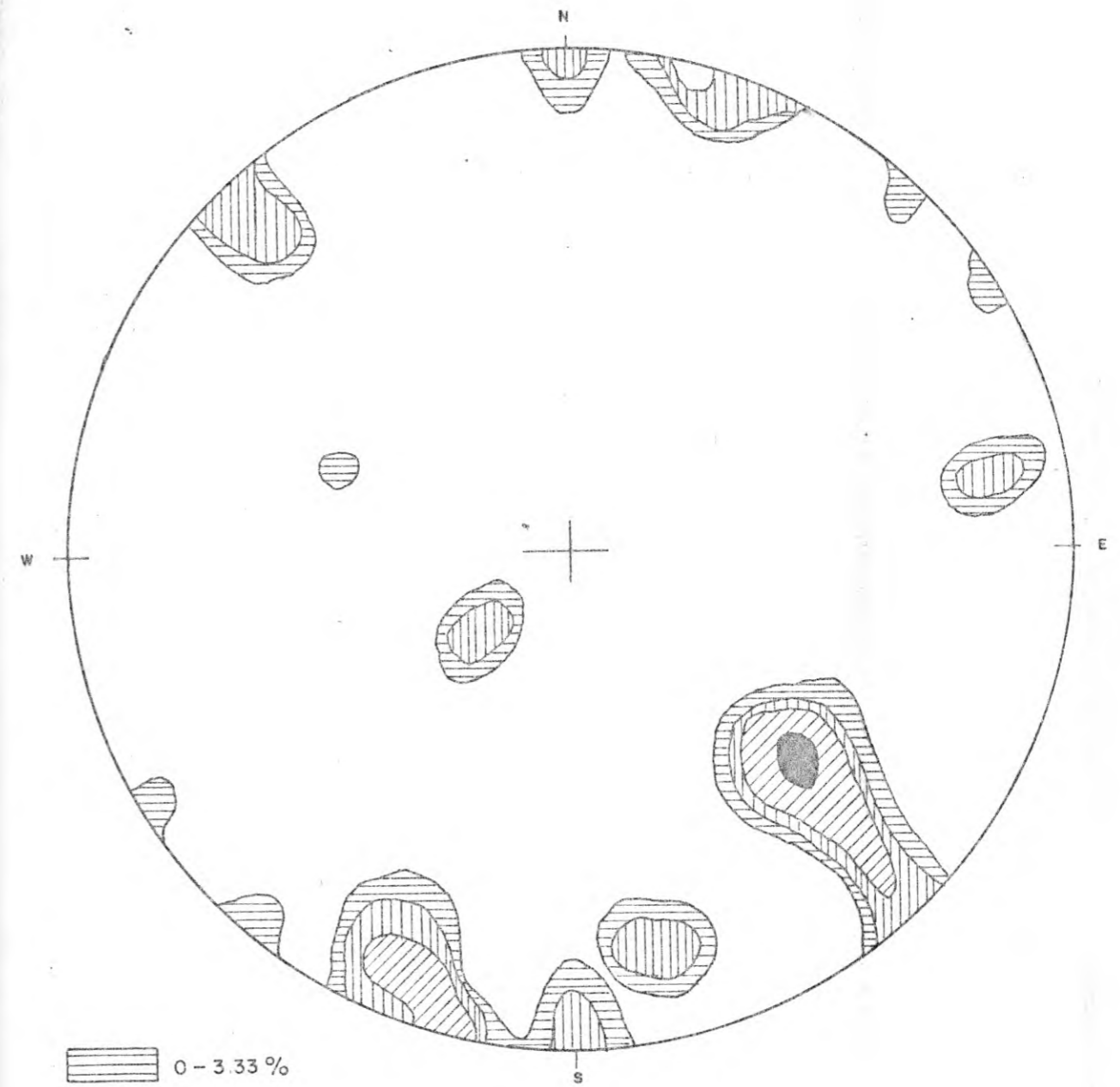
La conexión entre los dos embalses se hará dentro de la formación Caja que a simple vista no presenta mayores indicios de inestabilidad.



ALISAL

Fig. C.1

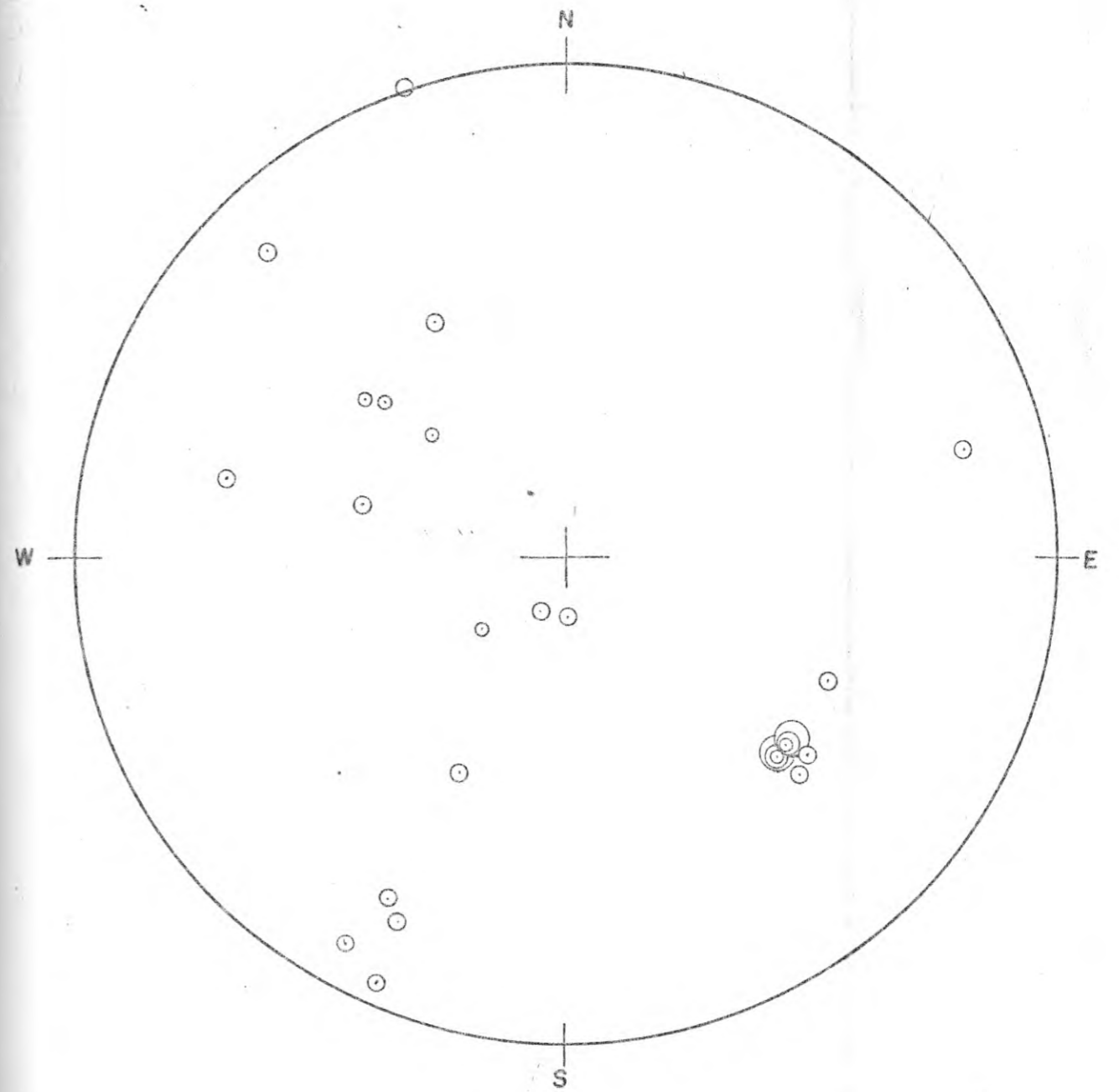
ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II	SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S.A.	TITULO: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO /82



ALISAL

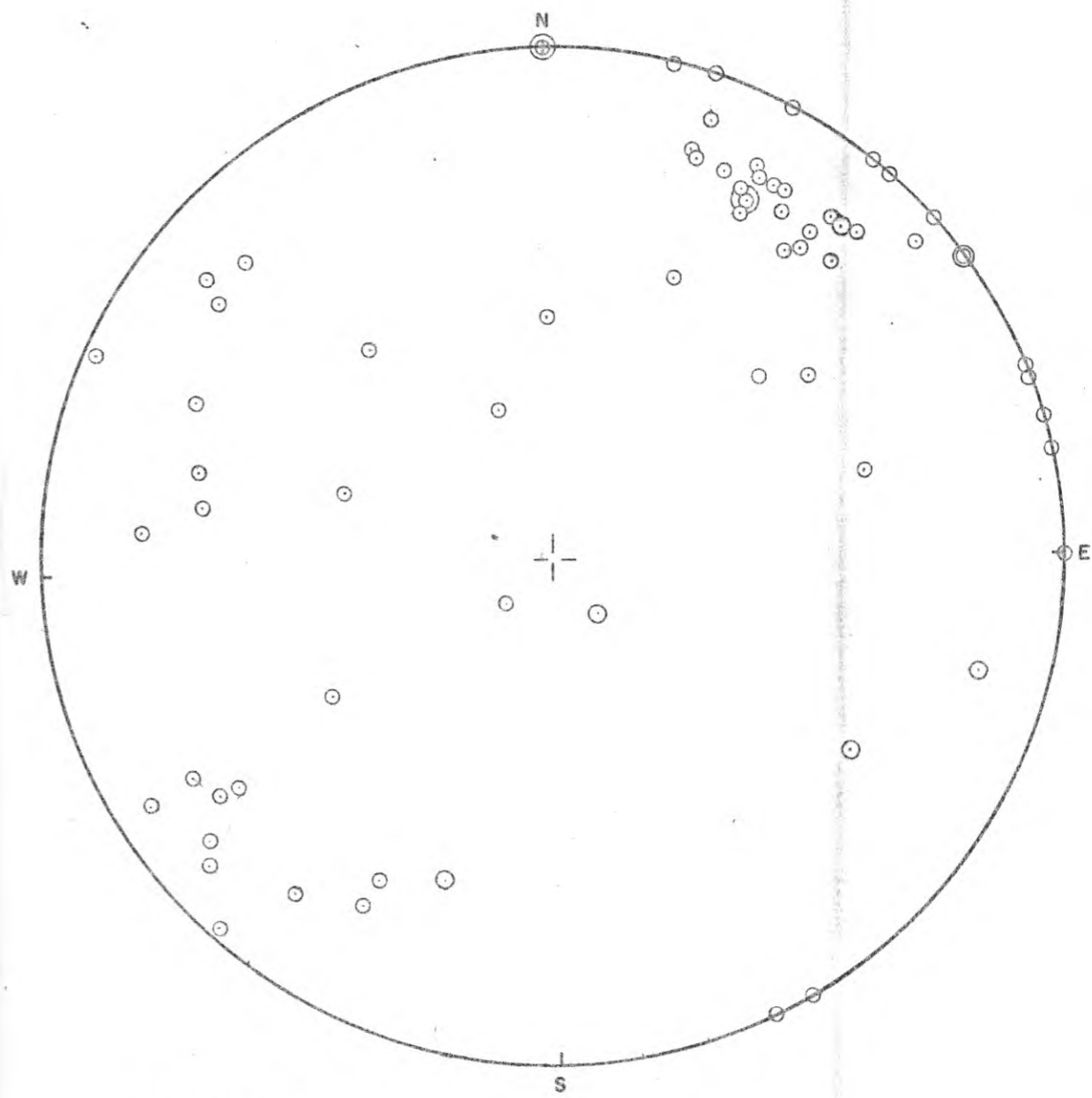
Fig. C.2

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE II	SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES
ELECTRICADORA DE BOYACA S. A.	TITULO: PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE ZONAS DE IGUAL % DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO / 82



VADO HONDO

Fig. C.3



RIO CUSIANA

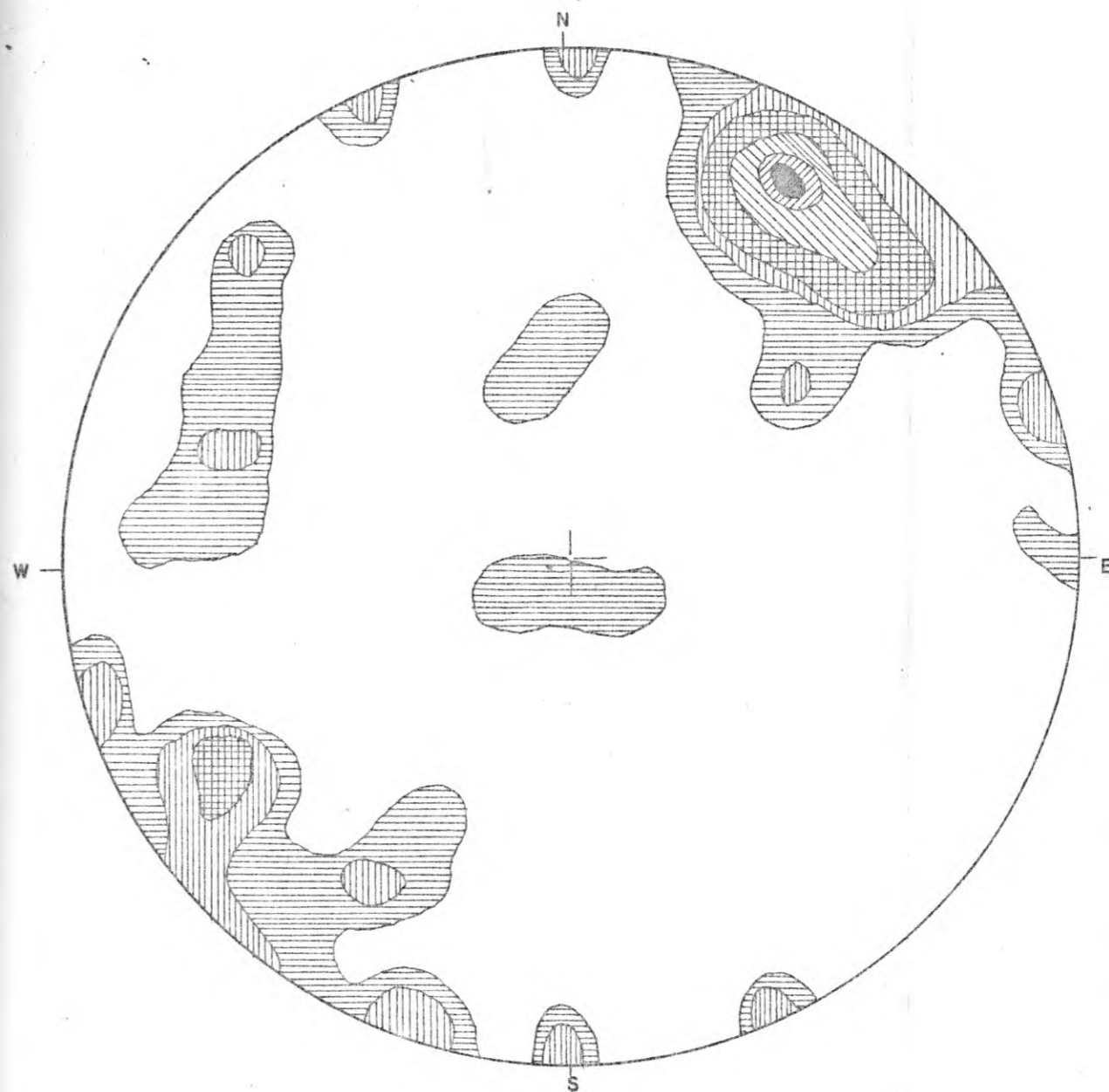
PORTAL DE ENTRADA GUSPAQUIRA

PROYECCION EQUIAREAL

POLOS DE DIACLASA

Fig. C.5

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: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO /82



PORTAL DE ENTRADA GUSPAQUIRA

PROYECCION EQUIAREAL
POLOS DE DIACLASAS

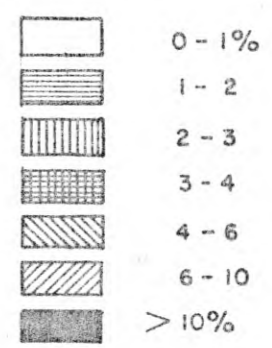
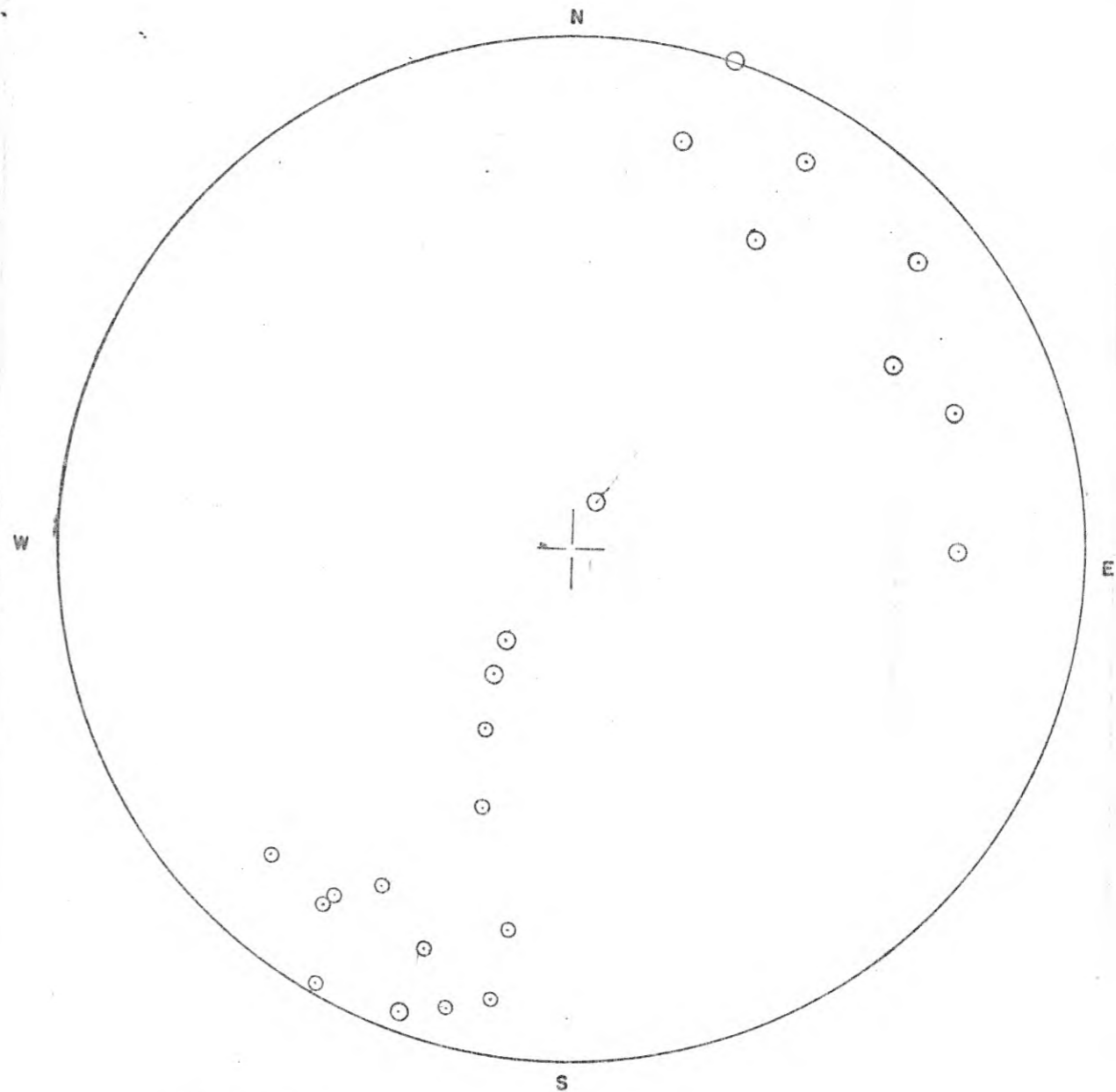


Fig. C.6



RIO CUSIANA

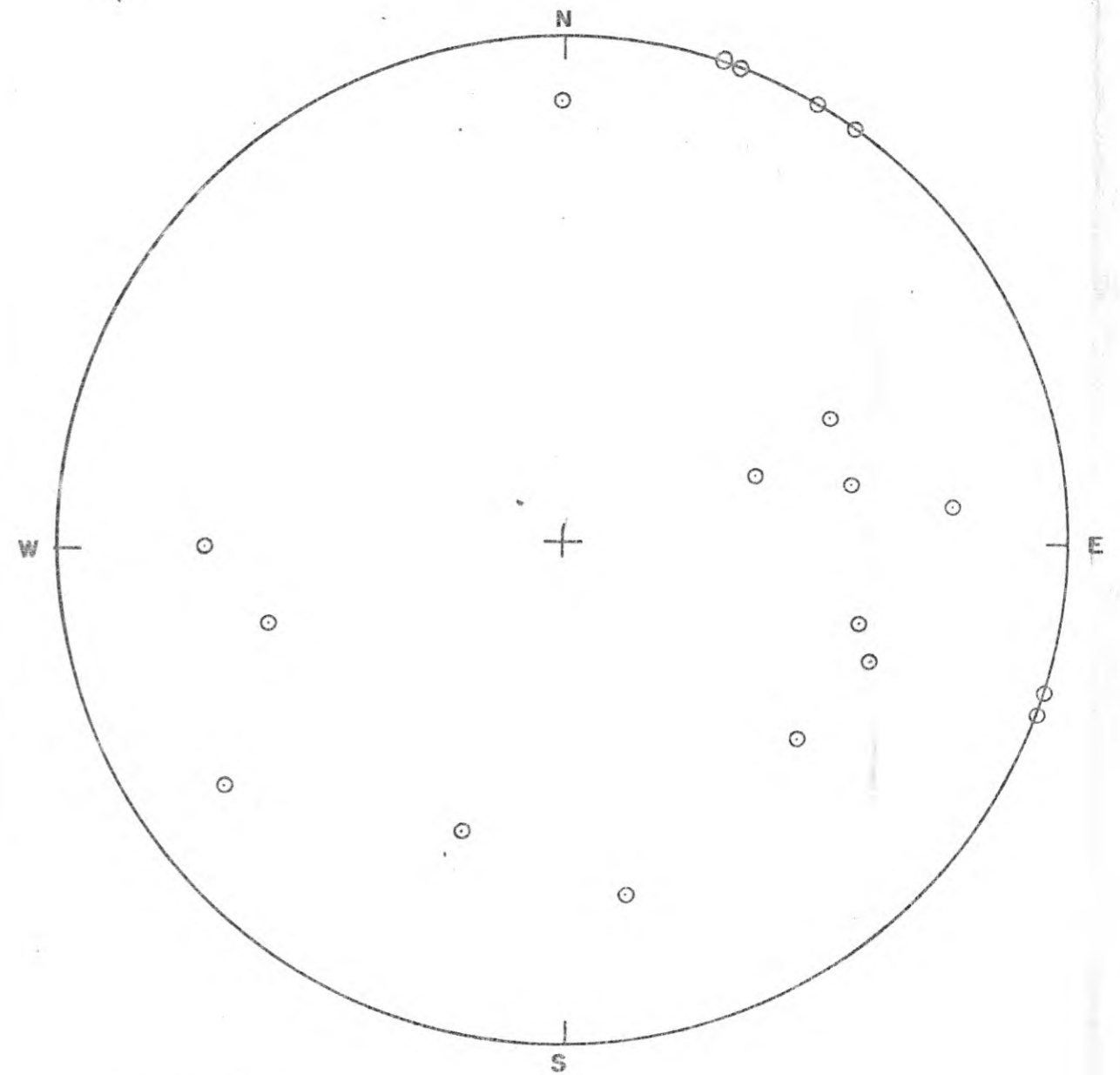
PORTAL DE ENTRADA RANCHERIA

PROYECCION EQUIAREAL
 POLOS DE DIACLASA

Fig. C.7

EL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA • ETAPA A - FASE II	SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES
CENTRIFICADORA DE BOYACA S. A.	TITULO: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO/82

D.A.
L.TORES

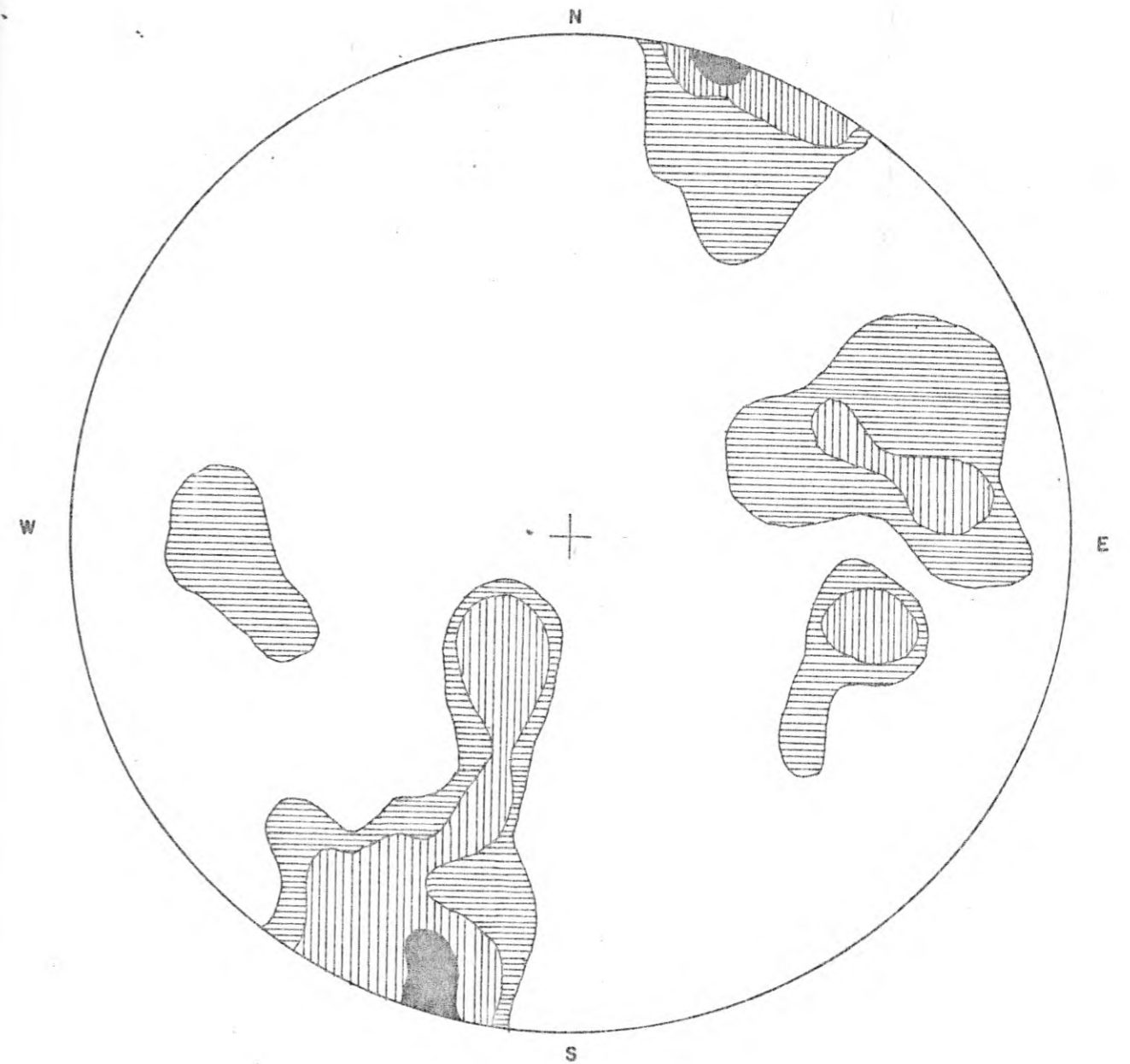


RIO CUSIANA

PORTAL DE SALIDA RANCHERIA

PROYECCION EQUILAREAL
POLOS DE DIACLASAS

Fig. C.8



TUNEL Y PORTALES PROYECTO RANCHERIA
 PROYECTO EQUIAREAL
 POLOS DE DIACLASAS
 AREAS DE IGUAL % DE DIACLASAS

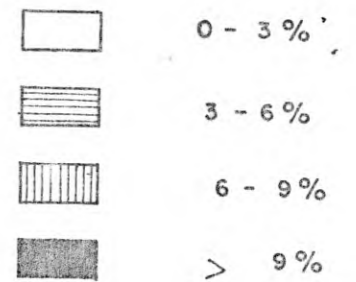
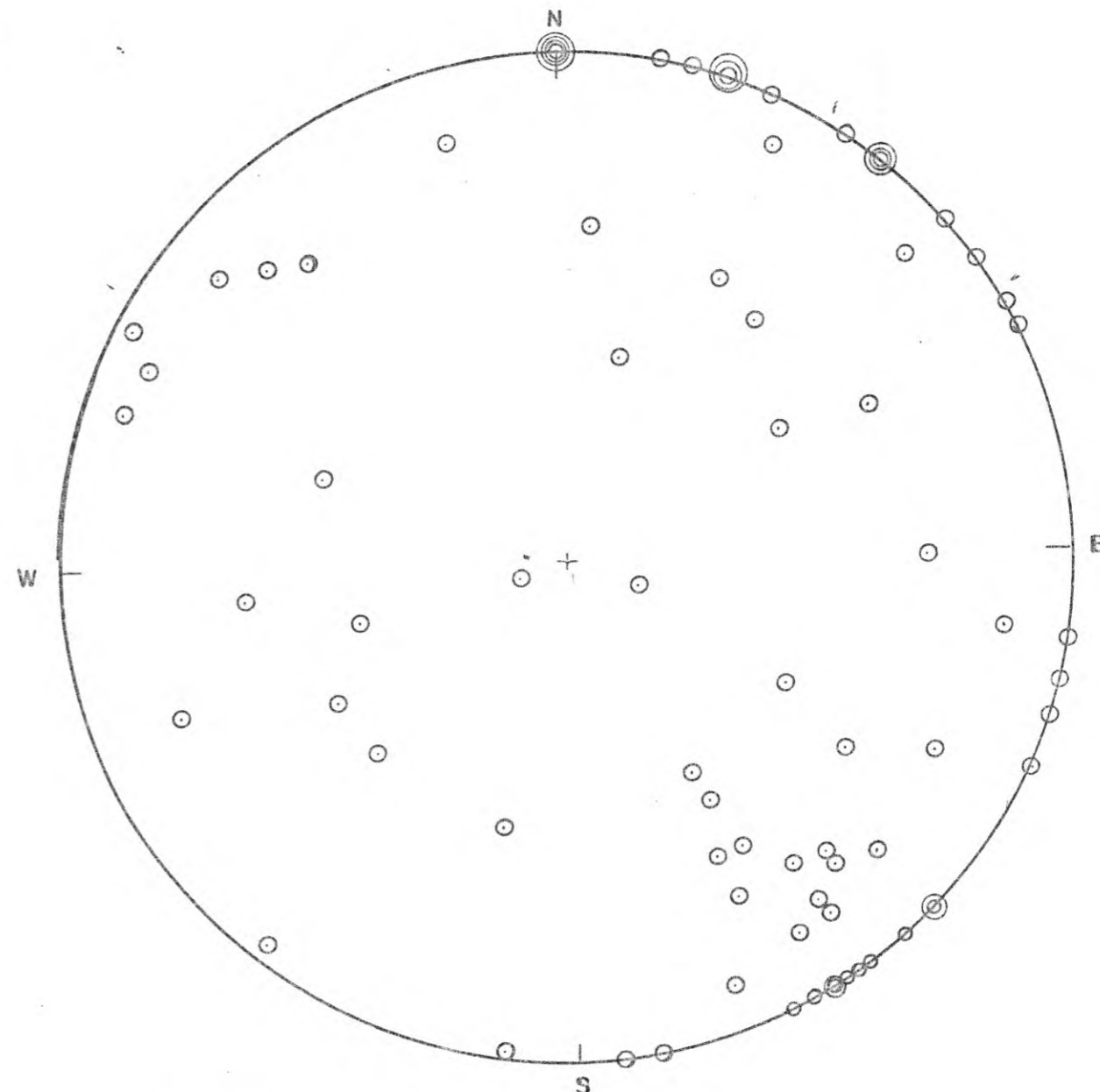


Fig. C.9



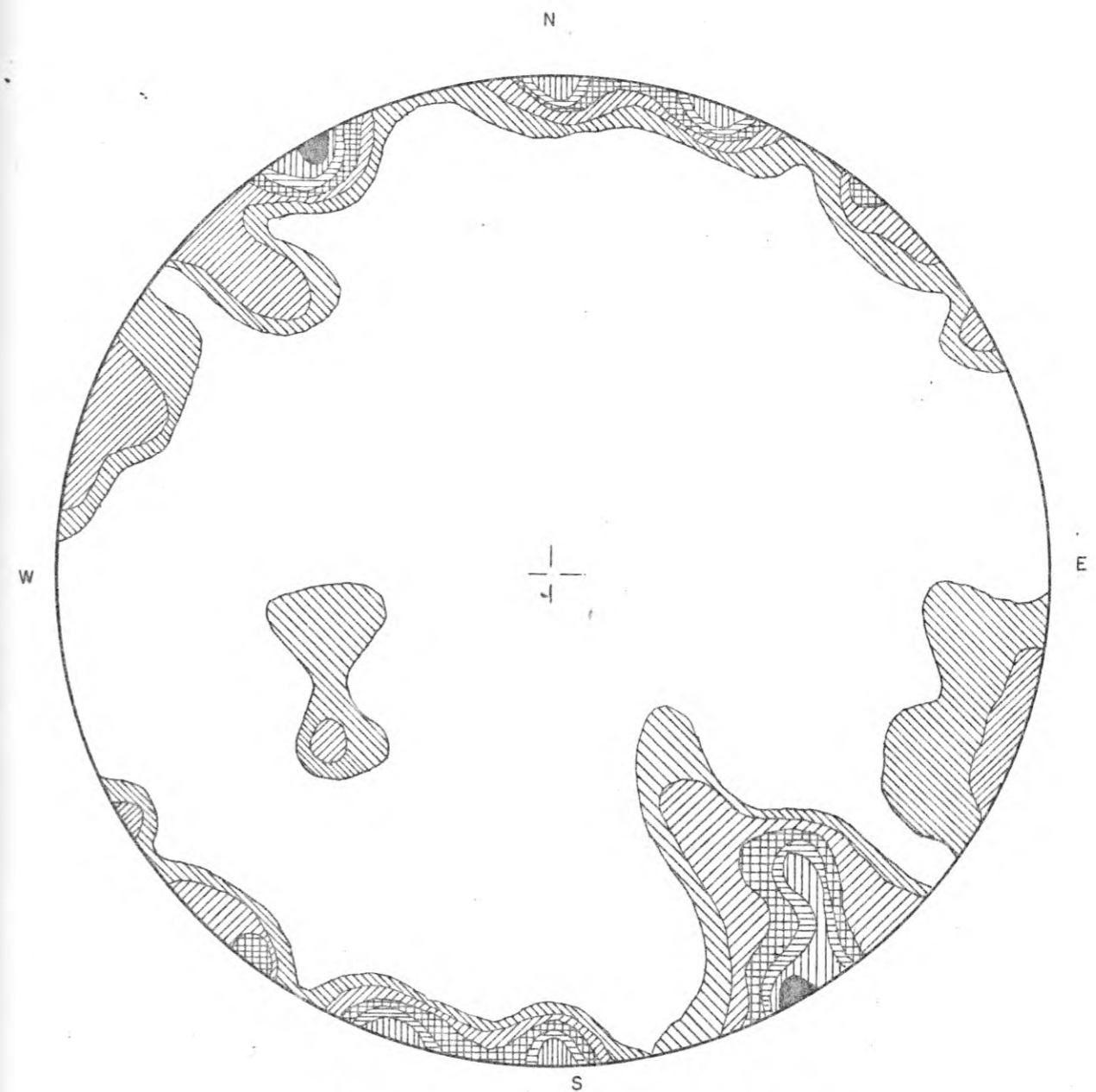
DESARROLLO HIDROELECTRICO RIO CUSIANA

PRESA CANDELAS

ESTRIBO DERECHO :
 PROYECCION EQUIAREAL
 POLOS DE DIACLASAS

Fig. C.10

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: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO / 82



DESARROLLO HIDROELECTRICO RIO CUSIANA


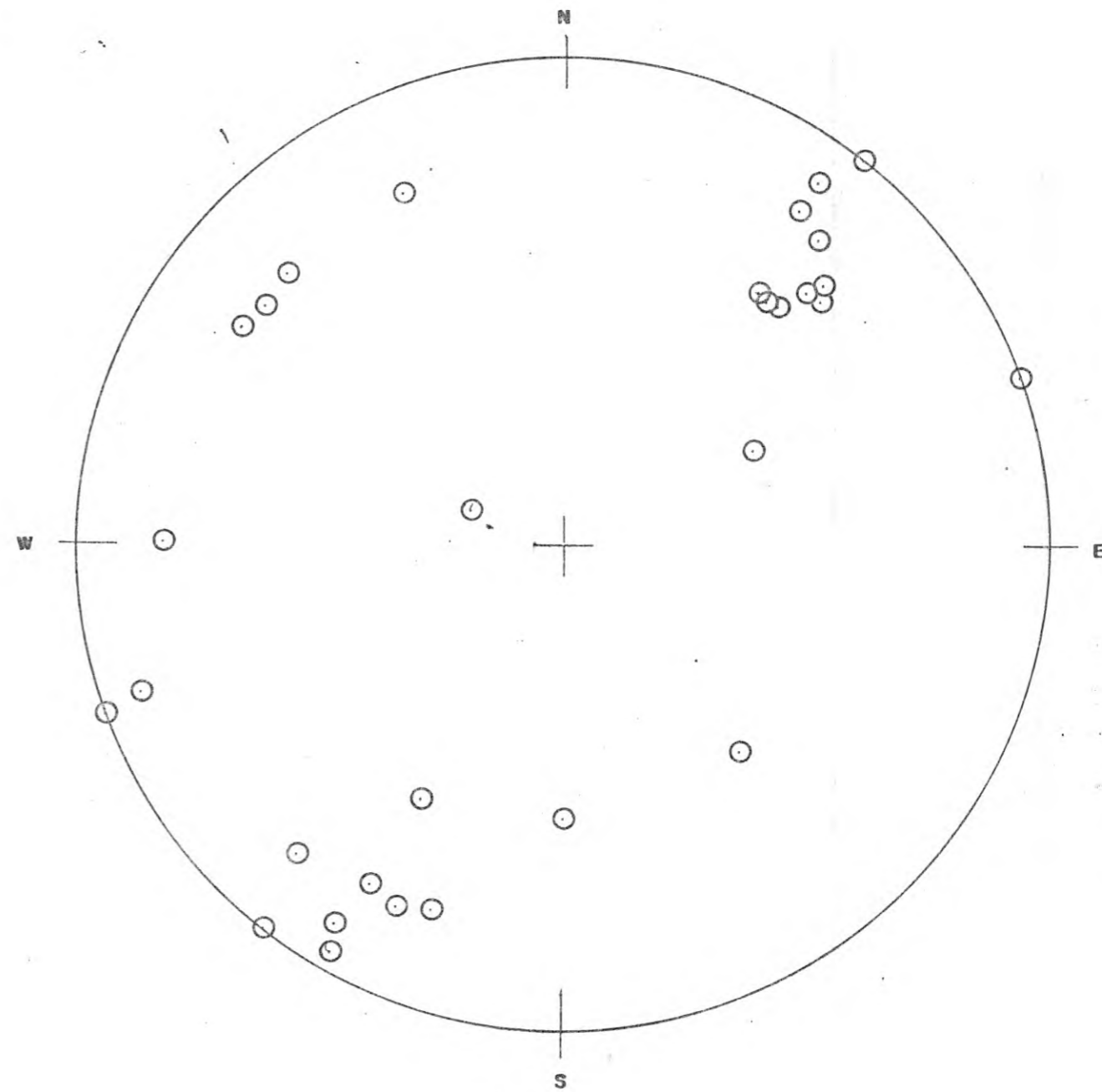
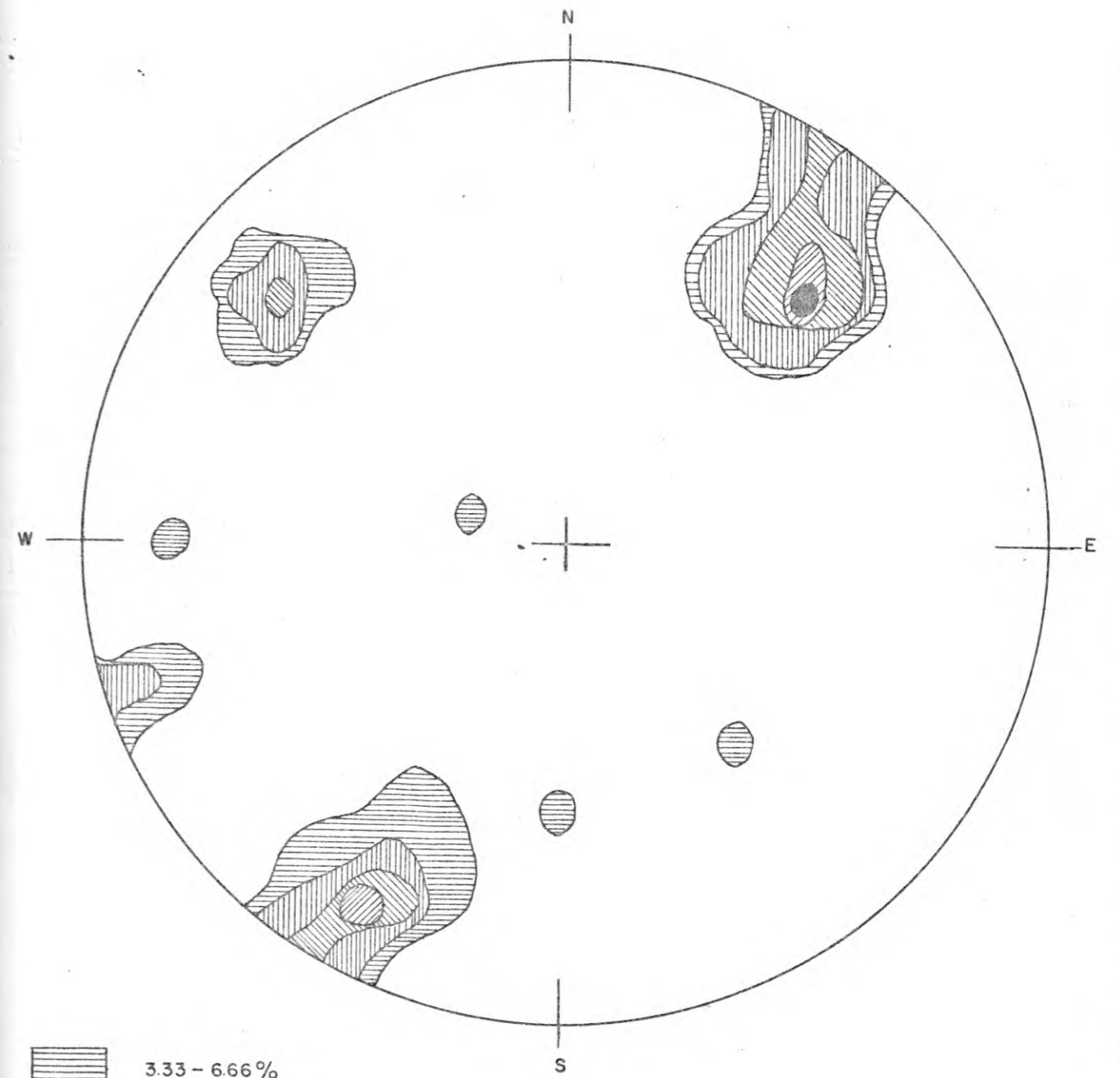
PRESA CANDELAS		> 65%
ESTRIBO DERECHO		6-5%
PROYECCION EQUIAREAL		5-4%
POLOS DE DIACLASAS		4-3%
		3-2%
		2-1%
		< 1%






Fig. C. II



SABANALARGA

Fig. C. 12

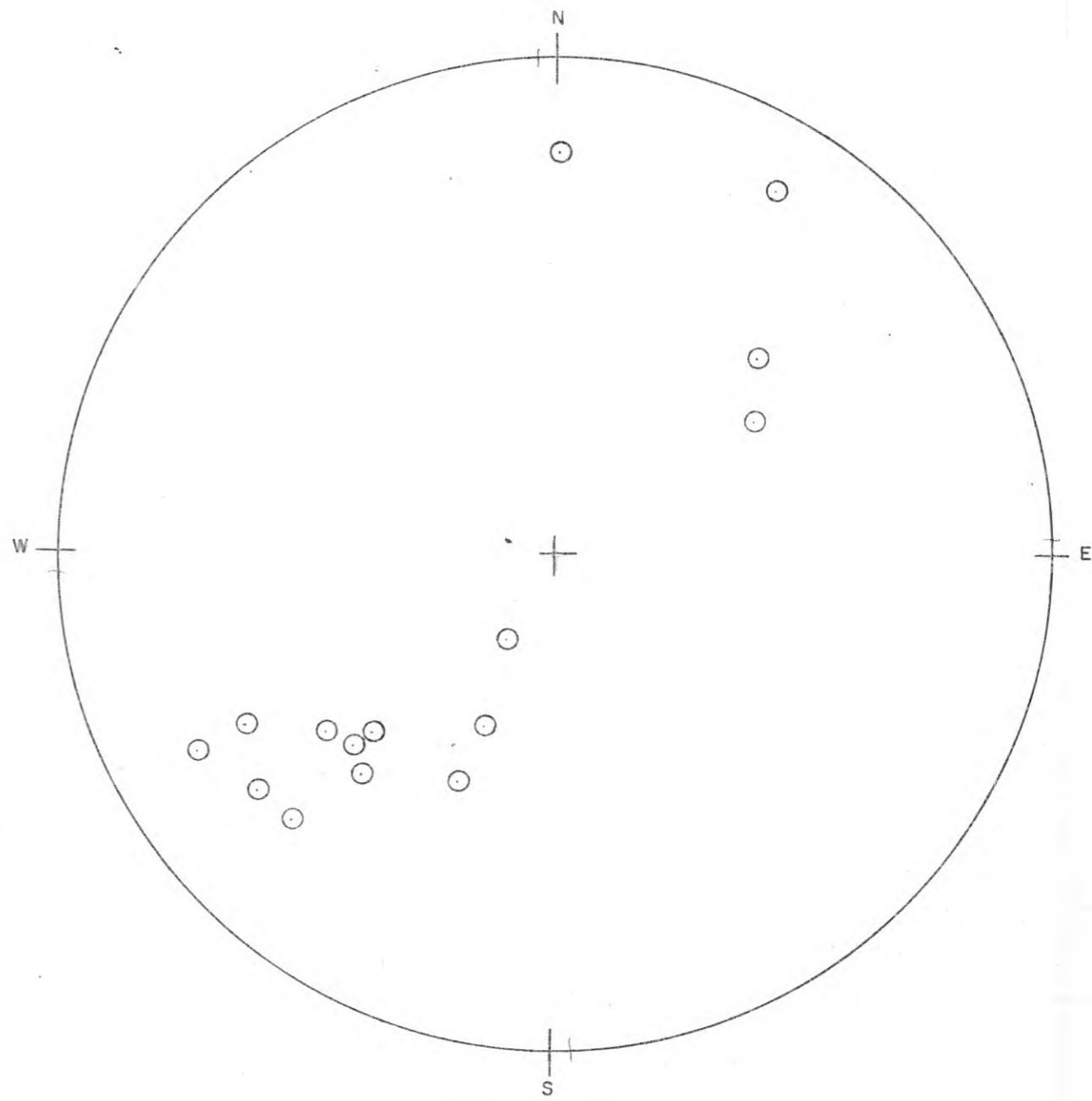


-  3.33 - 6.66 %
-  6.66 - 10 %
-  10 - 13.33 %
-  13.33 - 16.66 %
-  > 16.66 %

SABANALARGA

Fig. C.13

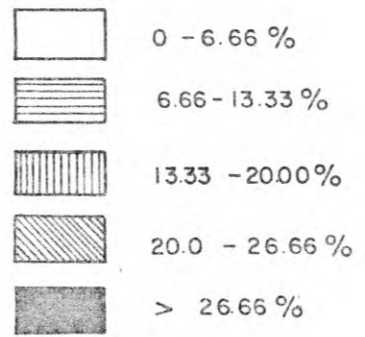
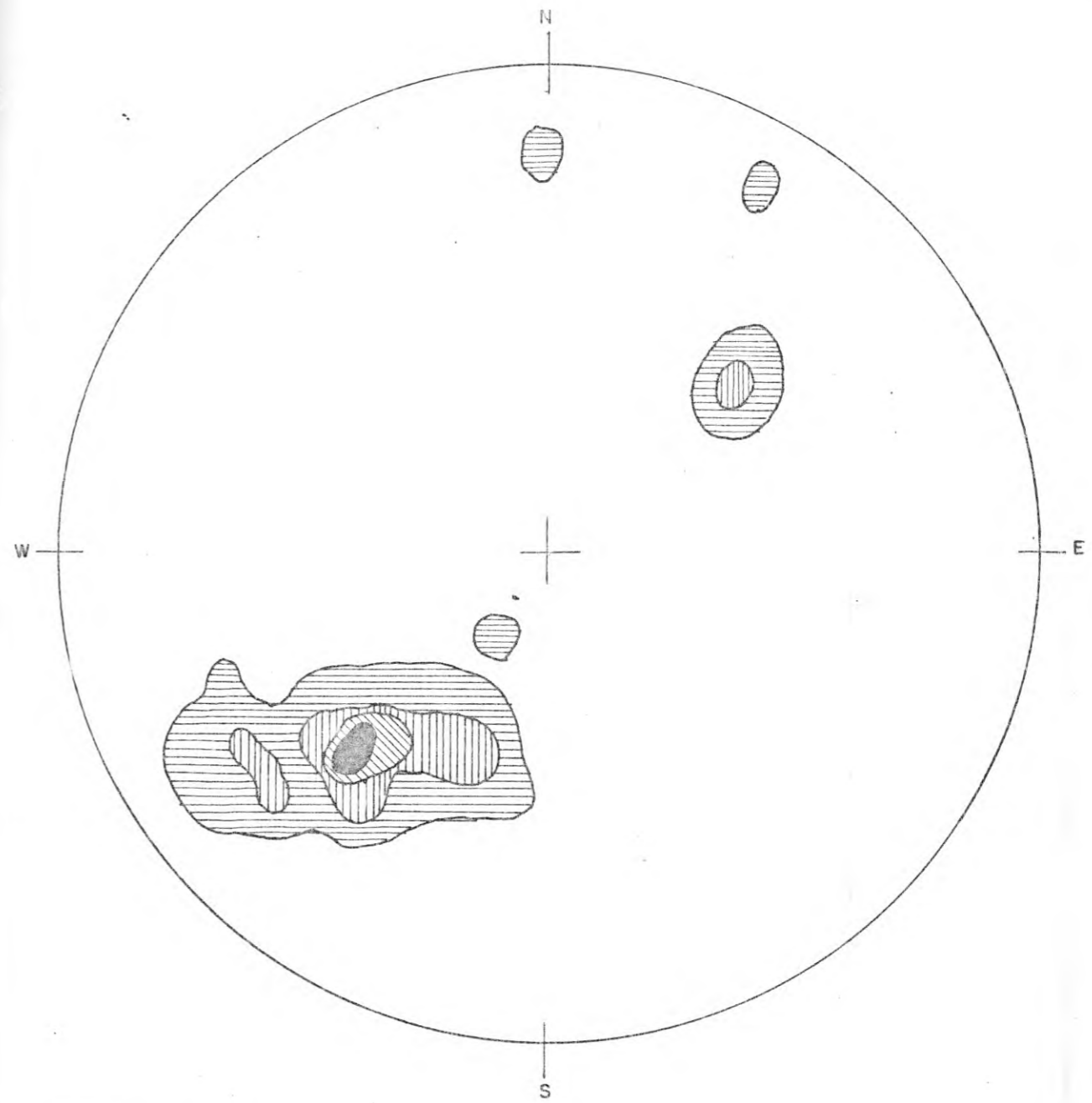
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A --FASE II	SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES
ELECTRICIDAD DE BOYACA S. A.	TITULO: PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE ZONAS DE IGUAL % DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO/82



CORINTO

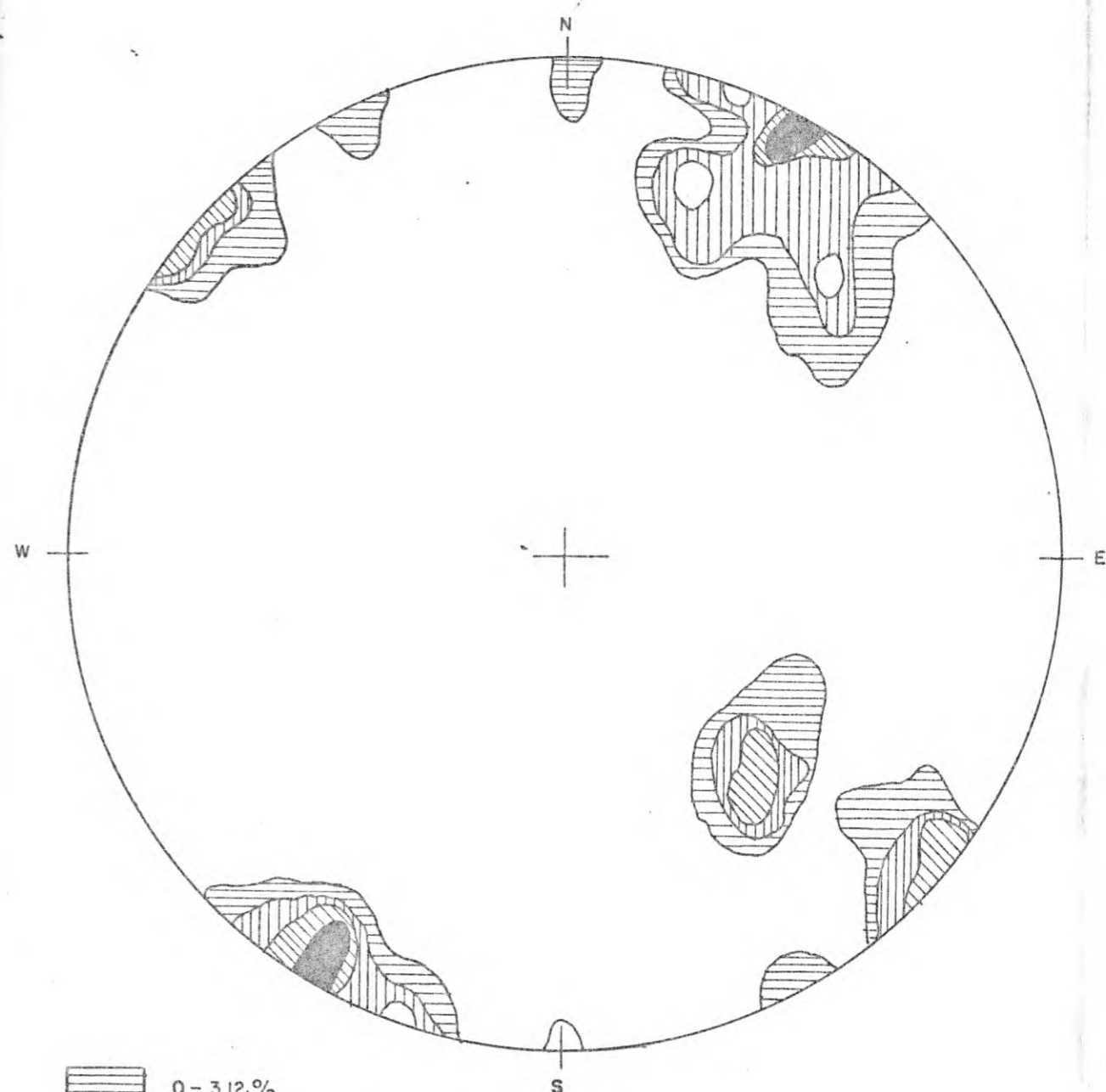
Fig. C.14





ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A.- FASE II	SODEIC LTDA. INGENIEROS CONSULTORES
ELECTRICADORA DE BOYACA S. A.	TITULO: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO/82



CORINTO

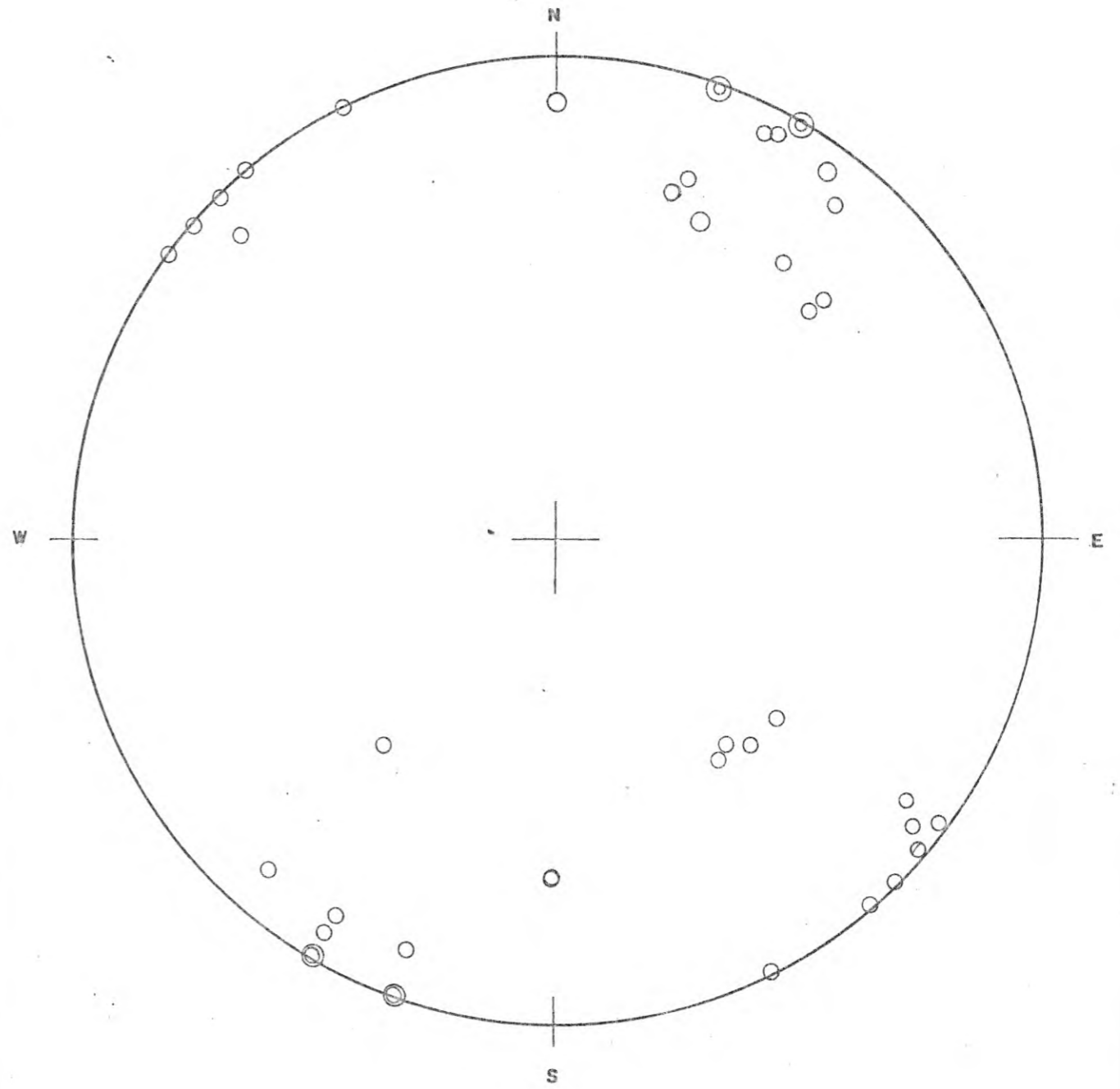
Fig. C.15



-  0 - 3.12%
-  6.25 - 9.375%
-  9.37% - 12.5%
-  12.5% - 15.62%

CONGUTA

Fig. C.16



CONGUTA

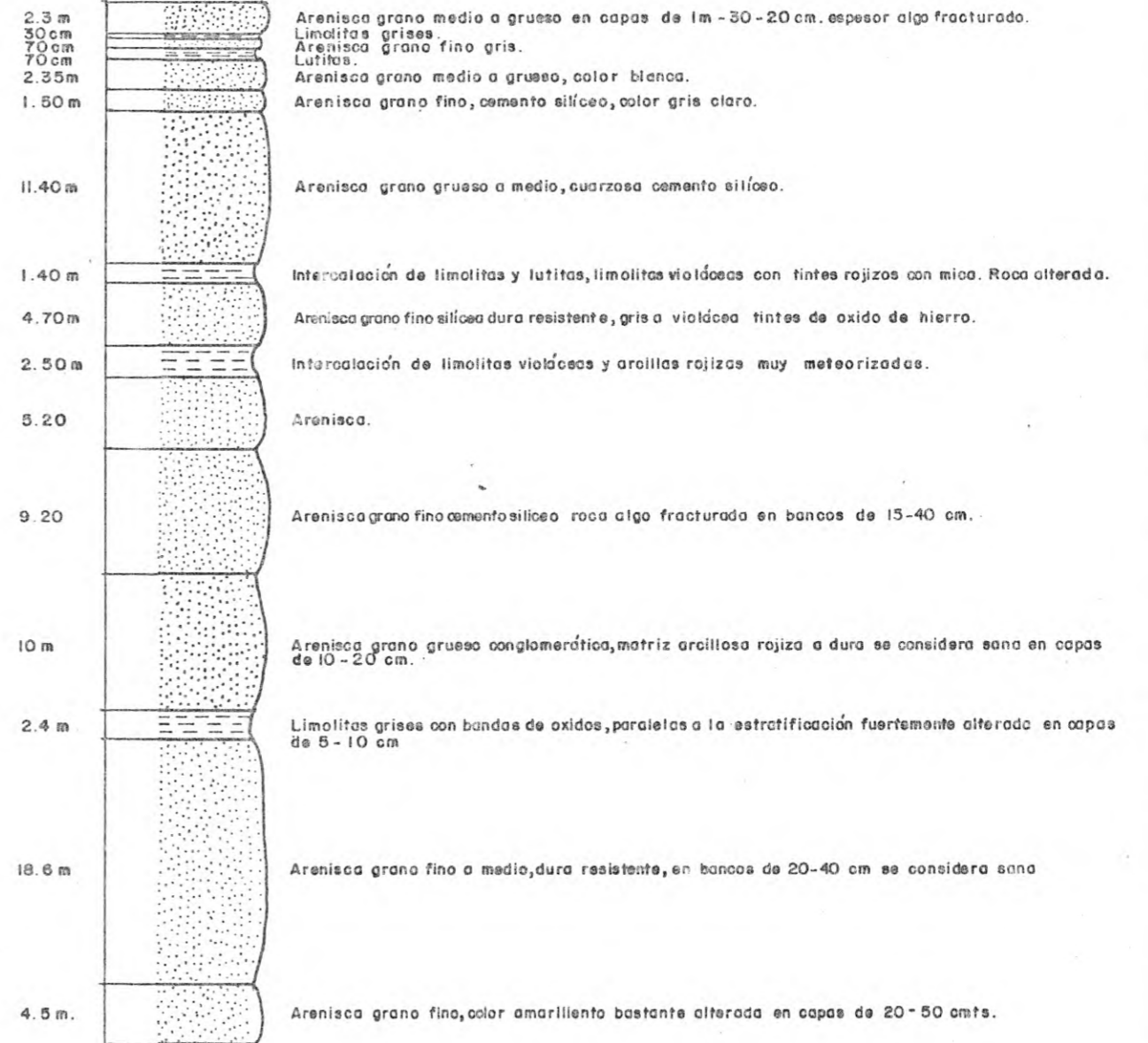
Fig. C.17

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: PROYECCION ESTEREOGRAFICA EQUIAREAL DE POLOS DE DIACLASAS	FECHA: AGOSTO/82

PRESA EL ALISAL MARGEN DERECHA AGUAS ABAJO

Rumbo N 40E buz - 25-S

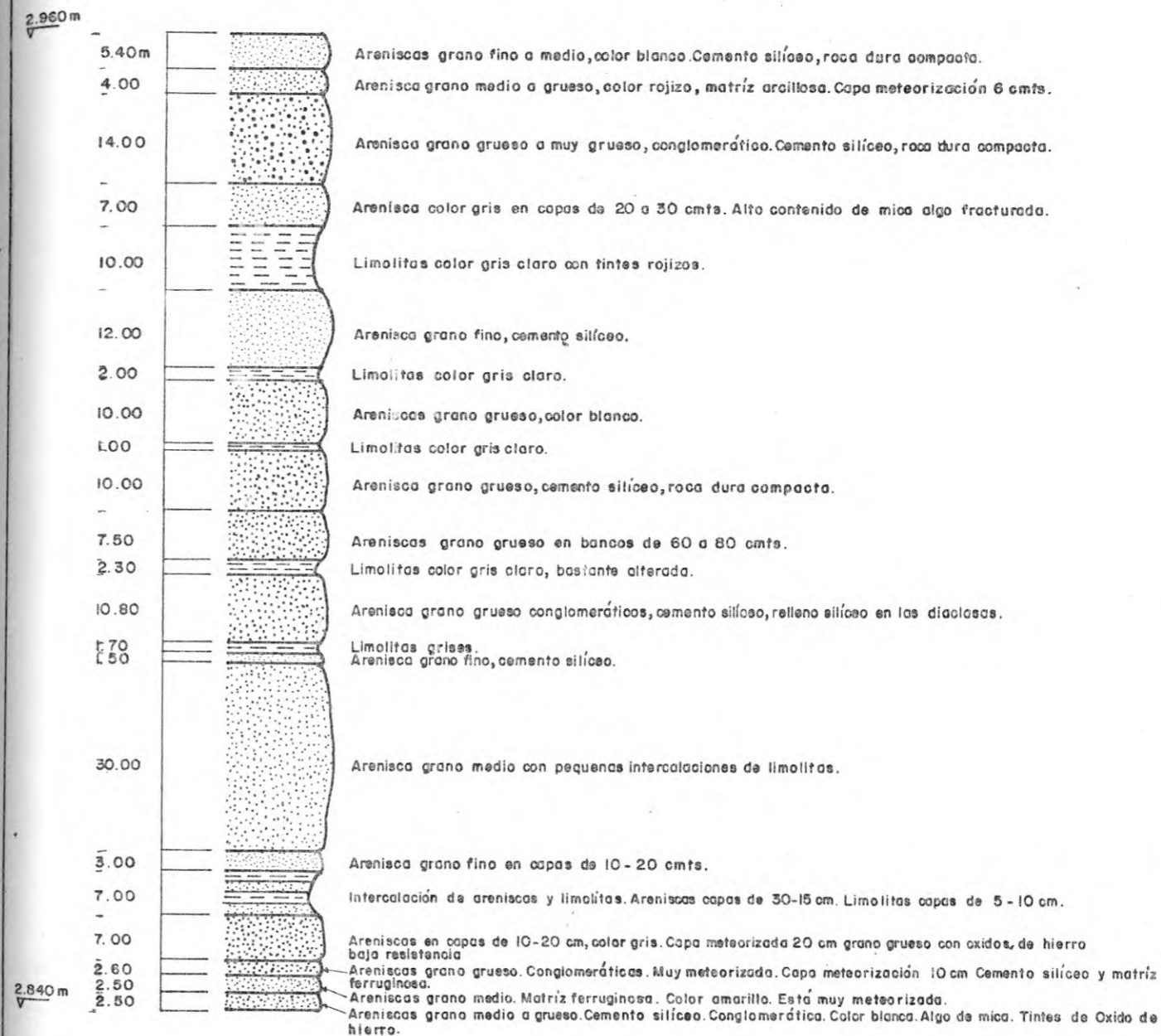
2.830 m.



Escala: 1:500

PRESA VADO HONDO SITIO DE PRESA

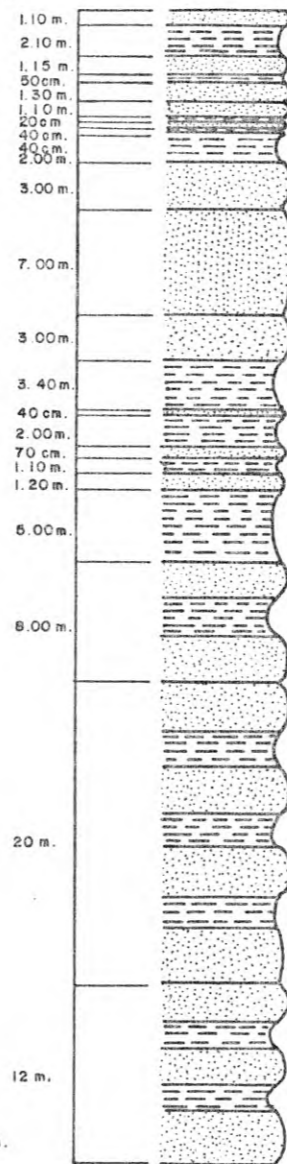
Rumbo : N 42 E. Buz : 42 NW



Escala : 1 : 1.000

PRESA GUSPAQUIRA MARGEN IZQUIERDA AGUAS ABAJO

2.800 m.



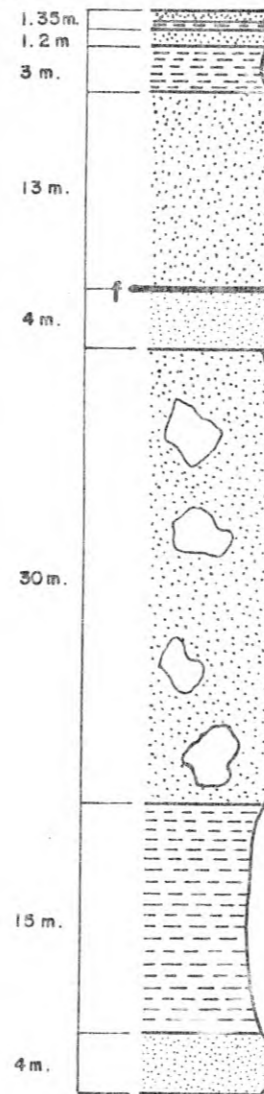
1.10 m. Arenisca grano fino, dura, resistente compacta.
 2.10 m. Limolitas meteorizadas en capas de 50-10 cm.
 1.15 m. Arenisca grano fino en capas de 7-14 cm dura, resistente.
 50 cm. Lutita negra.
 1.30 m. Arenisca grano fino cuarzosa.
 1.10 m. Arenisca.
 20 cm. Lutita.
 40 cm. Lutita.
 40 cm. Lutita con mica.
 2.00 m. Lutita parte en forma de panelitas con alto contenido de calcopirita - pirita.
 3.00 m. Arenisca grano muy fino color oscuro, dura cemento siliceo.
 7.00 m. Arenisca grano fino en bancos de 2-3 m. color gris, dura, resistente.
 3.00 m. Arenisca grano fino color gris, cuarzosa, dura resistente.
 3.40 m. Lutitas negras, entre las lutitas se observan concreciones entre 5-15 cm. de diámetro, algo de piritización.
 40 cm. Arenisca grano fino siliceo cuarzosa, dura resistente.
 2.00 m. Lutita con concreciones.
 70 cm. Arenisca grano fino, dura resistente.
 1.10 m. Lutita fuertemente meteorizadas en superficie.
 1.20 m. Arenisca grano fino, algo meteorizada con oxidos de hierro.
 6.00 m. Lutitas y limolitas fuertemente meteorizadas superficialmente.
 8.00 m. Intercalación de capas de arenisca de 70 cm y lutitas carbonosas de 10 cm, arenisca dura grano fino.
 20 m. No hay afloramiento por buzamiento, se asume 20 m. intercalación de areniscas y lutitas no se pudo medir diaclases.
 12 m. Intercalación de areniscas y lutitas y limolitas.

2.800 m.

Escala : 1 : 500

**PRESA DERIVACION DE RANCHERIA
ESTRIBO DERECHO AGUAS ABAJO**
Rumbo N 30E buz - 75-SE

2.150 m.



Intercalación Areniscas y Lutitas.
Arenisca grano fino a medio. Cemento silíceo. Capas de Arenisca de 10-15mts. se considera zona poco fracturada.
Lutitas negras. Algo fracturadas. Zona de grandes esfuerzos.

Areniscas grano fino a medio. Capas de 60-20 cm. Roca dura, resistente a la meteorización, algo fracturada.

Cambio brusco en el buzamiento. Falla local. Arenisca grano fino, color gris, dura.

Columna cubierta por delizamiento con embebidos de una matriz arcillosa arenosa

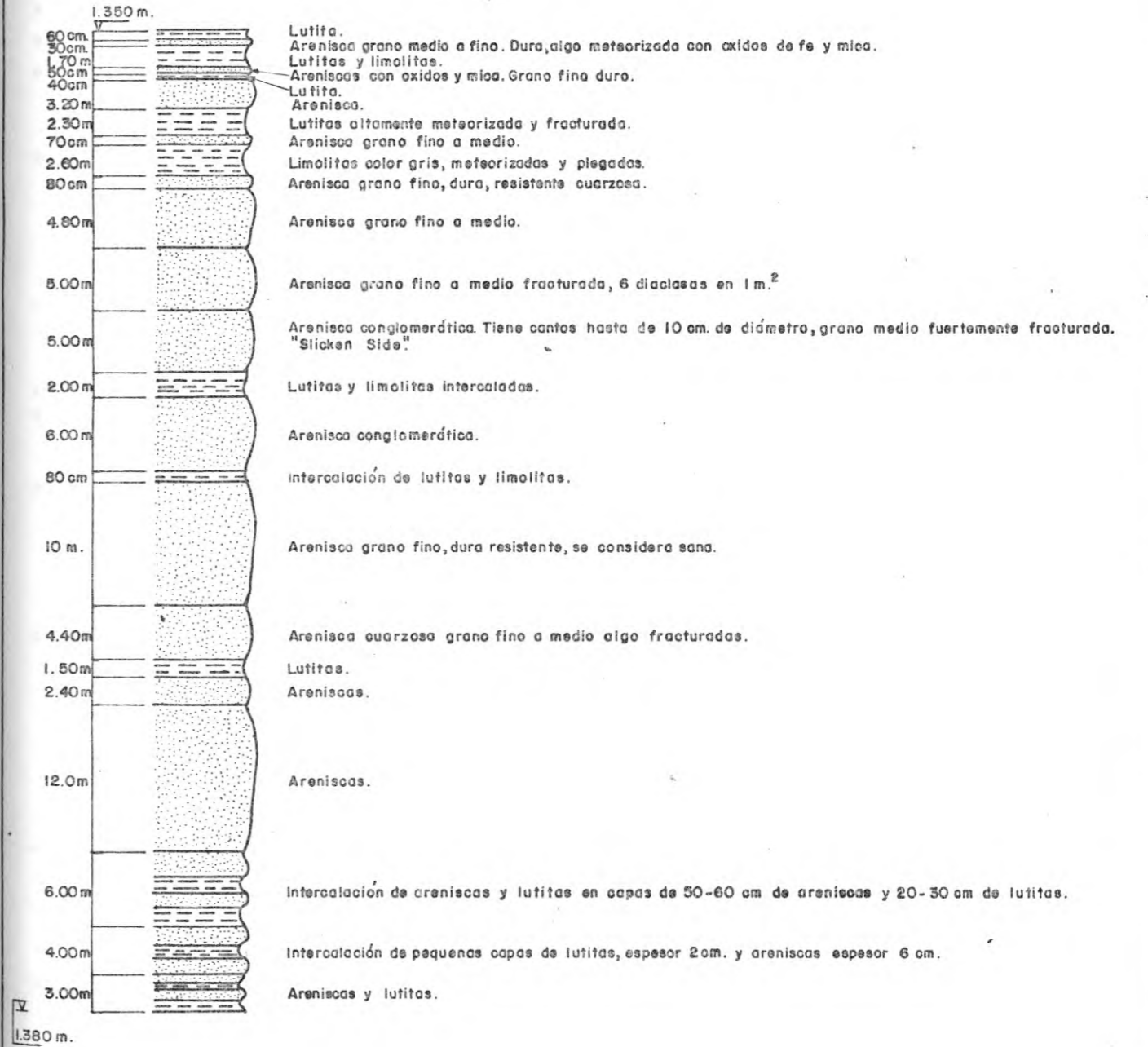
Comienzan nuevamente afloramientos de roca.

Lutitas carbonosas fracturadas.

Arenisca grano fino. Roca sana.

2.200 m.

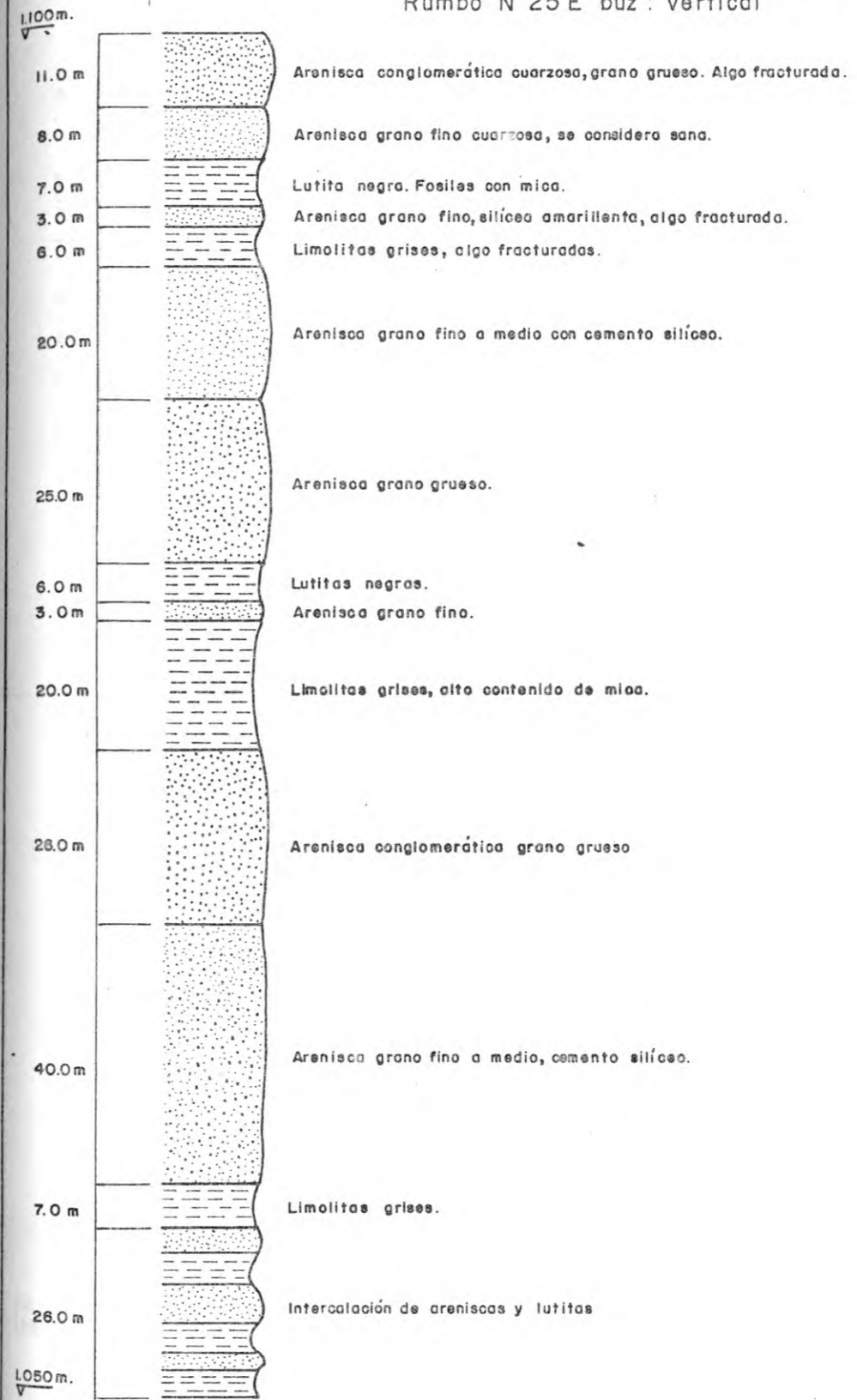
PRESA CANDELAS ESTRIBO DERECHO AGUAS ARRIBA



Escala : 1:500

PRESA SABANALARGA AGUAS ARRIBA. MARGEN IZQUIERDA

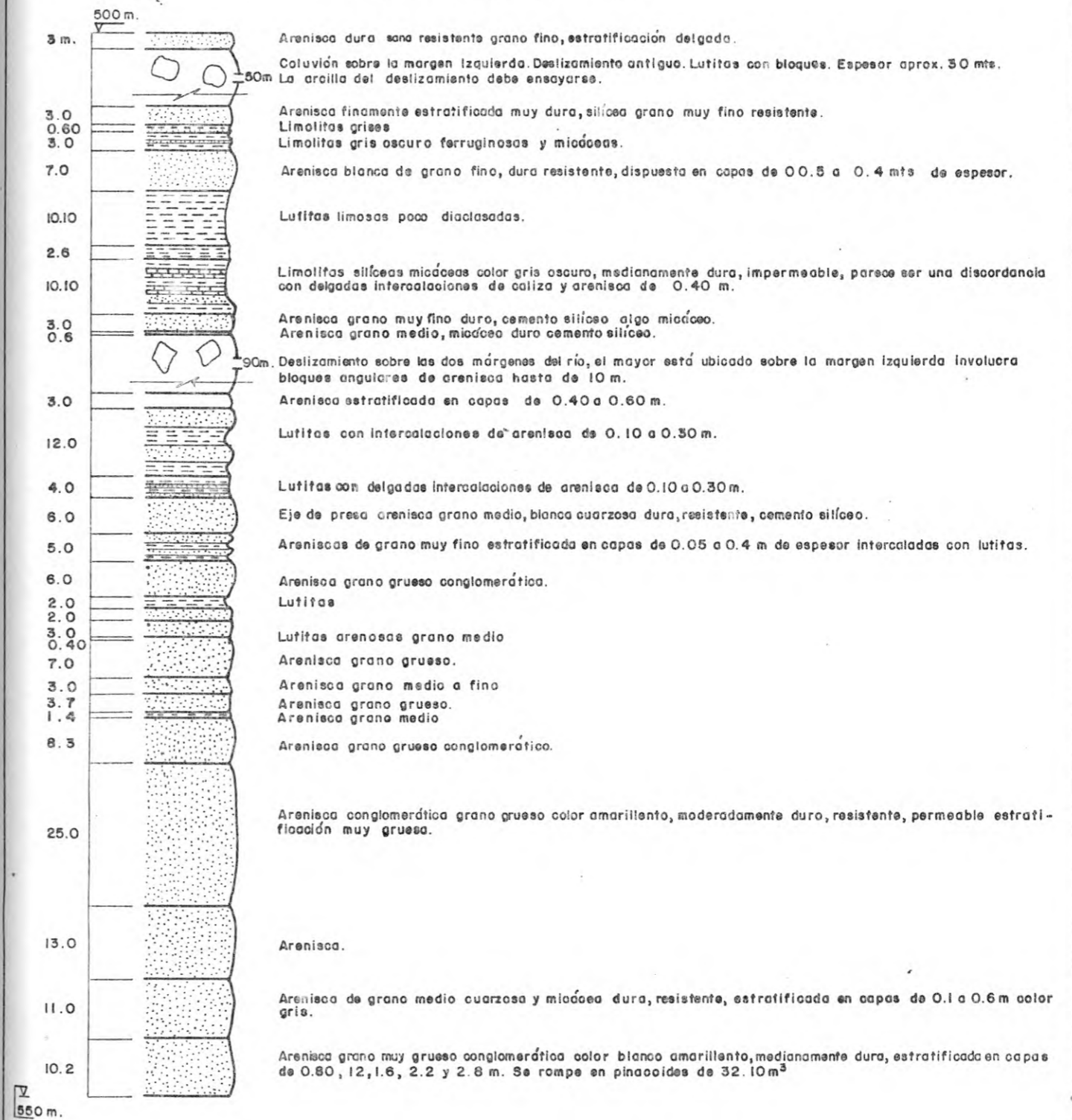
Rumbo N 25 E buz: Vertical



Escala : 1 : 1.000

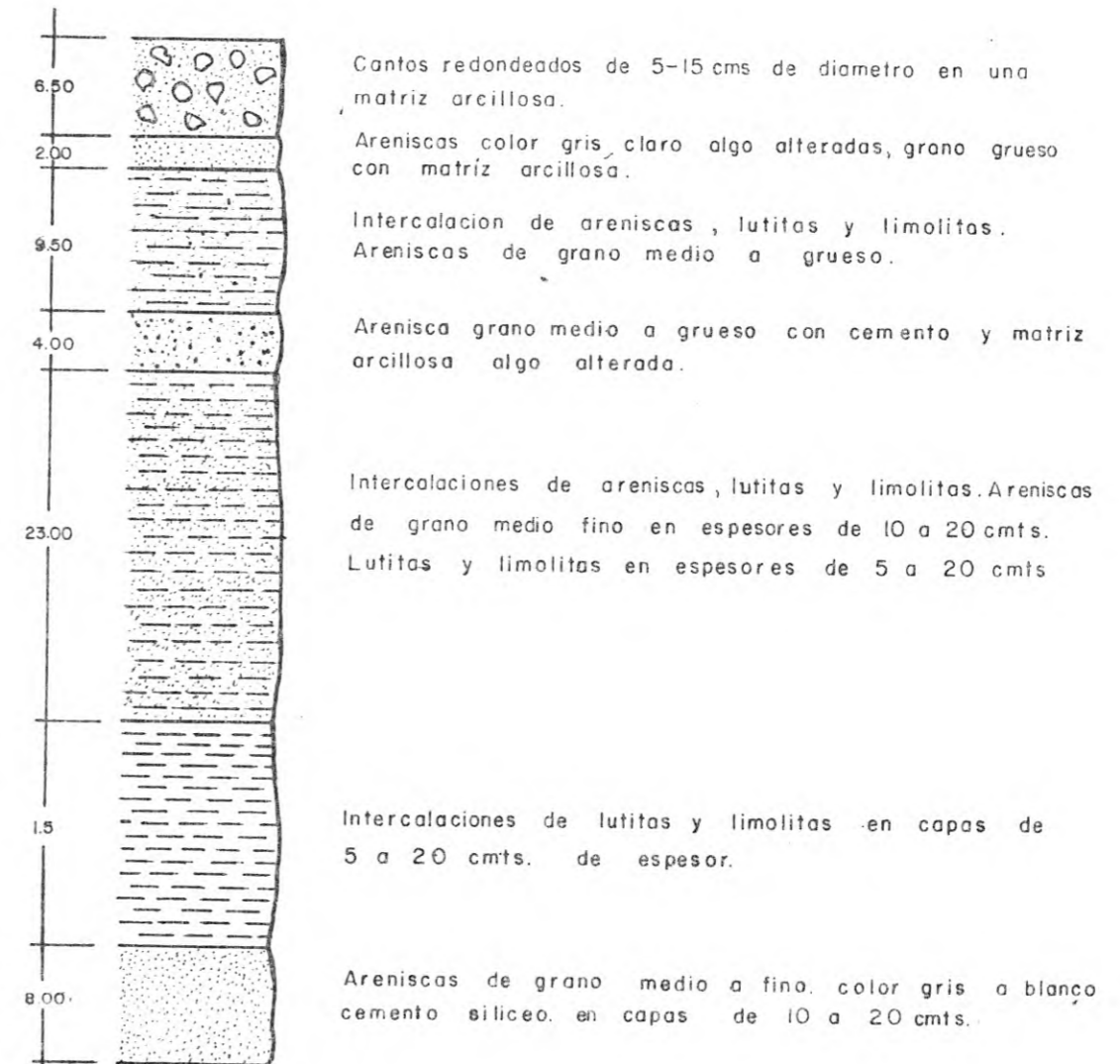
PROYECTO BOCAS DEL SALINERO AGUAS ARRIBA DEL
EJE DE PRESA

Rumbo N 40 E buz - 25 N



Escala 1:1.000

COLUMNA GEOLOGICA LEVANTADA A LO LARGO DEL TUNEL DE CONDUCCION DEL PROYECTO BOCAS DEL SALINERO



ESC. 1:50

A N E X O - C -

- GEOLOGIA
- SUELOS Y MATERIALES
- SISMOLOGIA

P A R T E - B -

- SUELOS Y MATERIALES

A N E X O - C -
P A R T E - B - SUELOS Y MATERIALES

I N D I C E

TITULO	PAGINA
1 PROYECTO TOQUILLA - EL ALISAL - VADO HONDO	1
2 PROYECTO CHAMEZA	8
3 PROYECTO BOCAS DEL SALINERO	14
4 PROYECTO GUSPAQUIRA	17
5 PROYECTO RANCHERIA	17
6 PROYECTO CANDELAS	17
7 PROYECTO SABANALARGA	18
8 CIMENTACIONES	19

GRAFICOS Y TABLAS

GRAFICO No. 1	PRESA TOQUILLA - PRESTAMO NUCLEO
GRAFICO No. 2	PRESA TOQUILLA - FILTROS
GRAFICO No. 3	PRESA TOQUILLA - FUNDACION Y ESTRIBOS
GRAFICO No. 4 y 5	PRESA CHAMEZA - MATERIALES
GRAFICO No. 6	PRESA TOQUILLA - MATERIALES FUNDACION
GRAFICOS Nos. 7, 8 y 9	PRESA CHAMEZA - SUELOS

T Í T U L O

TABLA No. 1 a 10 RESUMEN SUELOS PROYECTO TOQUILLA-ALISAL-VADO HONDO

TABLA No. 11 y 12 RESUMEN SUELOS PROYECTO CHAMEZA

TABLA No. 13 RESUMEN SUELOS PROYECTO BOCAS DEL SALINERO

TABLA No. 14 RESUMEN SUELOS PROYECTO GUSPAQUIRA-RANCHERIA-CASA DE
MAQUINAS

TABLA No. 15 RESUMEN SUELOS PROYECTO CANDELAS - CASA DE MAQUINAS

TABLA No. 16 RESUMEN SUELOS PROYECTO SABANALARGA - CASA DE MAQUINAS

TABLA No. 17 RESUMEN SUELOS PROYECTO CHAMEZA - CASA DE MAQUINAS

TABLA No. 18 RESUMEN SUELOS PROYECTO BOCAS DEL SALINERO - CASA DE
MAQUINAS

1. PROYECTO TOQUILLA - EL ALISAL - VADO HONDO

1.1 MATERIALES IMPERMEABLES

Las investigaciones de campo se ejecutaron en las zonas previamente seleccionadas y luego de reconocimientos en el terreno. Se hicieron un total de ocho apiques y tres trincheras, localizadas según el plano No. 4.4.

En el área mencionada se encontraron materiales impermeables adecuados para la construcción de la zona de núcleo.

Los materiales generalmente consisten en arcillas limosas residuales, provenientes de la descomposición de lutitas interestratificadas con calizas y se clasifican como CL y ML en el sistema U.S.C.S. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras recuperadas y según los cuadros No. 1 a 10 los límites de consistencia variaron así : LL entre 26 y 49%, IP entre 6 y 20%.

De conformidad con los ensayos de compactación y de compresión inconfiada, la resistencia al corte de estos suelos es media a alta.

Como la permeabilidad es supuestamente baja y las condiciones de pluviosidad en la zona son excesivas, la disipación de presiones de poros durante la construcción será muy reducida. Esta circunstancia se deberá tener en cuenta para emplear medidas especiales a considerar en los diseños finales y durante la construcción.

En virtud de las condiciones de plasticidad obtenidas en los suelos del muestreo, estos presentan resistencia intermedia a la tubificación y tendencia alta a sufrir agrietamientos por efectos de los asentamientos diferenciales

que se puedan presentar. Estas desventajas podrán obviarse respectivamente mediante el uso de zonas de filtros bien gradados y compactando el material a una humedad ligeramente superior a la óptima, aunque tendrá a incrementar las presiones de poros generados durante la construcción, ya que la humedad natural excede a la óptima de laboratorio.

Las principales características de los materiales cohesivos son los siguientes :

a. Trabajabilidad

El contenido óptimo de humedad de suelos de este tipo (CL, CL-ML) con altas relaciones de pulverización, cuando se compactan a la energía del Proctor Modificado, corresponde aproximadamente a 70-80% del L.P. Por lo tanto, puede observarse que las humedades en sitio superan ligeramente a la óptima. Como se indicó anteriormente, esto incidirá en la generación de presiones de poros relativamente altas durante la construcción, pero, a su vez, aumentará la flexibilidad del material y disminuirá su tendencia al agrietamiento.

La pluviosidad de la región es otro factor que debe considerarse ya que afecta la trabajabilidad de los materiales y, por ende, los programas de construcción.

Para los ensayos de compactación complementarios, se deberán seleccionar muestras que representen combinaciones favorables, medias y desfavorables del LL e IP, teniendo en cuenta que la impermeabilidad aumenta con IP y la compresibilidad con el LL.

b. Tendencia al Agrietamiento

En general, estos materiales (CL, CL-ML, SC) poseen vulnerabilidad alta a media al agrietamiento, por lo cual, para incrementar algo su flexibilidad, deben compactarse a humedades ligeramente mayores de la óptima, siempre y cuando no se afecte su resistencia al corte. Simultáneamente, son propensos a sufrir asentamientos medios a altos con posterioridad al fin de la construcción. Si a esto se agrega la deformación vertical del subsuelo, necesariamente mayor por debajo del centro de la sección transversal, es obvia la producción de esfuerzos de tensión en el cuerpo de la presa.

Estas características hacen poco atractiva la alternativa consistente en una presa netamente homogénea y constituye un factor a favor de una sección zonificada, con núcleo central o ligeramente inclinado, protegido por capas de filtros relativamente gruesas.

c. Resistencia a la Tubificación

Con unas pocas excepciones, los materiales analizados poseen una resistencia media a alta a la tubificación.

No obstante, la incorporación aleatoria de suelos con IP menor de 7% (SM, ML) en la presa, haría desfavorable el diseño de una sección netamente homogénea; en efecto, una fuga concentrada en el talud aguas abajo produciría daños muy graves.

d. Expansibilidad

Se considera poco probable que los materiales ya analizados (CL-ML, SC y, ocasionalmente, CH) posean propiedades expansivas, aun de baja

magnitud. En efecto, en ningún caso, su índice de plasticidad excedió 20%, adicionalmente, de acuerdo con correlaciones semiempíricas, se estima que los límites de contracción de la gran mayoría de los especímenes exceden 15%. A lo anterior se añade el hecho de que muestras tales como las No. 3 y No. 4 del sondeo No. 6, con fracciones menores del tamiz US No. 200 de 96%, tuvieron un I.P de sólo 15 y 13%. En el peor de los casos, estas propiedades permiten clasificar la actividad de la fracción de arcilla como "media".

e. Permeabilidad

A partir de las propiedades de estos suelos y, particularmente, de la plasticidad del pasa tamiz No. 40, puede estimarse que su permeabilidad vertical en sitio, a pesos unitarios secos no menores del 90% P.M., se situará en el rango de 9×10^{-8} a 8×10^{-7} cm/s; la permeabilidad horizontal podrá ser unas diez veces mayor.

Esta característica, en adición a las mencionadas en los párrafos 1-a, 1-b y 1-c, indica que pueden esperarse presiones de poros relativamente altas durante la construcción, máxime si se tiene en cuenta que se cree conveniente un núcleo ampliado en su base para reducir las pérdidas eventuales por infiltración a través de la morrena subyacente y para eliminar el riesgo de tubificación en el contacto presa-subsuelo.

1.2 MATERIALES PARA FILTRO

La posible ubicación de las fuentes de materiales permeables se muestra en

en plano No. 4.4 y se encuentra ubicada principalmente sobre las márgenes del río Cusiana aguas arriba del sitio de presa de Toquilla y sobre las terrazas de las quebradas El Aliso, Onganoa, La Cebada y Quebrada Honda en la vecindad del sitio Vado Hondo.

De los resultados de las exploraciones y reconocimientos en el terreno y de los ensayos de laboratorio, se puede concluir inicialmente que existen en la zona materiales aceptables con clasificación SW y GW con baja proporción de finos, con gradación compatible con la distribución granulométrica de los suelos del núcleo, alto peso unitario compactados y sanidad en sus partículas. Este tipo de suelos se encuentra en cantidades probablemente suficientes sobre las márgenes del río Cusiana, aunque en las exploraciones efectuadas en su mayoría no se pudo recuperar muestras representativas por la existencia del nivel freático superficial.

Las muestras ensayadas en las zonas de la quebrada La Cebada dieron resultados satisfactorios con clasificación SP y una fracción menor del tamiz No. 200 de 3.7%.

Aunque las demás muestras ensayadas indican materiales no aceptables por su baja calidad para conformar zonas permeables o semipermeables de una presa zonificada, se considera que las cantidades explotables con buenas características son suficientes para los fines del proyecto. En caso de que al concluir los estudios definitivos no se detecten las cantidades necesarias, se deberá pensar en utilizar procesos de lavado por aquellas fuentes con exceso de finos a utilizar materiales triturados para obtener los materiales faltantes.

Por otra parte, es preferible utilizar materiales bien gradados de particu

las redondeadas a fin de evitar obstrucciones con partículas procedentes del núcleo, durante la vida de la obra. Las partículas redondeadas por la configuración geométrica de sus poros son mucho más favorables para el paso rápido del agua. Además, debe tenerse en cuenta en el caso de finos excesivos, que una fracción menor del tamiz No. 200 de más o menos el 10% en peso, reduce la permeabilidad en no menos de 1000% en comparación con el material limpio. Por estas circunstancias, es preferible utilizar los materiales provenientes de los bancos y terrazas del río Cusiana y los demás depósitos aluviales y fluvioglaciares.

1.3 MATERIALES PARA ENROCADO

Para materiales de enrocado se recomiendan las areniscas de la formación Une, localizadas aproximadamente a 3Km aguas abajo del sitio de presa en el punto denominado Alisal. El descapote en ésta área es inferior a 1.0m, teniendo en cuenta que la litología de la roca no genere suelos de gran espesor. Los volúmenes estimados son suficientes para las necesidades de una presa zonificada de la altura considerada.

Para su explotación se requerirá el empleo de voladuras.

En las zonas aledañas a los sitios de presa de El Alisal y Vado Hondo abundan areniscas de buenas características mecánicas con levas intercalaciones de lutitas.

Además la configuración del cañón en El Alisal, para prevenir la fisuración transversal contingente del núcleo, implicará la remoción de roca con calidad baja a media; gran parte de ésta última podrá utilizarse en la conformación de los espaldones de la estructura.

Es de anotar que las fuentes de materiales descritas, en lo que se refiere a núcleo y materiales permeables son comunes para los sitios de presa de Toquilla, El Alisal y Vado Hondo.

2. PROYECTO CHAMEZA

2.1 MATERIALES IMPERMEABLES

a. Generalidades

Se investigaron las áreas denominadas El Tambo, Pablo Barrera y Edilberto Vargas como fuentes de materiales cohesivos. Como puede verse en el histograma del gráfico No. 5 un 53% de los especímenes clasificaban como MH y CH en todos los casos, las humedades naturales eran inferiores a los límites plásticos, lo cual es favorable para su trabajabilidad. No obstante, se deberán efectuar pruebas de compactación de laboratorio, previa determinación de la gravedad específica, con materiales que representen la variabilidad del subsuelo en las zonas de préstamo. (Ver figura 4.12)

b. Resistencia al Agrietamiento y a la Tubificación

Exceptuando los especímenes ML, que representan solamente el 7% de las muestras probadas, todas las muestras procesadas poseen una resistencia media a alata al agrietamiento. Adicionalmente, su resistencia a la tubificación puede clasificarse como alta.

c. Expansibilidad

A fin de eliminar la posibilidad de que algunos materiales posean propiedades expansivas, se recomienda seleccionar los especímenes con IP más altos para someterlos a las pruebas rutinarias.

d. Permeabilidad

Las muestras probadas indican que los materiales son aceptables para constituir el núcleo de una presa zonificada en lo que se refiere a su impermeabilidad. Se estima que el coeficiente de permeabilidad vertical del material compactado en sitio puede fluctuar entre alrededor de 1×10^{-6} y 5×10^{-5} cm/s.

No obstante, las bajas permeabilidades implicarán la generación de presiones de poros altas a medias durante la construcción del núcleo impermeable. Esta incidencia podrá disminuirse reduciendo al máximo el espesor del núcleo, siempre y cuando experimentos posteriores demuestren que su resistencia al corte es suficientemente alta.

2.1.1 Conclusiones

- a. Los informes geológicos indican que en los sitios propuestos para la presa predominan masas de areniscas cuarcíticas. Además, existen áreas adyacentes de donde se pueden explotar materiales de enrocado en cantidad suficiente y de calidad aceptable. Por consiguiente, y toda vez que las configuraciones de los cañones en los sitios parecen adecuados, se considera factible la construcción de una presa de enrocado con núcleo central:
- b. De la zona de El Bejuco se pueden extraer buenos materiales para núcleo y, previo tratamiento por clasificación y lavado, para capas filtrantes. Así mismo, en las demás áreas de préstamo investigadas abundan suelos aceptables para la construcción de un

núcleo impermeable.

- c. La cimentación de la presa y el empotramiento del núcleo en roca relativamente impermeable requerirá la remoción de los depósitos fluviales existentes en el fondo del cañón. Para fines de presupuesto, se recomienda una excavación de 8 a 10m de profundidad. El fondo de la excavación se cubrirá con una capa de hormigón pobre para proveer una plataforma de trabajo que facilite la realización de las inyecciones de impermeabilización necesarias (cortina y manto).

Los materiales arcillosos de la zona de El Bejuco son adecuados como suelos para conformación del núcleo impermeable. Sus características son las siguientes :

- a. Trabajabilidad

Los materiales SC y GC, aptos para la conformación del núcleo impermeable, poseían humedades naturales cercanas por lo alto o ligeramente menores del LP. Esto se considera favorable ya que dicho contenido no excederá en mucho la humedad óptima. No obstante, será necesario realizar pruebas de compactación con materiales que reflejen combinaciones desfavorables, medias y favorables de LL, IP y relación de pulverización.

Por otra parte, se tratarán de delimitar las áreas donde predominen materiales SM, SM-SC, GM y GW-GC a fin de aprovecharlas para la extracción de agregados y de suelos permeables. Efectivamente, el procesamiento es más expedito si la fracción arcillosa es nula o baja.

b. Resistencia al Agrietamiento

Buena parte de los especímenes impermeables probados clasificaban como SC y GC, con un D_{50} mayor de 0.15mm. Por consiguiente, su resistencia intrínseca al agrietamiento es media. Adicionalmente, la posibilidad de fisuramientos se reduce notablemente si la compactación es adecuada.

Con miras a verificar su aceptabilidad posterior como materiales de núcleo, se cree recomendable seleccionar muestras con IP medios o bajos para realizar las pruebas siguientes :

- (1) Gravedad específica
- (2) Análisis hidrométricos .

Por otra parte, los materiales ML y algunos SM son susceptibles a sufrir agrietamientos debido a su escasa flexibilidad.

c. Resistencia a la Tubificación

Las muestras impermeables procesadas (SC y GC en un 27%) poseen, en su mayoría, un IP entre 7 y 12%, lo cual implica una resistencia media a la tubificación.

No obstante, se encontraron algunos materiales (SM-SC y GM-GC), con IP menor de 7%, cuya resistencia a la tubificación es baja. Este hecho, en adición al mencionado en el párrafo anterior, hace poco atractiva la alternativa de una presa netamente homogénea.

d. Expansibilidad

Los especímenes cohesivos carecen aparentemente de características expansivas. No obstante, se recomienda seleccionar muestras y practicarles los ensayos correspondientes para confirmar la ausencia de propiedades expansivas.

e. Permeabilidad

Con base en los índices de plasticidad de la fracción menor del tamiz No. 40 de los suelos SC y GC y en el probable rango de relaciones de vacíos del material compactado, se estimó que el coeficiente de permeabilidad vertical puede variar entre 1×10^{-7} y 1×10^{-4} cm/s.

Esta característica permite aseverar que existen suelos en la zona de préstamo que son aptos para la conformación del núcleo de una presa zonificada. Por otra parte, de cumplirse las predicciones semiempíricas, las presiones de poros originadas durante la construcción no serán excesivas.

2.2 MATERIALES PARA FILTROS

El área de El Bejuco se investigó como una eventual fuente de materiales granulares para filtros y hormigón y para conformar la zona permeable de la presa. No obstante, tal como se indica en el histograma del Gráfico No. ninguna de las muestras clasificó como GW o SW y, en cambio, el 60% de los especímenes procesados correspondían a las clasificaciones SM y ML. Las fracciones menores del tamiz US 200 de las arenas y gravas limosas y arcí-

llosas (SM, SC, GM y GC) estaban comprendidas entre 9 y 49%, lo cual indica que deberán procesarse para su aprovechamiento como agregados y materiales de filtro, y que podrán seleccionarse en su estado natural para su ubicación adecuada en una presa zonificada. Adicionalmente, los materiales SC y GC se consideran de buena calidad para la construcción de un núcleo impermeable.

2.3 MATERIALES PARA ENROCADO

Las areniscas cuarzosas de grano fino que constituyen la formación Las Juntas y sobre la cual quedarían ubicadas las principales obras del proyecto, presa y túnel de desviación, nos proporcionará materiales para enrocado, por una parte, procedentes de las excavaciones y por otra, de zonas de préstamo ubicadas a lado y lado de la presa aguas abajo, principalmente de la toma Volador. Se estima que de éstas fuentes se obtienen el volumen necesario de enrocado.

3. PROYECTO BOCAS DEL SALINERO

3.1 MATERIALES IMPERMEABLES

Se exploraron las zonas de las margen derecha del río Cusiana, encontrándose se material adecuado para conformación del núcleo impermeable aguas abajo de la quebrada La Tigra. Estos materiales tienen LL entre 32 y 41% e IP entre 8 y 16%. Clasificación U.S.C.S en general CL. (Ver figura 4.14)

Las principales características son las siguientes :

a. Trabajabilidad

Es probable que el contenido óptimo de humedad con la energía de compactación del Proctor modificado sea ligeramente superior a las humedades naturales, las cuáles son del orden del 23%, ya que la humedad óptima corresponde aproximadamente al 70 u 80% del LP. Esto incidirá en generación durante la construcción, de presiones de poros relativamente altas y disminuirá de tendencia al agrietamiento.

b. Tendencia al Agrietamiento

Ya que estos materiales poseen, con humedades más bajas que la óptima vulnerabilidad alta a media al agrietamiento, es necesario compactarlos con humedades superiores a la óptima, siempre y cuando no se afecte su resistencia al corte. Las humedades naturales encontradas son favorables en este aspecto.

c. Resistencia a la Tubificación

Los suelos de este tipo CL, ML, SC, tienen una resistencia media a

alta a la tubificación, de acuerdo a los valores del LP entre 8 y 19%, pero el número de muestras ensayadas es muy poco para obtener una conclusión clara al respecto.

d. Expansibilidad

No es probable, de acuerdo a los resultados de las muestras ensayadas que los suelos tengan propiedades expansivas. En otra etapa de los estudios es necesario hacer comprobaciones al respecto.

e. Permeabilidad

Se estima que al 90% del PM y a partir de las propiedades de plasticidad, el rango de la permeabilidad vertical estaría entre 9×10^{-8} a 8×10^{-7} cm/s, indicándonos que pueden presentarse altas presiones de poros durante la construcción.

3.2 MATERIALES PARA FILTROS

Los suelos granulares aptos para construcción de zonas de transición se encuentran en los cauces de las quebradas, secas en verano, llamados regionalmente " callejones " y en las colinas denominadas farallones.

Ya que el muestreo que se hizo no es representativo para poder determinar las características de los materiales, parece que estos tienen exceso de finos. (para No. 200 10% en promedio), lo que requeriría procesos de lavado, pero en esta etapa no se puede afirmar que esto sea necesario.

3.3 MATERIALES PARA ENROCADO

Las areniscas que conforman la formación Une localizadas a ambos márgenes

del río y en especial la zona derecha en el sitio de presa proporcionará los materiales para enrocado.

La formación comprende, en parte, areniscas cuarzosas, macizas de grano fino a medio en volúmenes aparentemente suficientes para las necesidades requeridas.

4. PROYECTO GUSPAQUIRA

La presa de derivación así como las demás estructuras requiere un relativo bajo volúmen de materiales de construcción.

Estos se pueden obtener de los depósitos aluviales en el área, así como el procesamiento de las areniscas excavadas durante la construcción del túnel, materiales que proveerán las cantidades y calidades indispensables para las obras del proyecto.

5. PROYECTO RANCHERIA

Las areniscas procedentes de la formación Las Juntas, las cuales se presenta en estratos masivos duros y cuarzosos, así como los depósitos aluviales del área, previa trituración, son materiales adecuados para la construcción de la presa y como agregados para concreto.

Las areniscas serán el producto de la excavación del túnel.

6. PROYECTO CANDELAS

Las areniscas cuarzosas de grano fino que constituyen la formación Las Juntas y por la cual se excavarán parte de los túneles, suministrarán con un proceso adecuado, los materiales necesarios para la construcción de las presas de derivación y darán agregados de concreto de buena calidad por los revestimientos de túneles, canales y demás obras.

Adicionalmente, los materiales aluviales que se encuentran en los alrededores

res de Corinto podrán ser explotados para completar, si fuese indispensable los volúmenes requeridos.

7. PROYECTO SABANALARGA

Los materiales para construcción se podrán obtener de los horizontes de areniscas cuarzosas que se encuentran durante la excavación de los túneles. Los materiales granulares finos y para agregados de concreto, se podrán explotar dentro de los bancos en las márgenes del río Charte. Se estima que su cantidad y calidad son adecuados para las necesidades del proyecto. Las investigaciones posteriores evaluarán más exáctamente sus propiedades.

8. CIMENTACIONES

Se hacen algunos comentarios sobre los resultados de las investigaciones preliminares que se efectuaron relativos a las condiciones del subsuelo en los posibles sitios de las casas de máquinas.

8.1 GUSPAQUIRA Y RANCHERIA

Se efectuaron 6 apiques hasta una profundidad de 2.60m. Los suelos pertenecen a los grupos SM y GP ó GM con buenas características en cuanto a plasticidad (IP entre 5 y 15%) y humedad natural (entre 14 y 38%) para efectos de cimentación de las estructuras. No se preveen problemas especiales.

8.2 CANDELAS

Se hicieron 3 apiques, hasta la profundidad de 2.00 que permitió la posición del nivel freático y el tamaño de los cantos rodados.

El subsuelo está constituido por cantos rodados en matriz areno-arcillosa (SM) con humedad natural y plasticidad bajas.

Aunque no se preveen condiciones especiales de cimentación, se deberá hacer en la etapa de factibilidad muestreos cuidadosos, detectar los mantos de lutitas que puedan aparecer y fijar las condiciones y cotas de cimentación.

8.3 SABANALARGA

Se ejecutaron 3 exploraciones manuales hasta la profundidad de 2.00m.

El subsuelo lo componen cantos rodados de gran tamaño en matriz de arena ar

cillosa (SC), con alta resistencia cuando seca y muy densa en el sitio. La cimentación de la casa de máquinas puede ser del tipo superficial si el subsuelo es el mismo a mayores profundidades.

8.4 CHAMEZA

En el posible sitio de ubicación de la casa de máquinas se hicieron tres apiques cuya profundidad fué de 2.50m.

El suelo lo constituyen, hasta esa profundidad, gravas con tamaños máximos de 3" en matriz de arena arcillosa. La densidad del manto es media y con humedad natural por encima del límite plástico. Es necesario esperar los resultados de las perforaciones profundas para tener un mejor concepto sobre condiciones y cotas de cimentación.

8.5 BOCAS DEL SALINERO

Las exploraciones preliminares se redujeron a la ejecución de tres apiques con una profundidad máxima de 2.50m. Hasta esta cota el suelo está constituido por gravas en matriz de arena arcillosa (SC) con IP entre 3 y 8% y humedad natural entre 7 y 16%. No se preveen problemas especiales relativos a las condiciones de cimentación. Los resultados de las perforaciones profundas nos determinarán estas y las cotas de cimentación de las diferentes estructuras.

Obra PRESA TOQUILLA - ZONA PRESFANIC

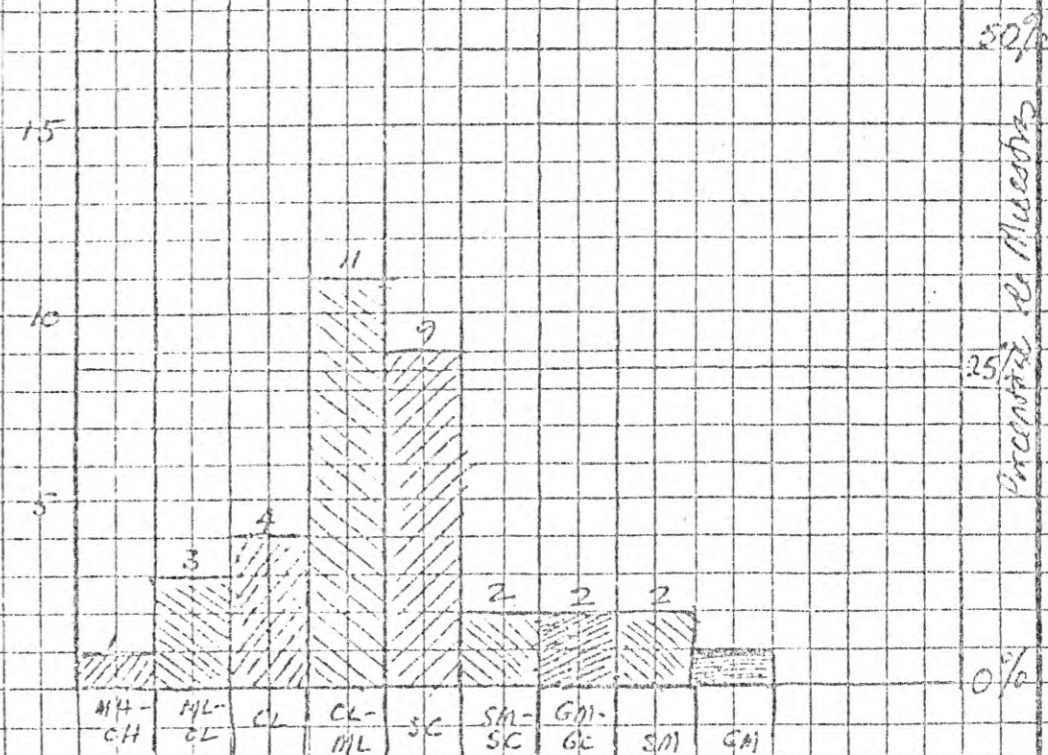
Fecha Julio 82

Informe N° Cliente

Notes y Referencias

Calculo D.M.G. Revisó

Número de Muestras



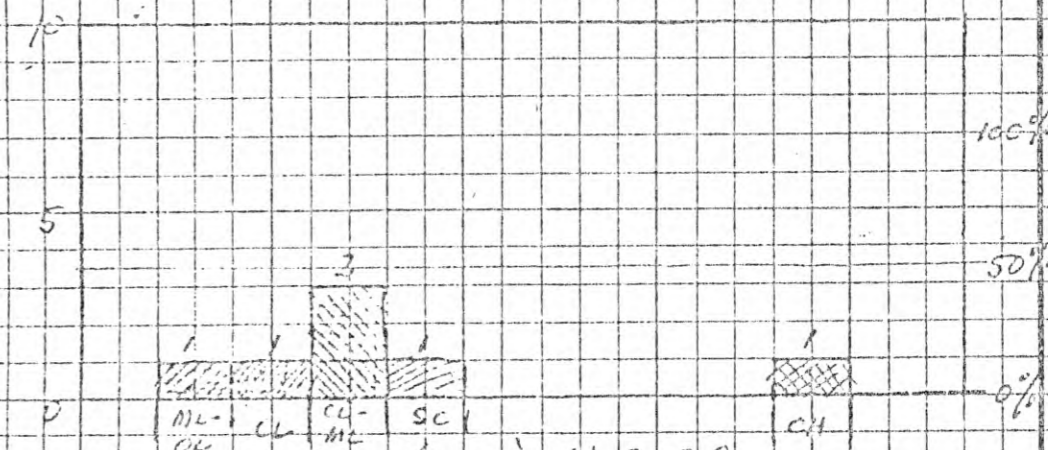
Clasificación U.S.C.S.
Zona de Proyecta N°1

(Total Muestras : 34)

50%
25%
0%

CL,
CL-ML
SC
representa
70.6%
del total

Número de Muestras



Clasificación U.S.C.S.
Zona de Proyecta N°2

(Total Muestras : 7)

100%
50%
0%

CL,
CL-ML
SC
representa
71.4%
del total

Obra TORRELLA FILTROS PARA PRESAS
Informe N° Cliente
Calculó O.M.E. Revisó

Fecha

Notas y Referencias.

PROGRAMA PARA FILTROS

15

10

5

15

10

5

0

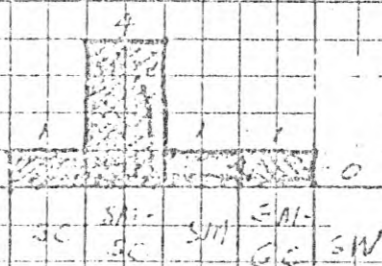
Nivel de Alcantara

Nivel de Piedra

Total
Nivel
(E)

25 - 100

50 - 100



Clasificación U.S.C.S.
(Grupos de la Cebada)

Total
Nivel
(E)

100

50



OTRA FUENTE (PLAYA)

SW y
EU
= 0%
del total

SW y
EU
representa
25% del
total

Nivel de Alcantara

Obra CUSIANA. Presa Toquilla

Fecha Setiembre

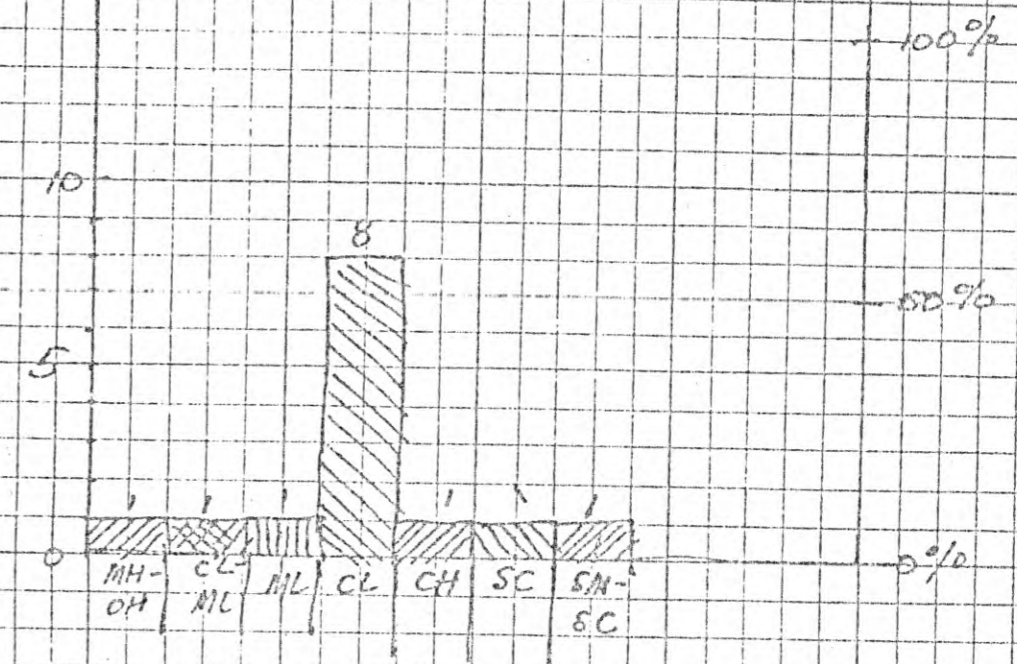
Informe N° _____ Cliente _____

Notas y Referencias.

Calculó O. Mejías Revisó _____

Materiales de Fundación y Estribos

(Pozo Olap
& Trincheras)
Sódic
TR-1 & TR-2



Total
14

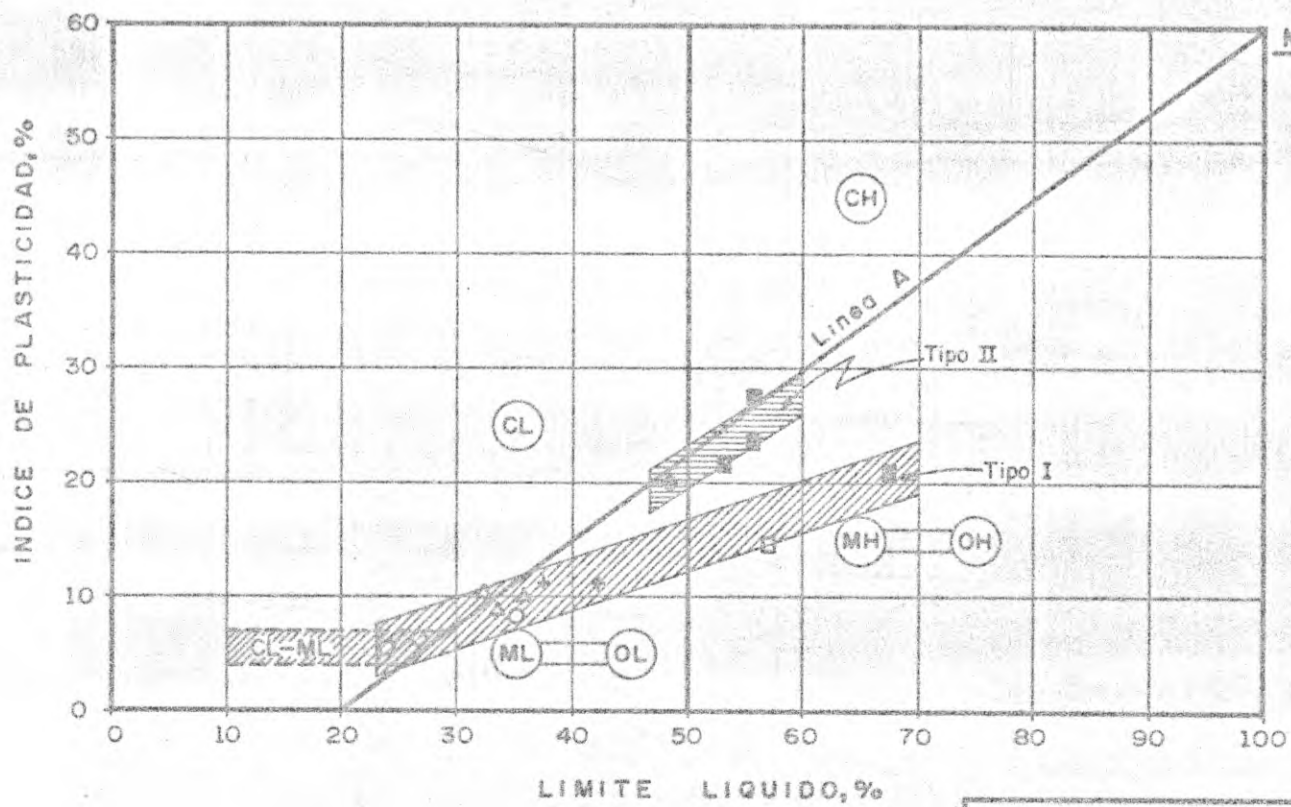
% de
CL-ML

ML

y CL

= 71%

Nota : Se cree que en algunas clasificaciones no se tuvieron en cuenta las fracciones gruesas.



NOTAS:

1- Clasificación USCS. de muestras predominantemente cohesivas.

SITIO		ZONA DE PRESTAMO	TIPO DE MATERIAL	EXPLORACIONES N°	SIMBOLO
Número	Nombre				
	Chámeza	El Bejuco	Núcleo	1 A	○
		El Bejuco	Núcleo	1 B	+
		El Bejuco	Núcleo	1 E	△
		Sunce - Salinero	Núcleo	2 C	□
		Sunce - Salinero	Núcleo	2 A-2 D	■
		Tonca - Salinero	Núcleo	2 E	◆

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA

ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.

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

TITULO: CARACTERISTICAS DE PLASTICIDAD MATERIALES PARA PRESA CHAMEZA

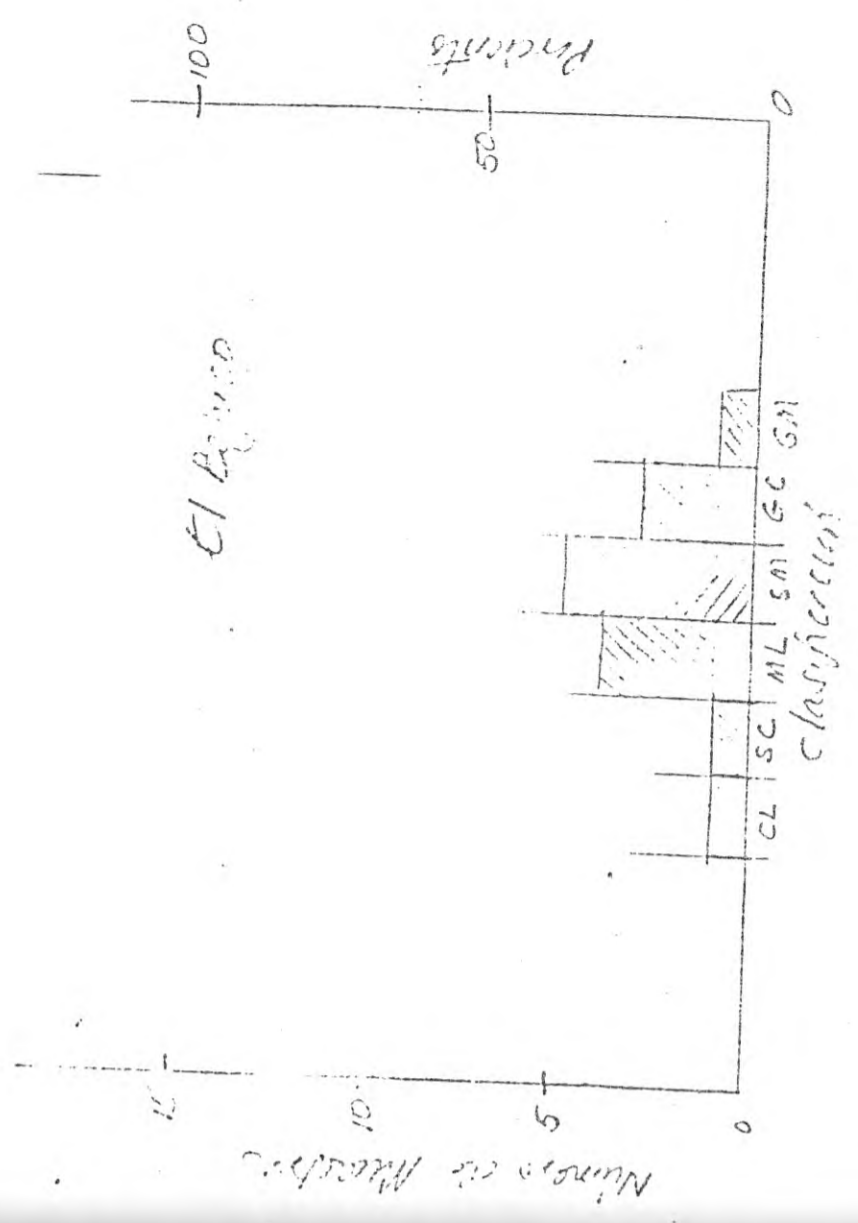
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES

FECHA: _____ ARCHIVO: _____

GRAFICO N° 4

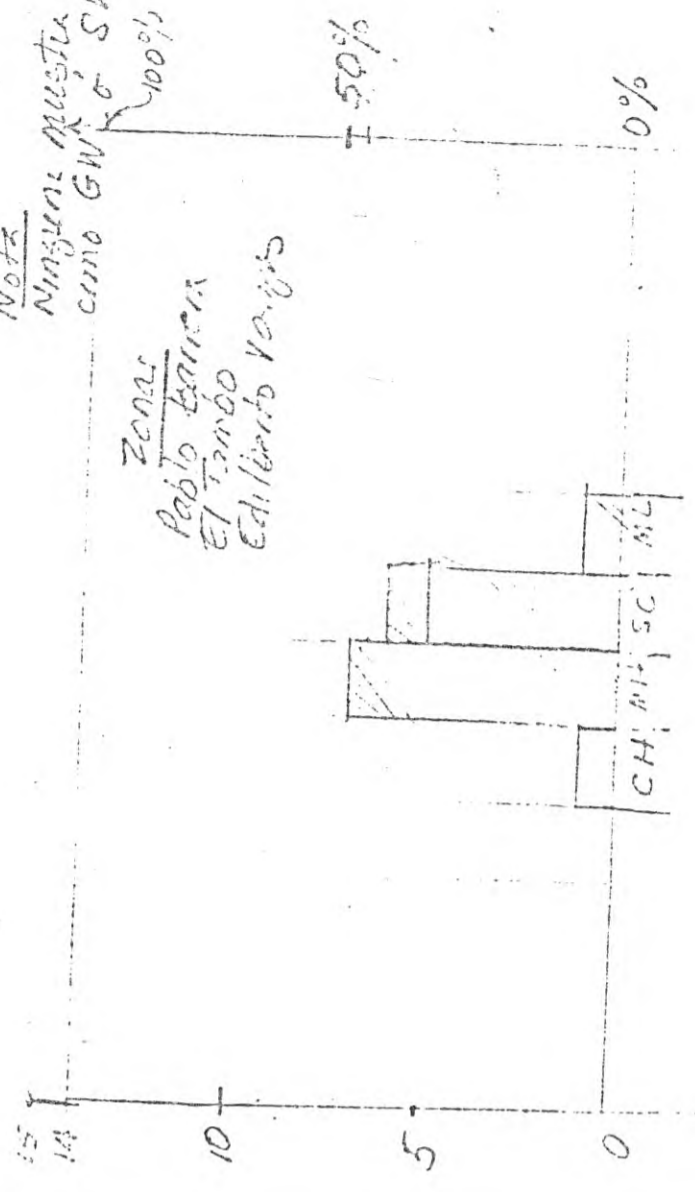
CANTIDAD DE MATERIAL

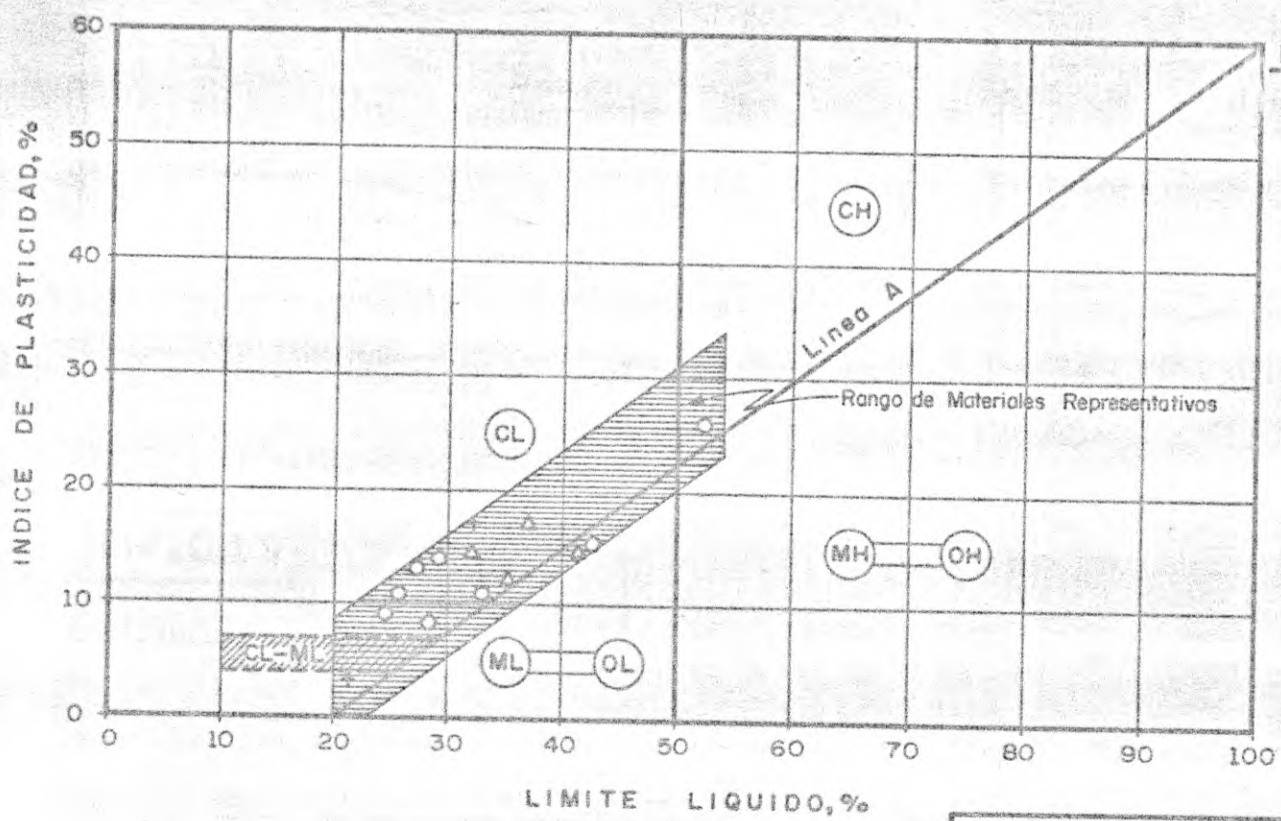
El Bajío



Nota
Ninguna muestra clasificada como GW o SW
100%

Zona
Pueblo Encarnación
El Tambo
Edificios Varjos



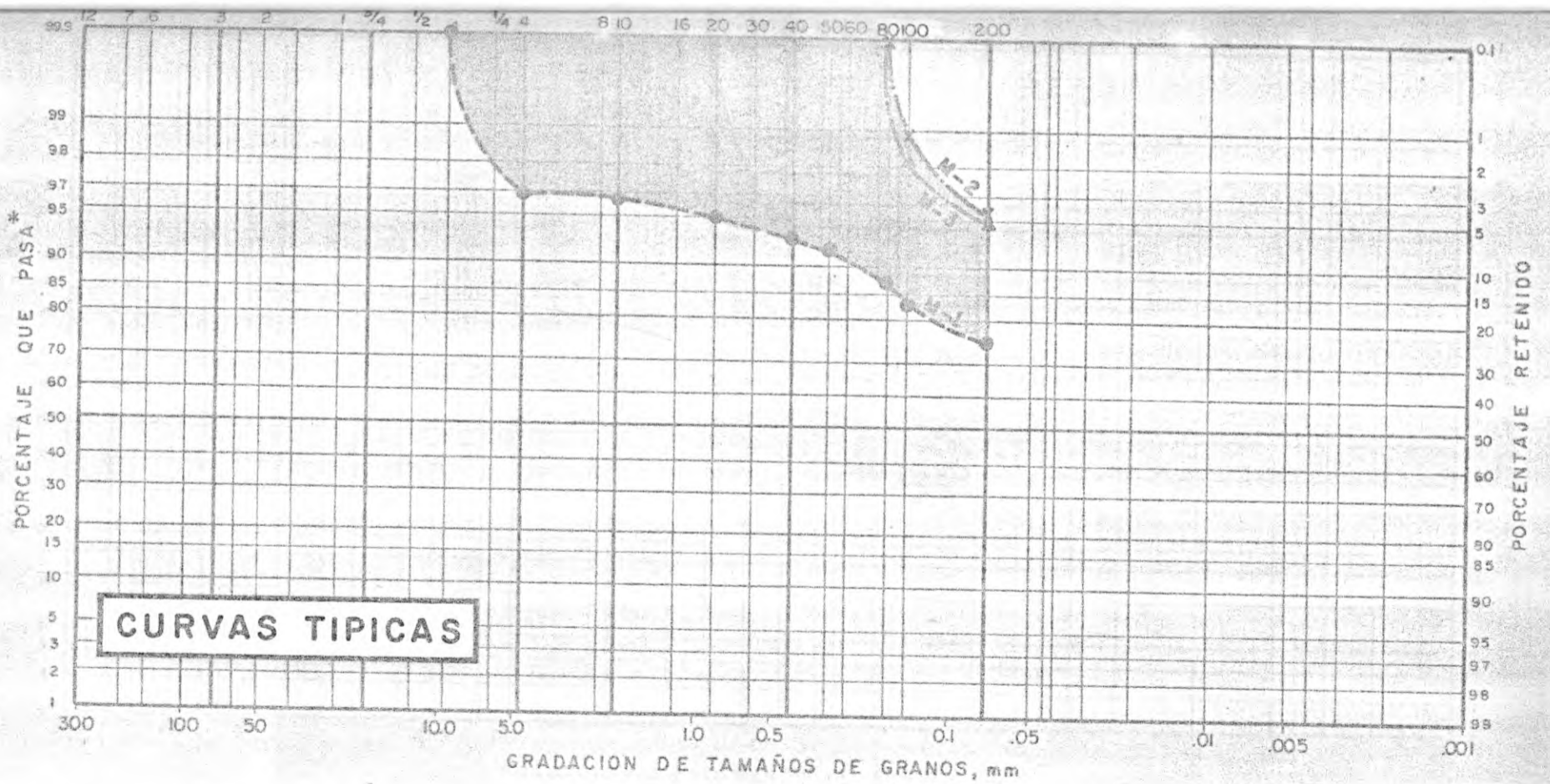


NOTAS:

1- Clasificación USCS de muestras predominantemente cohesivos.

SITIO		ZONA DE PRESTAMO	TIPO DE MATERIAL	EXPLORACIONES N°	SIMBOLO
Número	Nombre				
1			Cimentación	TR - 1 Y TR - 2	○
1			Núcleo	AP - 1	+
1			Núcleo	AP - 4 Y AP - 5	△

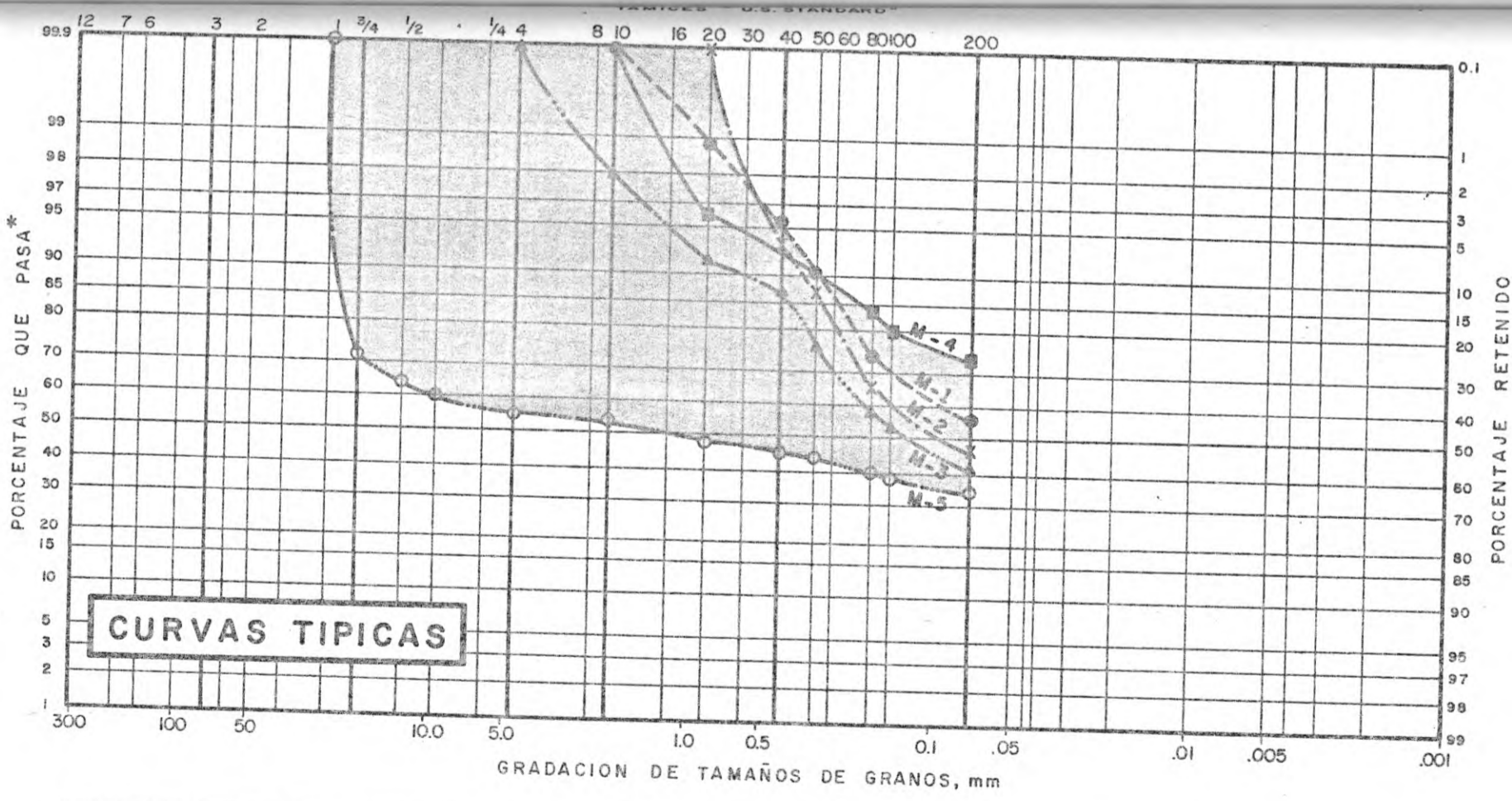
ICEL		INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.			
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA ETAPA A - FASE 1			
TITULO: PRESA TOQUILLA MATERIALES DE FUNDACION Y PARA PRESTAMO (NUCLEO)			
SOBEIC LTDA		FECHA:	GRAFICO N°
INGENIEROS CONSULTORES		ARCHIVO:	6



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO Y ARCILLA			
	Grueso	Fino	Grueso	Medio	Fino				
Sondeo	Muestra	Prof.m	DESCRIPCION	US.CE	LL	LP	IP	Observaciones	SODEIC LTDA. ANALISIS GRANULOMETRICO** ICEL SERVICIO: ESTUDIO DE SUELOS OBRA: PROYECTO DEL CUSIANA CHAMEZA FECHA: SEPT. 81
A-4	1	0.2	Limo arcilloso café oscuro	MH	54	34	20	Hato Nuevo	
A-4	2	1.0	Arcilla limosa gris	CH	54	27	27	Hato Nuevo	
A-4	3	1.5	Limo arcilloso amarillo	MH	71	36	35	Hato Nuevo	
								E.L.: 90 %	GRAFICO Nº 7

* Escala de probabilidad. ASCE SM Journal Julio 1970

** ASTM-D-422-63 Y D-1140-54



CURVAS TIPICAS

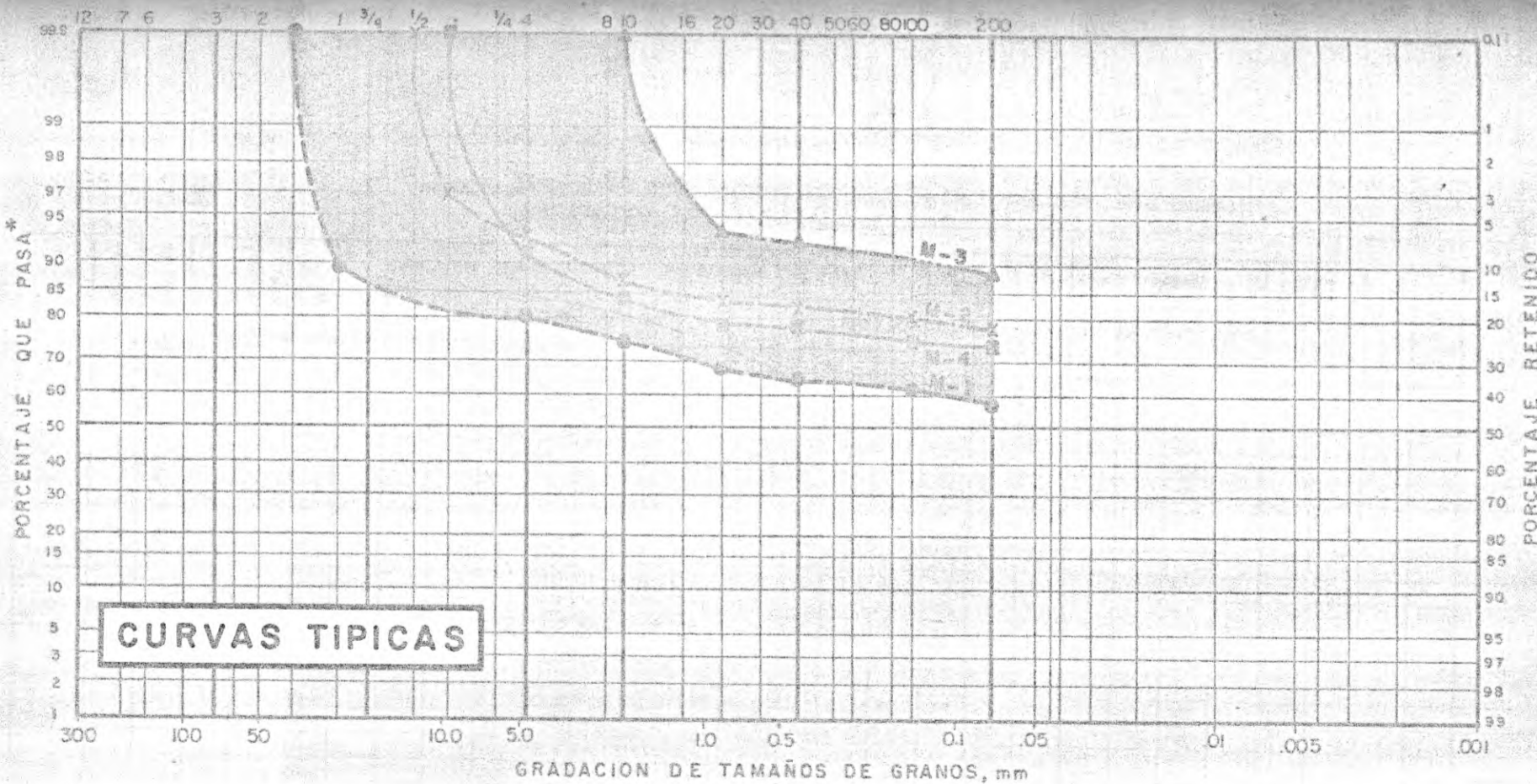
CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO Y ARCILLA		
	Gruesa	Fino	Gruesa	Medio	Fino			
Sondeo	Muestra	Prof. m	DESCRIPCION	U.S.C.E	LL	LP	IP	Observaciones
A - 1A	1	0.5	Limo areno-arcilloso café oscuro	ML	35	26	9	El Bejuco
A - 1A	2	1.0	Arena (m-f) limo-arcillosa café oscura	SM-SC	27	21	6	El Bejuco
A - 1A	3	2.2	Arena (g-m-f) limo-arcillosa café.	SM-SC	24	18	6	El Bejuco
A - 1B	4	0.5	Limo areno-arcilloso gris oscuro	ML	41	30	11	El Bejuco
A - 1B	5	2.5	Grava (g-m-f) limo-arcillosa café	GC	37	25	12	El Bejuco

SODEIC LTDA.
ANALISIS GRANULOMETRICO**
ICEL
 OBRA: ESTUDIO DE SUELOS
 SERVICIO: PROYECTO DEL CUSIANA CHAMEZA
 FECHA: SEPT. 81 **GRAFICO Nº 8**

* Escala de probabilidad. ASCE SM Journal Julio 1970

** ASTM-D-422-63YD-1140-54

TAMICES "U.S. STANDARD"



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO Y ARCILLA			
	Grueso	Fino	Grueso	Medio	Fino				
Sondeo	Muestra	Prof.m	DESCRIPCION	US.CE	LL	LP	IP	Observaciones	SODEIC LTDA. ANALISIS GRANULOMETRICO** ICEL SERVICIO: ESTUDIO DE SUELOS OBRA: PROYECTO DEL CUSIANA R. Sunce - Salinero FECHA: SEPT. 81
2 - C	1	0.5	Limo areno-arcilloso café	MH	58	43	15	Núcleo	
2 - A	2	0.7	Limo arcilloso café rojizo	MH	55	30	25	Núcleo	
2 - D	3	0.2	Limo arcilloso café	MH	67	46	21	Núcleo	
2 - B	4	1.0	Limo arcilloso café	MH	52	29	23	Núcleo	

* Escala de probabilidad. ASCE SM Journal Julio 1970

** ASTM - D-422-63 Y D-1140-54

GRAFICO N° 9

A N E X O - C -

- GEOLOGIA
- SUELOS Y MATERIALES
- SISMOLOGIA

P A R T E - C -

- SISMOLOGIA

A N E X O - C -

PARTE -C- SISMOLOGIA

<u>CAPITULO</u>		<u>PAGINA</u>
1	PREAMBULO	1
2	DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE VARIABLES ALEATORIAS	2
3	PERIODOS DE RETORNO	5
4	CALCULOS DE ACELERACIONES MAXIMAS DEL TERRENO	6
5	PROBABILIDAD DE ENCUENTRO Y RIESGO SISMICO	8
6	CONCLUSIONES DEL ANALISIS DE LA INFORMACION	
	DISPONIBLE	10
7	TEMBLOR DE DISEÑO	11
8	ADVERTENCIAS	13
9	CONCLUSIONES ADICIONALES	13

APENDICE

INFORMACION SISMOLOGICA 1979 - 1981

N.G.S.D.C. BOULDER COLORADO

CUADROS

NUMEROS

- | | |
|--------|--|
| 1 y 1A | TEMBLORES MAXIMOS ANUALES |
| 2 | FRECUENCIA DE MAYOR SISMOS (PERIODO 1911 - 1979) |
| 3 | FRECUENCIA DE MENORES DISTANCIAS HIPOCENTRICAS (PERIODO 1911-1979) |
| 4 | COMPARACION DE VARIABLES SISMICAS CON DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO |
| 5 | PROBABILIDAD DE ENCUENTRO |
| 6 | COMPARACION DE MOVIMIENTOS SISMICOS HIPOTETICOS |
| 7 | RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS PARA EVALUAR SISMICIDAD DEL AREA |

GRAFICOS

NUMEROS

- | | |
|---|---|
| 1 | DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE MAGNITUD RICHTER Y DISTRIBUCION HIPOCENTRICA . |
| 2 | PERIODOS DE RETORNO MAGNITUDES RICHTER Y DISTANCIAS HIPOCENTRICAS. |
| 3 | HISTOGRAMAS DE ACELERACION DE SISMOS REALES E HIPOTETICOS |
| 4 | ESPECTRO DE REPLICA. SISMO HIPOTETICO 80 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO. |

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA

SELECCION PRELIMINAR DE PARAMETROS SISMICOS

P A R A

EL DISEÑO DE OBRAS CIVILES

1. PREAMBULO

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.

Toda vez que en la práctica no puede eliminarse completamente el riesgo de daños ocasionados por movimientos telúricos, uno de los requisitos previos al diseño es la determinación del grado de riesgo al cual podrán someterse las obras civiles. Los estimativos que se explican a continuación se basan en la información histórica pertinente a temblores que figura en la Referencia No.1. Los datos simplificados se presentan, en forma tabulada, en los Cuadros No.1 y No.1-A. Los epicentros, con referencia a la situación geográfica de la zona del proyecto, se ilustran en el Dibujo No.1. 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 sesenta y ocho (68) años y comprenden el período 1911 a 1979. Infortunadamente, no fué posible obtener información alguna sobre la duración de los sismos.

2. DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE VARIABLES ALEATORIAS.

La potencia destructiva de un temblor en una región relativamente plana es función de la duración y frecuencia del movimiento y de la velocidad producida en el terreno. De acuerdo con las correlaciones más corrientes (Blume, Mc Guire y otros), la aceleración de la superficie del suelo depende tanto de la magnitud Richter como de la distancia hipocéntrica. La última variable involucra la atenuación. Aun cuando este estudio se refiere a regiones planas, debe aclararse que la conformación topográfica de un sitio determinado dentro de la zona del proyecto puede tender a amplificar o atenuar la aceleración.

Para fines únicamente comparativos, se partió de la siguiente correlación (Referencia No.2), aplicable a movimientos cuyo período de aceleración es del orden de 1 Hz :

$$\ln a_g = 0.89 M - 1.17 \ln R - 0.20 Y_s + 3.40 \quad (1)$$

El significado de los símbolos es el siguiente:

a_g : Aceleración máxima del terreno, Gal.

M : Magnitud Richter.

R : Distancia hipocéntrica, km.

Y_s : Constante geológica del sitio ($Y_s = 1.0$ para suelos; $Y_s = 0$ para formación rocosa).

Con base en la expresión (1) de Mc Guire, obtenida por correlación de un buen número de movimientos registrados en regiones planas y regularmente quebradas de los Estados Unidos, se puede esperar que la aceleración sísmica en un sitio determinado dependa de un exponencial relacionado con la magnitud Richter y de la distancia hipocéntrica elevada a una determinada potencia. Por consiguiente, para nuestros propósitos, es preciso conocer las distribuciones probabilísticas de las magnitudes Richter y de las distancias hipocéntricas, consideradas como variables independientes, aun cuando se reconoce que físicamente no pueden serlo.

Inicialmente, se pensó realizar el análisis estadístico de la información disponible utilizando dos diferentes criterios. Para el primero, se debían incluir datos de los temblores ocurridos a partir de 1911 en la región central del país con magnitudes Richter mayores de 4.5 y distancias epicéntricas menores de 350 km; el número de sismos llegaba a 260. En la aplicación del segundo criterio, que podría calificarse como de "extremos", se utilizaron los sismos de magnitud igual o superior a 4.5, dentro de 400 km de distancia epicéntrica, que debieron ocasionar, con base en las correlaciones, las máximas aceleraciones en períodos

anuales comprendidos entre 1911 y 1979; el total de datos ascendió a 39 (véase el Cuadro No.1). El último criterio proviene de estudios estadísticos realizados por E.J.Gumbel, tal como se menciona en las Referencias No.3 y No.4. Para este estudio preliminar y en vista de que la diferencia en resultados no es normalmente significativa, como lo comprueban otros estudios similares (Referencia No.7), se decidió adoptar el criterio de "valores extremos".

En el Cuadro No.2 se presentan las agrupaciones de magnitudes Richter empleadas en la preparación de la Figura No.1 del Gráfico No.1; puede observarse que la distribución gráfica logarítmica-normal de magnitudes es adecuada por corresponder casi a una línea recta. La magnitud Richter media, estimada teóricamente, fué de 6.31.

La distribución probabilística de grupos de distancias hipocéntricas, ilustrada en la Figura No.2 del Gráfico No.1 en escala aritmética-normal, se aproxima a una línea recta, lo cual señala la corrección de la suposición previa de normalidad. Los datos analizados teóricamente se listan en el Cuadro No.3; la media de las distancias hipocéntricas ascendió a 225 km. Por otra parte, mediante la expresión (1) se estimó que un sismo cuya distancia epicéntrica excediera los 400 km, no importa la profundidad del foco, ocasionaría aceleraciones insignificantes en la zona del proyecto aun si su magnitud fuera mayor de 7.5.

En el Gráfico No.1 se incluyen otros valores estadísticos necesarios para aplicar el criterio de los "valores extremos" en la predicción de períodos de retorno.

3. PERIODOS DE RETORNO.

El método más sencillo para estimar períodos de retorno de acontecimientos naturales de carácter repetitivo (riadas, huracanes, sismos etc) es el denominado de "California". Su aplicación está limitada, empero, a períodos de retorno menores, o, a lo sumo, iguales a los lapsos durante los cuales se han obtenido registros continuos de las características de los eventos. Se tuvieron en cuenta 260 sismos en el desarrollo de este procedimiento (véanse las Figuras No.1 y 2 del Gráfico No.2).

Entre los pocos métodos que permiten cierto grado de extrapolación, el de Gumbel se considera el más correcto bajo el punto de vista teórico. Sin embargo, no es aconsejable efectuar extrapolaciones que superen considerablemente el período para el cual existen registros históricos.

Aun cuando la documentación existente sobre magnitudes de sismos abarca la época 1911-1979 en su totalidad, ha sido imposible verificar si en el transcurso de algunos años calendarios omitidos en los listados de la Referencia No.1 no ocurrieron movimientos de importancia o, simplemente, se dejó de registrar la información pertinente.

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. En el Gráfico No.2 se ilustran las divergencias entre los dos procedimientos en lo que corresponde tanto al logaritmo natural de la magnitud Richter (Figura No.1) como a la distancia hipocéntrica (Figura No.2). Se decidió adoptar las rectas correspondientes a los valores individuales por producir no sólo menores dispersiones relativas sino también combinaciones más favorables de variables, es decir, aceleraciones más bajas. No se creyó prudente extrapolar las curvas más allá de la centuria.

Los resultados obtenidos se listan en el Cuadro No.4 y se ilustran en el Gráfico No.2. Como puede observarse, los períodos de recurrencia de las variables, estimados por el método de "California", presentan un buen grado de dispersión.

4. CALCULOS DE ACELERACIONES MAXIMAS DEL TERRENO.

Apareando magnitudes y distancias hipocéntricas con idénticos períodos teóricos de retorno por medio de la expresión (1), ya mencionada, y de las correlaciones de Wiggins (Referencia No.5) y de Esteva & Villaverde (Referencia No.8), se estimaron 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. Las correlaciones de Blu-

me y Faccioli (Referencia No.8) no se tuvieron en cuenta en vista de que produjeron valores de aceleraciones situados por fuera del rango comprendido entre las estimadas mediante las otras tres expresiones antedichas.

En todos los casos, se supusieron suelos "firmes" en lugar de formación rocosa. Pese a que todas las correlaciones se basan en la magnitud y en la distancia hipocéntrica como únicos parámetros, las correlaciones de Mc Guire y Esteva & Villaverde evalúan aceleraciones en la superficie del terreno de regiones planas o medianamente quebradas, mientras que la de Wiggins estima las aceleraciones en el plano de contacto entre sobrecapa y roca subyacente. Por consiguiente, éstas últimas deben corregirse para evaluar las aceleraciones en la superficie del terreno mediante un factor de amplificación cuya magnitud depende del espesor del suelo. En el presente caso, sin embargo, no se tuvo en cuenta un factor de amplificación.

En el Gráfico No.3 se presenta un histograma de aceleraciones máximas anuales, obtenidas de promediar los valores estimados por los tres procedimientos ya mencionados, para los temblores ocurridos entre 1911 y 1979. Se asignó arbitrariamente un valor básico de 100% a la segunda aceleración máxima anual calculada para el período de registros; dicha aceleración corresponde al sismo del 31 de agosto de 1917.

Es interesante anotar que, de acuerdo con las correlaciones, han ocurrido a partir de 1911 sólo dos movimientos que superaron en

aceleración al acaecido el 10 de abril de 1911 (temblores de 1917 y 1963). El temblor del 3 de junio de 1963, con epicentro en Chámeza, tuvo una aceleración equivalente al 176% de la correspondiente al movimiento de 1917; es curioso, empero, que en la Referencia No.1 no se haga mención especial de este sismo pero que se describan los daños ocasionados por los movimientos de 1917 (Ubaque, Soacha y Cáqueza) y 1923 (Gachetá, Gachalá y Medina) cuyas aceleraciones debieron ser mucho menores. Es probable que ésto se deba a bajo poder destructivo atribuible a corta duración.

Se evaluaron, además, las aceleraciones máximas probables del terreno para sismos hipotéticos con diversos períodos de retorno. Los cálculos se elaboraron tomando el promedio de las aceleraciones obtenidas por los tres procedimientos ya mencionados. Los resultados se ilustran en el Gráfico No.3. Cabe destacar, a manera de referencia, que el período teórico de retorno del sismo de 1963 se estima en alrededor de 20 años y que la recurrencia del movimiento acaecido en 1917 es del orden de una vez en once años.

5. PROBABILIDAD DE ENCUENTRO Y RIESGO SISMICO.

Si una obra está expuesta a acontecimientos de carácter aleatorio durante L unidades de tiempo, en donde L denota su vida útil, la "probabilidad de encuentro" (E_1) significa la probabilidad de que un evento con intensidad igual o mayor de X ocurra durante la vida de la obra (Referencia No.6).

Lo anterior se expresa, de acuerdo con la teoría de la probabilidad, de la manera siguiente:

$$E_1 = 1 - (1 - 1/T)^L, \tag{2}$$

en donde T representa el período de retorno del evento de intensidad igual o mayor de X.

La "probabilidad de encuentro" de un sismo de magnitud 7.58, cuyo período de retorno es 50 años (Cuadro No.4), ascendería a 0.636 durante la vida probable de una edificación en la zona, estimada en 50 años. Obviamente, toda vez que la vida útil de las obras civiles típicas (edificios, presas etc) se supone normalmente de 50 a 60 años, la única manera de disminuir el riesgo sísmico sería incrementando el período de retorno del sismo de diseño. Por ejemplo, en el caso anterior, las "probabilidades de encuentro" disminuirían a 0.395 y 0.095 si los períodos de retorno se aumentaran a 100 y 500 años respectivamente. En el Cuadro No.5 se presentan valores de probabilidades de encuentro para diversas combinaciones de vida de la obra y períodos de retorno.

En zonas de baja sismicidad, se considera económicamente factible utilizar períodos de retorno altos en la determinación de la aceleración de diseño para obras civiles. Por dicho motivo, es frecuente el empleo de lapsos de recurrencia de 400 y 500 años, para los cuales las probabilidades de encuentro, equiparables al riesgo sísmico, son respectivamente de sólo 11.8 y 9.5% con base en 50 años de vida útil.

Por otra parte, la finalidad del diseño asísmico es evitar la pérdida de

vidas humanas y la ocurrencia de daños estructurales graves y, en ningún caso, prevenir la presentación de averías menores en las obras como consecuencia de un temblor de intensidad prefijada. Bajo el punto de vista teórico, si la intensidad del sismo, supuestamente proporcional a la aceleración, no supera la empleada en el diseño, no se presentarán daños en la estructura. En cambio, si la intensidad del movimiento excede ligeramente la utilizada en el diseño, los daños estructurales serán menores y podrán someterse a reparación. La dificultad estriba en determinar en que porcentaje se podrá exceder la aceleración de diseño sin que se ocasionen daños irreparables en las obras.

6. CONCLUSIONES DEL ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE.

El estudio de los escasos datos técnicos disponibles sobre la sismicidad de la zona del proyecto permitieron concluir lo siguiente:

- a. Pese a su proximidad a una región altamente sísmica, la zona de las obras puede clasificarse como de sismicidad media a baja si se tienen en cuenta las altitudes.
- b. Los estimativos basados en tres diferentes procedimientos señalan que, entre 1911 y 1979, sólo en una ocasión la aceleración pico horizontal del terreno ascendió al orden de 46 Gal.(0.047 g). El período de retorno de este movimiento se acerca solamente a 20 años; de conformidad con la expresión (2), la probabilidad de

encuentro de un movimiento con dicha recurrencia en 68.7 años excede ligeramente 95%. Curiosamente, la probabilidad de encuentro en el mismo lapso de un sismo, aun por ocurrir, cuyo período de retorno igualara 40 años sería de 82.4%.

- c. Será conveniente obtener acelerogramas de sismos ocurridos en la región en los últimos años. En esta forma, se podrán revisar los estimativos con base en la correlación más adecuada.
- d. Por otra parte, un conocimiento de la estructura de las fallas geológicas situadas al sur del departamento de Santander, donde se generan la mayoría de los movimientos sísmicos fuertes de la región, permitiría utilizar por lo menos una correlación más fidedigna.

7. TEMBLOR DE DISEÑO.

Las consideraciones anteriores permitieron llegar a la conclusión de que el temblor hipotético más recomendable en la actualidad para el cálculo asísmico de las obras del proyecto será el que tenga un período de retorno de 80 años. La probabilidad de encuentro de dicho sismo en un lapso de 60 años asciende a 53.0%.

Al respecto, se considera pertinente añadir lo siguiente:

- a. Bajo el punto de vista teórico, no es factible extrapolar para períodos de retorno superiores a los 100 años. Por lo tanto, no podrían evaluarse las variables sísmicas de movimientos cuyos

períodos de retorno se extendieran más allá de la centuria.

- b. Los parámetros calculados para un sismo de 80 años de período de recurrencia son relativamente bajos. Por dicho motivo, es obvio que el diseño de las estructuras hidráulicas para soportar la pertinente aceleración horizontal sísmica involucrará sólo extracostos de baja magnitud. Se recomienda usar, además, una aceleración vertical con magnitud situada en el rango de un tercio a dos tercios de la aceleración horizontal.
- c. La probabilidad de encuentro de un sismo con período de retorno de 100 años es de 45.3%; la aceleración horizontal sísmica estimada para este movimiento excede la correspondiente al temblor recomendado para diseñar en sólo 13%.
- d. No es irrazonable esperar que obras calculadas para soportar un movimiento con 80 años de período de retorno sufran averías estructurales menores y de carácter reparable al ser sacudidas por un temblor cuya recurrencia exceda los 80 años pero sea menor de 100 años.

En el Gráfico No.4 se ilustran los parámetros (aceleración, velocidad y desplazamiento) que pueden esperarse del temblor recomendado para diseño. El movimiento del terreno se calculó a partir del promedio de los valores obtenidos por los tres procedimientos mencionados con anterioridad.

En el Cuadro No.6 se presentan los parámetros más probables del movimiento esperado del terreno con los sismos hipotéticos de 3, 5, 10, 20, 40, 50, 60, 80 y 100 años de períodos de retorno.

8. ADVERTENCIAS.

- a. El presente informe es de carácter preliminar y deberá revisarse cuando el Instituto Geofísico de Los Andes suministre bien sea a ICEL o a Sodeic Ltda los datos sísmicos registrados durante los años 1979 a 1981 y acelerogramas completos de sismos ocurridos en la región en los últimos años con magnitudes superiores a 4.5.
- b. No se incluyen en los cuadros ni en los gráficos las posibles variaciones de aceleración sísmica (amplificaciones o atenuaciones) debidas a accidentes topográficos. La inclusión de dichas consideraciones particulares implicará estudios detallados del subsuelo en cada uno de los sitios seleccionados para presas.

9. CONCLUSIONES ADICIONALES

- a. Por experiencia directa de nuestro personal de campo, puede observarse que la región no sufrió movimientos sísmicos, durante el período cubierto por este informe, que superarán una intensidad M.M. de 4.5.

b. Se obtuvieron datos complementarios de N.G.S.D.C., de Boulder, Colorado, E.U.A., que comprende el período enero 1980 - junio 1981 (Véase el Apéndice). De acuerdo con esta 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
I de m	5.01 a 5.50	7
I de m	5.51 a 6.00	2
I de m	Mayor de 6.0	0
		TOTAL 72
		====

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

d. 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 el 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.

e. Durante los meses de mayo y junio de 1982, se llevaron a cabo encuestas tendientes a reconstruir en detalle la historia sísmica de la zona del proyecto durante los últimos años. Para tal fin, se emplearon los formularios insertos en el Apéndice. Los resultados de las encuestas se resumen en el cuadro No. 7. Como podrá observarse, no hay prueba alguna de que entre el año de 1962 y la fecha se hayan presentado aceleraciones horizontales del terreno en exceso de 180 Gal. Esto está acorde con el Gráfico No. 3 del Informe Preliminar.

LISTA DE REFERENCIAS

Autor y Título

1. Ramírez, Jesús Emilio. "Historia de los Terremotos en Colombia".
Publicación del Instituto Geofísico de Los Andes. Bogotá. 1975.
2. Mc Guire, Robin K. "Seismic Ground Motion Parameter Relations".
Journal of the Geotechnical Engineering Division. American Society
of Civil Engineers. Abril de 1973.
3. Linsley, Ray K. y Franzini, Joseph B. "Elements of Hydraulic
Engineering". Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 1955.
4. Ang, Alfredo H.S. y Tang, Wilson H. "Probability Concepts in
Engineering Planning and Design". John Wiley & Sons, Inc. 1975.
5. Wiggins, John H. "Effect of Site Conditions on Earthquake Intensity".
Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers.
Abril de 1964.
6. Borgman, Leon E. "Risk Criteria". Journal of the Waterways and
Harbors Division. American Society of Civil Engineers. Agosto de 1963.
7. Geotecnia Ltda, Cali. "Una Contribución a la Elaboración de una
Norma de Construcción Asísmica para la Zona de Manizales".
Informe presentado a CRAMSA, Manizales. Julio de 1980.
8. Idriss, I.M. "Characteristics of Earthquake Ground Motions".
Earthquake Engineering and Soil Dynamics. Volume III.
American Society of Civil Engineers. 1978.

INSTITUTO COLOMBIANO DE
ENERGIA ELÉCTRICA "ICEL"

OBRA: APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA HOYA DEL RÍO CUSIANA
TRABAJO: ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SISMICA DISPONIBLE

TEMBORES MÁXIMOS ANUALES

No. de Orden	Año	Fecha	Magnitud Richter, m	Profundidad del Hipocentro, km	Epicentro	
					Coordenadas	Municipio
01	1911	10 de abril	7.2	100	74.0°W 7.0°N	Remedios, Antioquia
02	1917	31 de agosto	7.3	100	74.0°W 4.0°N	Cerca Acacías, Meta
03	1919	10 de julio	6.25	-0-	72.0°W 8.0°N	(Venezuela)
04	1922	16 de enero	7.6	445	71.0°W 2.5°N	Comisaría Vaupés.
05	1925	7 de junio	6.75	170	70.0°W 3.0°N	(Venezuela)
06	1931	10 de mayo	6.25	-0-	70.0°W 8.0°N	(Venezuela)
07	1932	14 de mayo	6.75	-0-	71.7°W 8.3°N	(Venezuela)
08	1935	17 de septiembre	6.25	80	76.0°W 5.5°N	Boté, Chocó
09	1938	4 de febrero	7.0	180	75.5°W 5.1°N	Manizales, Caldas
10	1942	22 de mayo	5.75	130	74.7°W 4.1°N	Cunday, Tolima
11	1945	6 de abril	5.5	-0-	72.0°W 8.4°N	(Venezuela)
12	1947	27 de septiembre	5.5	25	72.0°W 8.4°N	(Venezuela)
13	1950	9 de julio	5.5	25	72.8°W 7.6°N	Arboledas, N.Santander
14	1952	29 de junio	5.5	150	73.0°W 8.0°N	Bucaramanga, N.Santander
15	1954	5 de febrero	5.5	100	71.5°W 7.5°N	(Venezuela)
16	1956	16 de noviembre	5.0	-0-	71.0°W 8.5°N	(Venezuela)
17	1957	10 de noviembre	5.5	52	75.1°W 7.3°N	Anorí, Antioquia
18	1958	18 de octubre	5.5	25	73.0°W 7.5°N	Matanzas, Santander
19	1959	22 de abril	5.5	-0-	73.4°W 7.9°N	Abrego, N.Santander

CUADRO No. 1-A

INSTITUTO COLOMBIANO DE
ENERGIA ELECTRICA "ICEL"

OBRA: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO RABAJO: ANALISIS DE INFORMACION
DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA SISMICA DISPONIBLE

TEMBLORES MAXIMOS ANUALES

No. de Orden	Año	Fecha	Magnitud Richter, m	Profundidad del Hipocentro, km	Epicentro	
					Coordenadas	Municipio
20	1960	6 de febrero	5.5	-0-	71.5°W 7.5°N	(Venezuela)
21	1961	20 de diciembre	6.9	176	75.6°W 4.6°N	Armenia-Calarcá Circacia, Quindío
22	1962	30 de julio	6.9	69	75.9°W 5.4°N	Mistrató, Caldas
23	1963	25 de julio	5.2	152	73.6°W 6.9°N	San Luis, Santander
24	1964	9 de octubre	5.3	157	73.5°W 6.8°N	San Vicente, Santander
25	1965	11 de septiembre	6.0	27	71.8°W 7.0°N	Frontera Colombia-Venezuela
26	1966	11 de octubre	5.9	167	72.9°W 6.8°N	Los Curos, Santander
27	1967	9 de febrero	6.3	60	74.9°W 2.9°N	ENE, Neiva Huila
28	1968	7 de mayo	5.7	163	73.0°W 6.7°N	Aratocha, Santander
29	1969	24 de febrero	5.0	150	72.9°W 6.8°N	San Andrés, Santander
30	1970	27 de enero	5.7	22	72.1°W 7.5°N	S de San Cristóbal, Venezuela
31	1971	23 de abril	5.2	169	72.9°W 6.8°N	San Andrés, Santander
32	1972	18 de agosto	5.3	161	73.1°W 6.8°N	Los Santos, Santander
33	1973	24 de agosto	6.3	50	76.1°W 5.0°N	Cerca Costa Chocó
34	1974	27 de septiembre	5.6	43	71.4°W 2.7°N	NE de Calamar, Vaupés
35	1975	13 de abril	5.2	144	75.8°W 4.6°N	Cartago, Valle.
36	1976	19 de mayo	5.9	157	75.8°W 4.5°N	Dpto. del Tolima
37	1977	23 de marzo	5.5	164	73.0°W 6.8°N	Los Curos, Santander
38	1978	21 de enero	5.1	41	72.4°W 6.4°N	Boyacá
39	1979	23 de noviembre	6.4	108	76.2°W 4.8°N	Valle

CUADRO No. 2

INSTITUTO COLOMBIANO DE
ENERGIA ELECTRICA "ICEL.

OBRA: APROVECHAMIENTO HIDROELEC-
TICO DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA.

FRECUENCIA DE MAYORES SISMOS ANUALES OCURRIDOS ENTRE ABRIL 1911 Y NOVIEMBRE 1979 (1)

Grupo	Rango de Magnitud Richter, M	M e d i a		Años de Temblores	Número de Temblores	Frecuencia Relativa Acumulada, %
		Real	De Rango			
A	Mayor de 7.51	7.60	---	1922	1	2.50
B	7.50 - 7.01	7.25	7.25	1911, 1917	2	7.50
C	7.00 - 6.51	6.86	6.75	1925, 1932, 1938, 1961, 1962.	5	20.00
D	6.50 - 6.01	6.29	6.25	1919, 1931, 1935, 1967, 1973, 1979	6	35.00
E	6.00 - 5.51	5.79	5.75	1942, 1965, 1966, 1968, 1970, 1974, 1976.	7	52.50
F	5.50 - 5.01	5.39	5.25	1945, 1947, 1950, 1952, 1954, 1957, 1958, 1959, 1960, 1963, 1964, 1971 1972, 1975, 1977, 1978	16	92.50
G	5.00 - 4.51	5.00	4.75	1956, 1969.	2	97.50
TOTAL					<u>39</u>	

NOTA: (1) Veáanse los Cuadros No.1 y No.1-A. Los sismos cuyas magnitudes eran menores de 4.51 se consideraron inocuos. La magnitud Richter del sismo de 1906 no se tuvo en cuenta por dudarse de su confiabilidad.

CUADRO No. 3

INSTITUTO COLOMBIANO DE
ENERGIA ELECTRICA "ICEL"

OBRA: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DE LA HOYA DEL RIO CUSIANA

FRECUENCIA DE MENORES DISTANCIAS HIPOCENTRICAS OCURRIDAS
ANUALMENTE ENTRE ABRIL DE 1911 Y NOVIEMBRE DE 1979 (1)

Grupo	Rango de Distancia Hipocéntrica, DH, Km		M e d i a		Años de Temblores	Número de Temblores	Frecuencia Relativa Acumulada, %
			Real	De Rango			
A	0	- 49.9	35.3	25.0	1963	1	2.8
B	50.0	- 99.9	66.6	75.0	1973, 1975	2	8.3
C	100.0	- 149.9	130.7	125.0	1974, 1977, 1978	3	16.7
D	150.0	- 199.9	185.1	175.0	1954, 1958, 1962 1966, 1976, 1979	6	33.3
E	200.0	- 249.9	224.1	225.0	1917, 1957, 1959, 1961 1964, 1965, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972	12	66.7
F	250.0	- 299.9	265.9	275.0	1911, 1942, 1950, 1960	4	77.8
G	300.0	- 349.9	334.8	325.0	1919, 1938, 1952	3	86.1
H	350.0	- 349.9	362.3	375.0	1932, 1935, 1945, 1947	4	97.2
						<u>35</u>	

NOTAS: (1) Véanse los Cuadros No.1 y No.1-A. Los sismos con distancias epicéntricas en exceso de 400 km se consideraron inocuos.

(2) No se registraron movimientos sísmicos de magnitud mayor de 4.5 cuyas distancias hipocéntricas fueran menores de 35 km o mayores de 389 km.

CUADRO No.4

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA "ICEL"

O B R A: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO CUSIANA.

COMPARACION DE VARIABLES SISMICAS

CON DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO.

<u>Períodos de Retorno,</u> <u>años</u>	<u>Valores Individuales (1)</u>	
	<u>Magnitud Richter,</u> <u>M</u>	<u>Distancia Hipocéntrica,</u> <u>DH, Km</u>
3	5.64	242.9
5	6.02	191.0
10	6.48	154.4
20	6.94	131.0
30	7.22	120.3
40	7.42	113.7
50	7.58	109.0
60	7.71	105.4
80	7.99	100.0
90	8.00	97.9
100	8.08	96.1

NOTAS:

- (1) Estos valores se emplearon en los cálculos posteriores. Véanse las dos figuras del Gráfico No.2.
- (2) No se consideró prudente extrapolar más allá de la centuria en vista de que los registros históricos se extienden solamente desde 1911 hasta 1979.

CUADRO No. 5

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA "ICEL".

O B R A: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO CUSIANA.

PROBABILIDADES DE ENCUENTRO

Período de Retorno, T, años	VIDA DE LA OBRA, L, AÑOS							
	1	5	10	20	30	40	50	60
5	0.200	0.672	0.893	0.988	0.999	0.999+	0.999+	0.999+
10	0.100	0.410	0.651	0.878	0.958	0.985	0.955	0.998
20	0.050	0.226	0.401	0.642	0.785	0.871	0.923	0.954
40	0.025	0.119	0.224	0.397	0.532	0.637	0.718	0.781
50	0.020	0.096	0.183	0.332	0.455	0.554	0.636	0.702
60	0.017	0.081	0.155	0.285	0.396	0.489	0.568	0.635
80	0.012	0.061	0.118	0.222	0.314	0.395	0.467	0.530
100	0.010	0.049	0.096	0.182	0.260	0.331	0.395	0.453
200	0.005	0.025	0.049	0.095	0.140	0.182	0.222	0.259
400	0.002	0.012	0.025	0.049	0.072	0.095	0.118	0.139
500	0.002	0.010	0.020	0.039	0.058	0.077	0.095	0.113

CUADRO No. 6

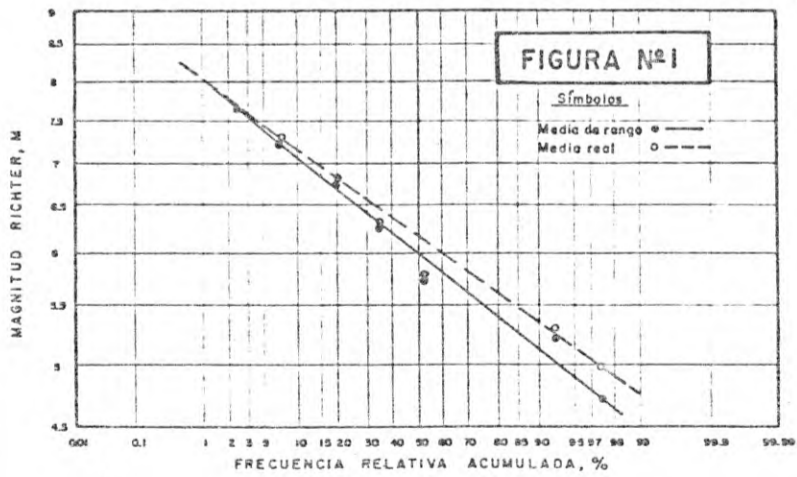
COMPARACION DE MOVIMIENTOS SISMICOS HIPOTETICOS.

<u>Períodos de Retorno del Sismo, años</u>	<u>VALORES MEDIOS DE MOVIMIENTOS DEL TERRENO (1)</u>		
	<u>Aceleración Máxima, Gal</u>	<u>Velocidad Máxima, cm/s</u>	<u>Desplazamiento Máximo, cm</u>
3	6.2	0.9	43.4
5	12.4	1.6	38.9
10	24.9	3.0	37.7
20	46.2	5.5	25.7
30	65.4	7.8	21.2
40	83.0	10.0	16.7
50	99.8	12.1	12.3
60	115.7	14.2	7.8
80 (2)	154.1	19.5	3.5
90	159.9	20.0	1.4
100	174.2	21.9	0.6

NOTAS

- (1) Proviene de promediar resultados obtenidos por tres diferentes métodos.
- (2) Las características de este sismo, con período de retorno de 80 años, se ilustran en el Gráfico No.4.

ITEM	SOGAMOSO	TOQUILLA	PAJARITO	SAN BENITO	CORINTO	AQUITANIA	CHAMEZA	TAURAMENA	RECETÓR	PUEBLO NUEVO
Número de Entrevistados	37	43	14	11	20	28	35	32	25	9
Grado de Instrucción	Primaria	Prim.-Analf.	Primaria	Primaria	Primaria	Primaria	Primaria	Primaria	Primaria	Primaria
Habitación Tipo	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta	Casa Planta
Materiales de Construcción	Ladrillo Concreto	Ladrillo Adobe	Ladrillo	Ladrillo	Ladrillo	Ladrillo	Adobe	Adobe	Adobe Madera	Adobe
Calidad de la Construcción	Buena	Regular-Buena	Regular	Mala	Regular-Mala	Buena- Regular	Regular- Mala	Buena-Regular	Regular-Mala	Regular- Mala
Tipo de Suelo	Arenoso Arcilloso	Arcilloso	Gravoso	Gravoso	Gravoso	Arcilloso	Gravoso	Arenoso	Gravoso	Gravoso
Topografía	Horizontal	Variada	Horizontal	Inclinada	Inclinada	Inclinada	Inclinada	Horizontal	Ladera	Ladera
MICROSISMOS	Si	Si, Pocos	Pocos	No	Rara Vez	Si	No	Rara Vez	No	No
Periodicidad	2-3/año	1-2/año	1 vez al año	-	1 vez al año	1-2/año	-	-	-	-
Intensidad	Media	Suave - Medio	Suave	-	Suave	Media-Suave	-	Suave	-	-
TEMBLORES REFERIDOS	Enero 1982 Agosto 1967	Junio 1967 Agosto 1968	1962, 1967	No	1967	Octubre 1980 Enero 1982	Ninguno	1977	No	No
Impresión recibida	Paso de Camión	Paso de Camión	Caida objeto Pes.	-	Paso de Camión	Paso de Camión	-	Paso de Camión	-	-
Tipo de Movimiento	Suave Ondulado	Suave Ondulado	Súbito	-	Brusco	Ondulado	-	Brusco	-	-
Efectos y Daños (Ver lista)	53, 54, 56	53, 54, 56, 57	53, 54, 56, 57	-	53, 54, 56	53, 54	-	53, 54	-	-



SISMOS CON $M \geq 4.5$ (1.911-1.979)

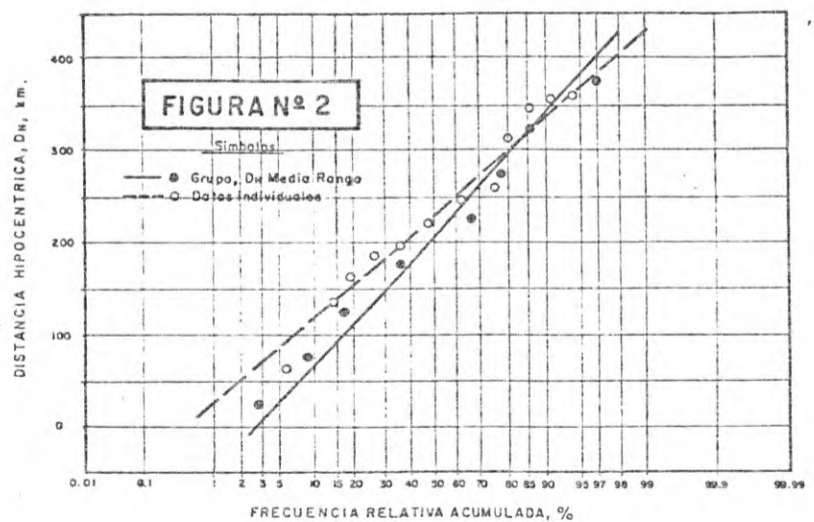
(Ver Nota N°1)

CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS
 SEGUN ANALISIS TEORICO DE VALORES AGRUPADOS
 (Ver Nota N°2)

Magnitud Richter Media, $\bar{M} = 6.1$
 $\sigma_{M-4} = 0.866$
 C.V. = 14.2 %
 $\lambda = 1.798$
 $\xi = 0.142$

NOTAS

- Se utilizaron los datos correspondientes a los máximos temblores anuales ocurridos entre 1.911 y 1.979, cuando su magnitud Richter excedía 4.5.
- Estas características se obtuvieron de agrupaciones de valores. Se prefirió este procedimiento, en lugar de series de valores individuales, para mejorar las distribuciones.



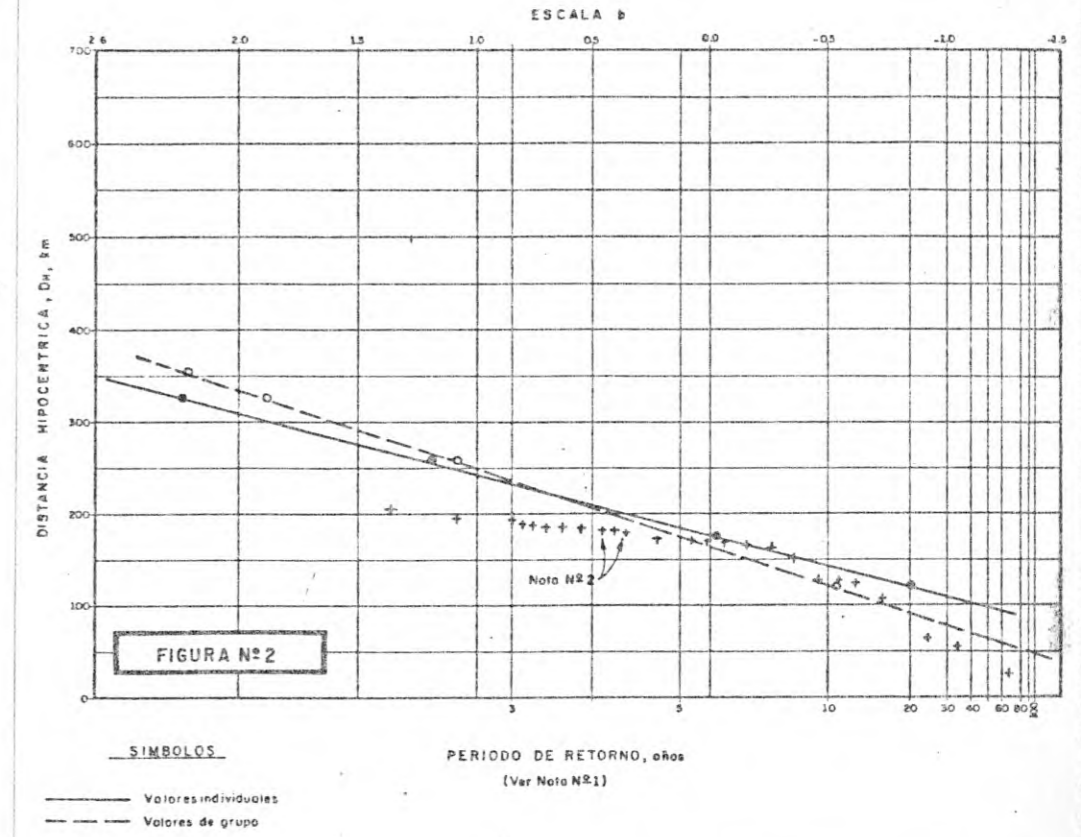
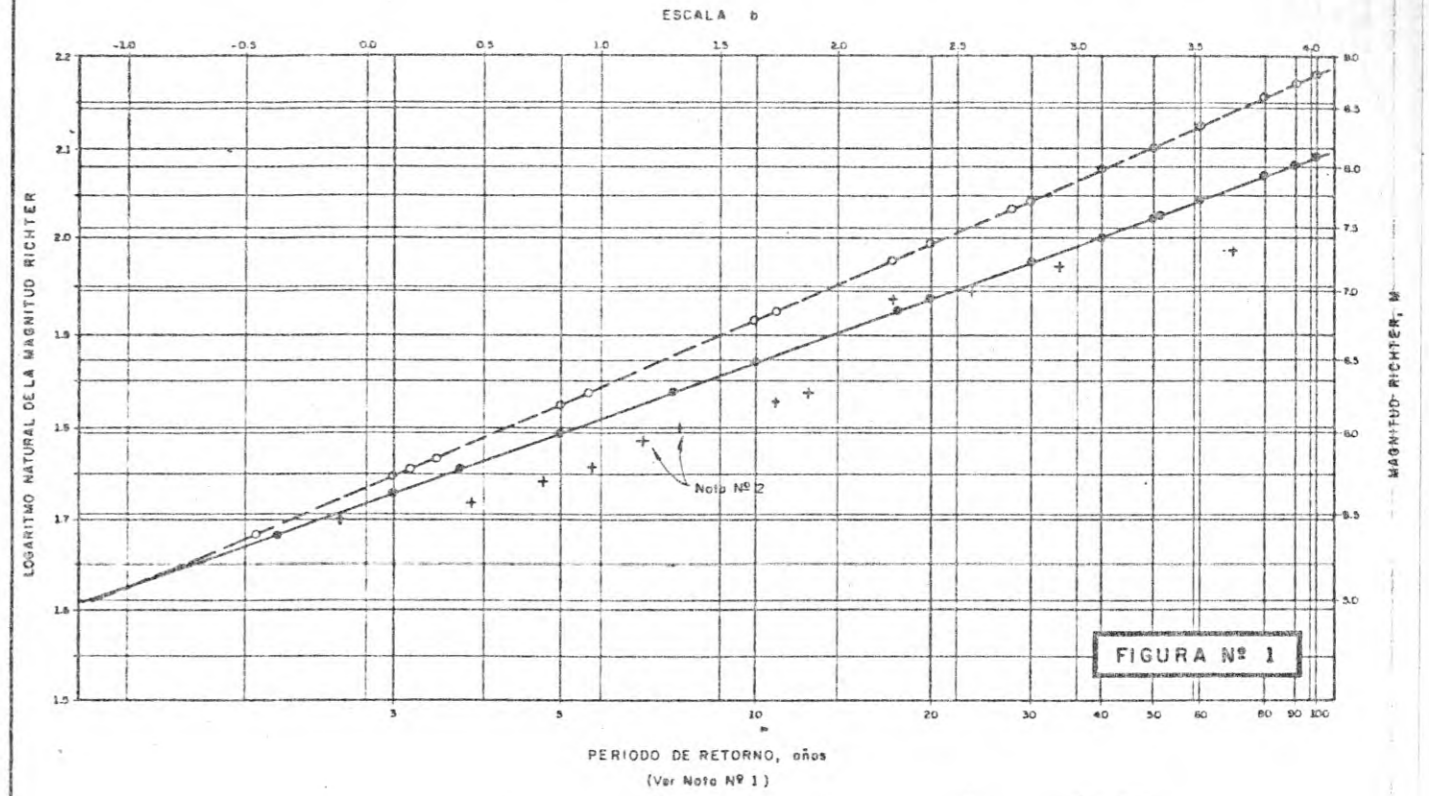
SISMOS CON $M \geq 4.5$ (1.911-1.979)

(Ver Nota N°1)

CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS
 SEGUN ANALISIS TEORICO DE VALORES AGRUPADOS
 (Ver Nota N°2)

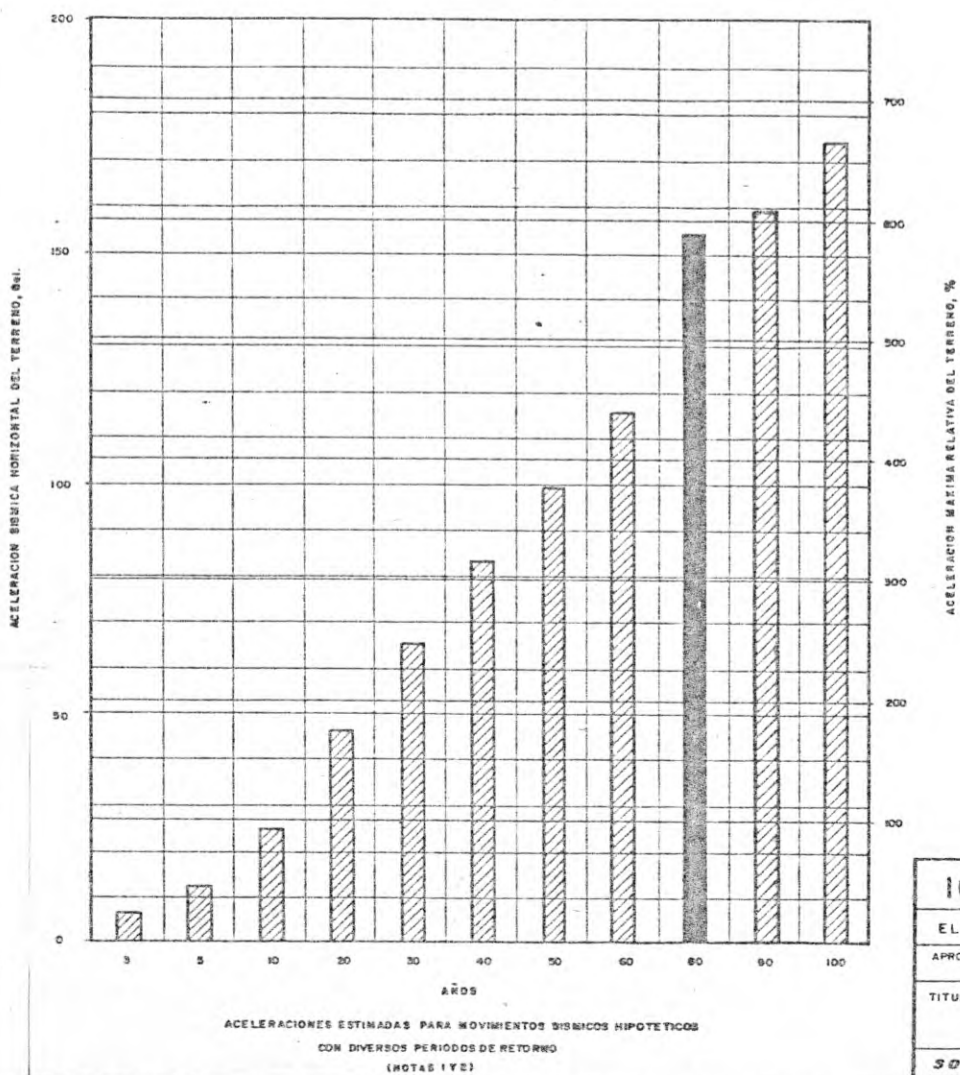
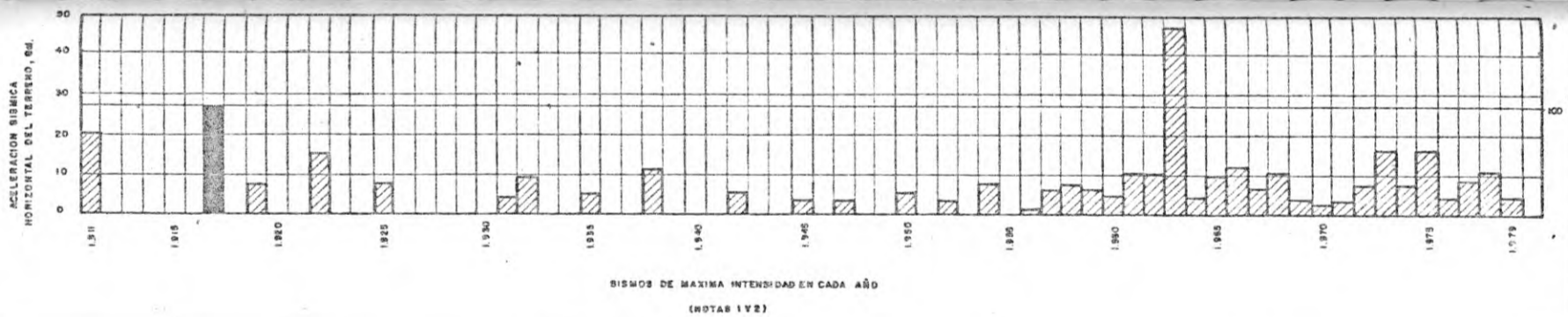
$\bar{D}_H = 200$ km
 $\sigma_{D_H} = 114.6$
 C.V. = 57.3 %

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUBANA ETAPA A-FASE II	
TITULO: DISTRIBUCIONES PROBABILISTICAS DE MAGNITUDES RICHTER Y DISTANCIAS HIPOCÉNTRICAS	
SODEIC LTDA INGENIEROS CONSULTORES	FECHA: 1981-1982 ARCHIVO



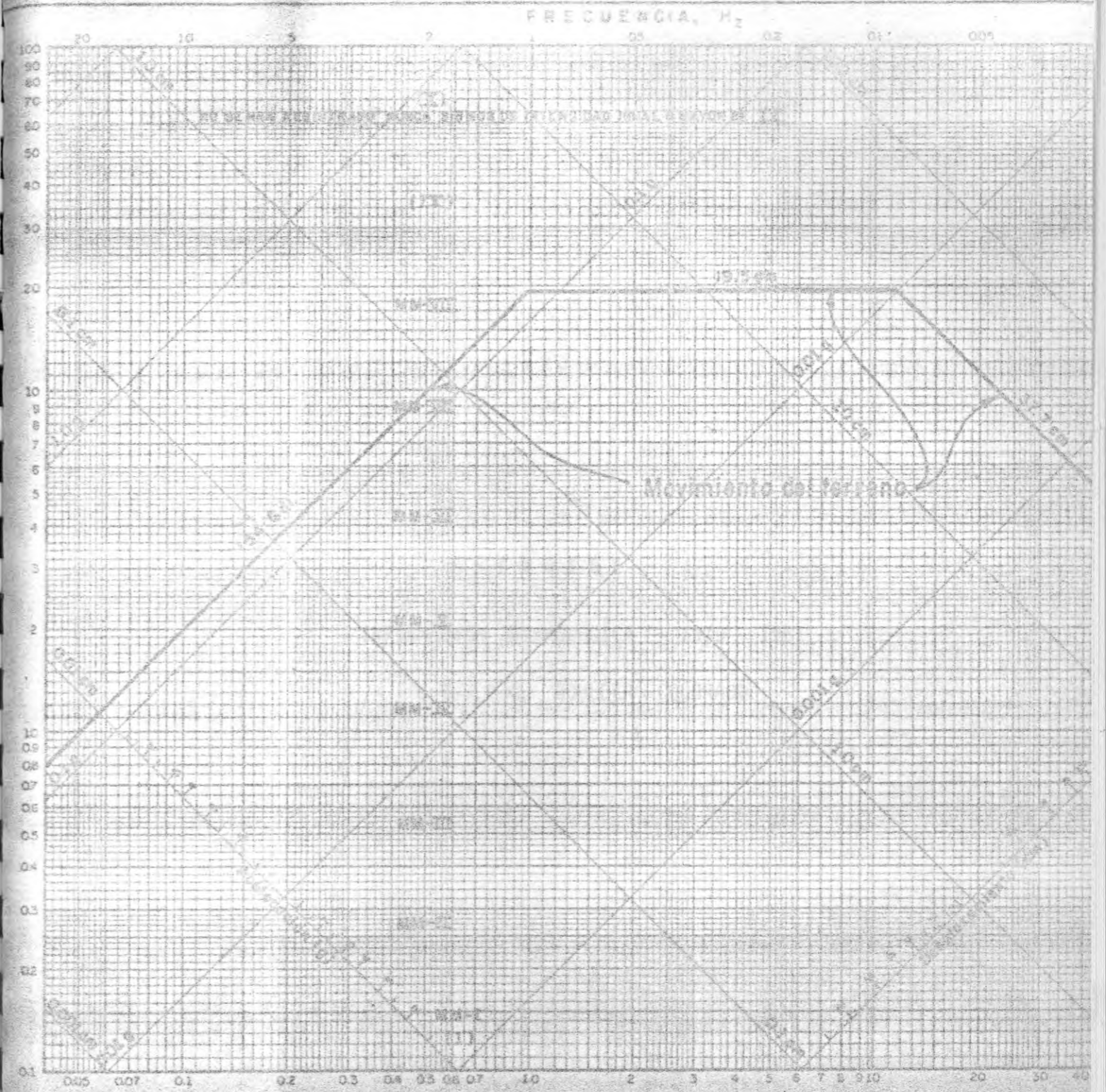
- NOTAS
- Se utilizaron los datos correspondientes a los máximos temblores anuales ocurridos entre 1911 y 1979, cuando su magnitud Richter excedía 4.5.
 - Los valores individuales se ubicaron empleando el denominado "método de Coltregna".

ICEL INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
ELECTRIFICADORA DE BOYACA S. A.	
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DE LA HOYA DEL RIO CUBIANA ETAPA A—FASE II	
TITULO: PERIODOS DE RETORNO	
MAGNITUDES RICHTER Y DISTANCIAS HIPOCENTRICAS	
INGENIEROS CONSULTORES	FECHA: AÑO 1982
SOPIC LTDA	DIBUJO N° 2



NOTAS

1. Se consideró para este gráfico que la aceleración ocasionada por el sismo del 31 de agosto de 1917 era 100%.
2. Estas magnitudes se calcularon con base en el promedio de valores obtenidos por los procedimientos de Mc Guire, Wiggins y Estevo & Villaverde.

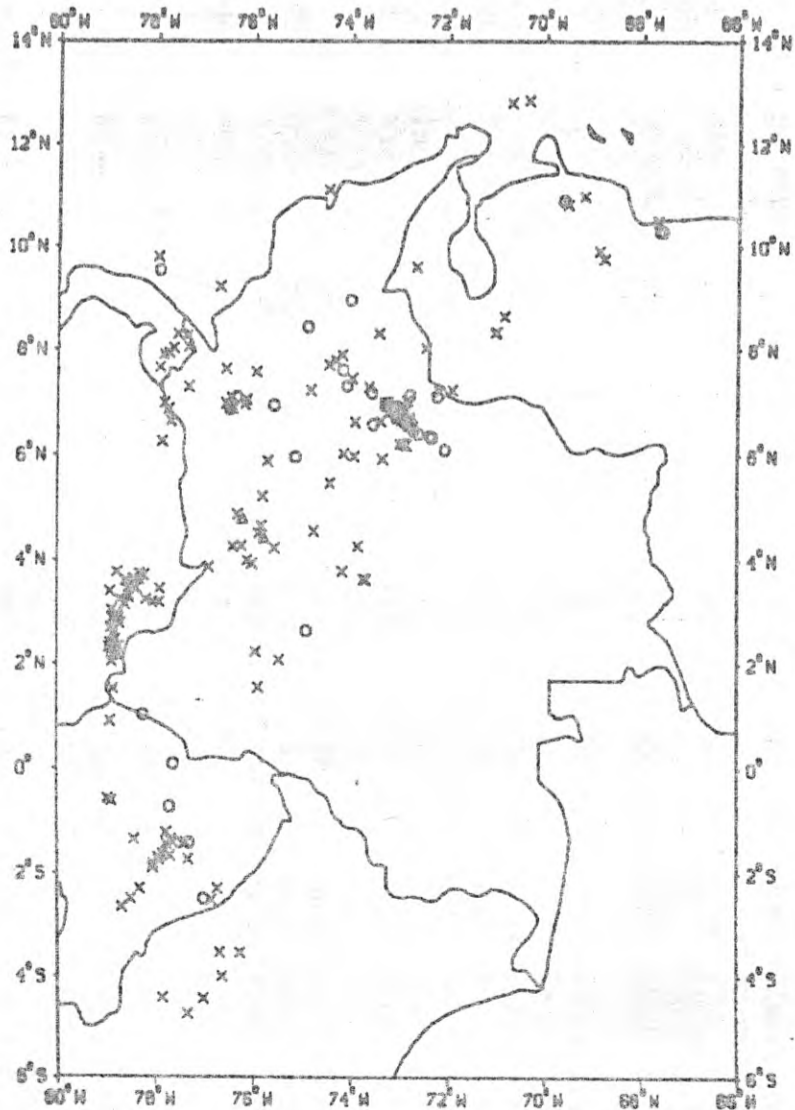


PERIODO, s
 AMORTIGUACION SUPUESTA 20%
 (Ver Nota N°2)

A P E N D I C E

INFORMACION SISMOLOGICA - 1979 - 1981

N.G.S.D.C. BOULDER COLORADO



NGSDC/EDIS/NOAA BOULDER, COLORADO
 259 EARTHQUAKES PLOTTED
 82/05/04. 15.58.51.

MAGNITUDE	
○	0.00 M 3.99
×	3.99 M 5.99
△	5.99 M 7.00

SEISMICITY OF THE SOUTHERN CALIFORNIA REGION

Approximately 15,200 epicenters from the report by Hileman, et al and supplements have been incorporated in the Earthquake Data File. The data cover the period January 1, 1932, to December 31, 1974. The reports are essentially local bulletin summaries for that period during which personnel of the California Institute of Technology Seismological Laboratory at Pasadena (PAS) located earthquakes in the southern California region. Prior to 1961 epicentral locations were routinely determined by graphical methods, usually assuming a focal depth of 16 km. After 1961 all locations have been determined by computer techniques using least-squares methods. Many of the larger pre-1961 earthquakes have been relocated using the latest computer programs.

PAS epicenters within their local network generally are preferred over those published in the PDE and United States Earthquakes reports. They overlap with 2,400 epicenters from other sources and are designated as preferred.

CATALOGUE OF EARTHQUAKES IN NORTHERN CALIFORNIA AND ADJOINING AREAS

Approximately 9,430 earthquakes from the report by Bolt and Miller and supplements have been incorporated in the Earthquake Data File. The data cover the period January 1, 1910, to December 31, 1974. The reports are essentially local bulletin summaries for that period during which personnel of the University of California Seismographic Stations at Berkeley (BRK) located earthquakes in northern California and adjoining areas. It incorporates modifications and additional observations that have been made since the time of publication of the original bulletins.

BRK epicenters are preferred in the area of their network over approximately 2,900 epicenters originally published in the PDE and United States Earthquakes reports. Differences from earlier data of up to about 0.2 degrees of latitude and longitude should be considered within normal limits of error.

EARTHQUAKE HISTORY OF THE UNITED STATES

This summary of significant earthquakes, by Coffman and von Hake (1973) has provided most of the pre-1928 U. S. data now included in the Earthquake Data File. The geographic locations listed are given to the nearest tenth of a degree and usually represent the town where the highest intensity occurred. Prior to 1897, these locations should not be considered to be epicenters, as instrumental data are not available for that period. Only those earthquakes for the period 1638-1928 (about 900) have been incorporated in the data file, because post-1927 data have been included from other, more detailed sources.

UNITED STATES EARTHQUAKES

Much of the felt data incorporated in the Earthquake Data File (including intensity, associated phenomena, and cultural effects) and some instrumental data have been extracted from the United States Earthquakes reports, published annually by the Coast and Geodetic Survey and successor organizations from 1928 through 1972 and jointly by NOAA/USGS thereafter.

THE NOAA-EDIS EARTHQUAKE DATA FILE

SOURCES OF DATA

Sources of listings in the Earthquake Data File are summarized below. The source is indicated for each entry by a 2- or 3-character code or abbreviation. These are identified in the list attached. The original source should be acknowledged in studies using large blocks of data from the file.

PRELIMINARY DETERMINATION OF EPICENTERS

The principal data source, which includes some 112,000 earthquakes, is the Preliminary Determination of Epicenters (PDE) program. This is a systematic, continuing activity initiated in 1937 by the U. S. Coast and Geodetic Survey and conducted since 1973 by the U. S. Geological Survey. The epicenters are computed from arrival-time information provided by at least several of the approximately 1,000 cooperating seismograph stations of the global network. These stations are operated by USGS, NOAA, other government agencies, colleges and universities, and many foreign institutions; about 130 of them are part of the world-wide network of standard seismographs (WWNSS).

The source is not identified by PDE in the file, but by the name of the organization operating the PDE program: Coast and Geodetic Survey (CGS), prior to 1970; National Ocean Survey (NOS), 1970 to 1971; Environmental Research Laboratories (ERL), 1971 to 1973; and Geological Survey (GS), 1973 onward. Prior to 1960, epicenters were located with an accuracy of about 0.5 degrees in latitude and longitude and + or -25 km in depth. Shallow-focus epicenters were assumed to be 25 km or 33 km deep, depending on the travel-time tables used in the computation.

Since 1960, earthquake arrival times reported by cooperating stations are processed routinely by computer, with external control by a seismologist. Readings from a minimum of five seismograph stations are required for an acceptable solution or epicenter. These locations are published in weekly and monthly PDE publications as soon as sufficient data have accumulated to insure a reasonable degree of accuracy. Most determinations are considered accurate to a few tenths of a degree in position and to 25 km in depth. Body-wave magnitudes (MB) have been routinely computed since April 1963. Surface-wave magnitudes (MS) have been computed as part of the PDE program since May 1968 whenever sufficient data are available. In general, these magnitudes represent an average of individual station values. Significant deviations from a computed average are deleted and a new mean value is then determined. The resultant values are probably accurate to within about 0.3 unit of magnitude.

SEISMICITY OF THE EARTH AND ASSOCIATED PHENOMENA

Gutenberg and Richter describe the data tabulated in their classic reference, Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. Approximately 900 epicenters for large earthquakes, covering the period 1899 through 1952, were added to the earthquake data file from this source.

CATALOG OF EARTHQUAKES ALONG THE SAN ANDREAS FAULT SYSTEM IN CENTRAL CALIFORNIA

A microearthquake network between Hollister and San Francisco has been operated since 1969 by the U. S. Geological Survey, Menlo Park, Calif. Approximately 21,000 epicenters have been determined for the period 1969-1976. A description of the original network is published in Eaton, et al. A series of annual and quarterly catalogs have been published as open-file reports by the U. S. Geological Survey.

OTHER SOURCES

Additional sources utilized in developing the Earthquake Data File include monthly publications of the Bureau Central International De Seismologie, Strasbourg, France, for the period 1950-1961 and the International Seismological Summary, Kew, England, for 1913-1959. In addition, a number of regional catalogs have been added to the Earthquake Data File.

A more complete description of the Earthquake Data File is contained in Key to Geophysical Records Documentation No. 5, Earthquake Data File Summary, by Meyers and von Hake (NOAA, EDIS, NGSDC, Boulder, CO 80303).

EARTHQUAKE DATA FILE

Abbreviations used -

Source:

ADK	Adak, AK, USA	HVO	Hawaiian Volcano Obsy., Hawaii National Park, HI, USA
AEC	U.S. Atomic Energy Commission	ISK	Istanbul-Kandilli, Turkey
ALG	Algiers, Algeria	ISS	International Seismological Summary, Kew, England, UK
ALI	Alicante, Spain	IST	Istanbul, Turkey
ALM	Almeria, Spain	JER	Jerusalem, Israel
ALQ	Albuquerque, NM, USA	JMA	Japan Meteorological Agency, Tokyo, Japan
APA	Apatity, RSFSR, USSR	JOH	Johannesburg, South Africa
API	Apia, Samoa Is.	KAR	Karachi, Pakistan
ATH	Athens Observatory, Greece	KEW	Kew, England, UK
BCI	Bureau Central International de Séismologie, Strasbourg, France	KIR	Kiruna, Sweden
BLA	Blacksburg, VA, USA	LEM	Lembang, Java, Indonesia
BNS	Bensberg, Federal Republic of Germany	LIS	Lisbon, Portugal
BOG	Bogota, Colombia	LJU	Ljubljana, Yugoslavia
BRA	Bratislava, Czechoslovakia	LWI	Lwiro, Zaire
BRK	Berkeley (Haviland), CA, USA	MAL	Malaga, Spain
BSS	<i>Bulletin of the Seismological Society of America</i>	MAN	Manila, Philippines
BUC	Bucharest, Romania	MAT	Matsushiro, Honshu, Japan
BUL	Bulawayo, Rhodesia	MER	Merida, Mexico
CAN	Canberra, Australian Capital Territory, Australia	MOS	Moscow, RSFSR, USSR
CAR	Caracas, Venezuela	MOX	Moxa, German Democratic Republic
CFR	Charles F. Richter (see Richter, 1958, in References)	NES	Northeastern Seismological Association, Weston, MA, USA
CGS	Coast and Geodetic Survey	NOS	National Ocean Survey
CHC	Chapel Hill, NC, USA	NOU	Noumea, New Caledonia
CLL	Collmberg, German Democratic Republic	NRR	North Reno, NV, USA
DJA	Djakarta, Java, Indonesia	OAX	Oaxaca, Mexico
EQH	<i>Earthquake History of the United States</i> (see References)	OBM	Ulan Bator, Mongolia
ERL	Environmental Research Laboratories	OTT	Ottawa, Ontario, Canada
G-R	Gutenberg-Richter (see Gutenberg and Richter, 1954, in References)	OXF	Oxford, MS, USA
GOL	Golden (Bergen Park), CO, USA	PAL	Palisades, NY, USA
GS	U.S. Geological Survey, Denver, CO, USA	PAS	Pasadena, CA, USA
HEL	Helsinki, Finland	PDE	<i>Preliminary Determination of Epicenters</i>
HRB	Hurbanovo, Czechoslovakia	PEK	Peking, China
		PET	Petropavlovsk, RSFSR, USSR
		PMG	Port Moresby, Papua
		PMR	Palmer, AK, USA
		PRA	Praha (Prague), Czechoslovakia

PRU	Pruhonice, Czechoslovakia	STU	Stuttgart, Federal Republic of Germany
QUE	Quetta, Pakistan	SYK	Sykes (see References)
RAC	Raciborz, Poland	TAC	Tacubaya, Mexico
REY	Reykjavik, Iceland	TEH	Teheran, Iran
RIV	Riverview, New South Wales, Australia	TOC	Tocklai, India
RMP	Rome (Monte Porzio Catone), Italy	TRI	Trieste, Italy
ROM	Rome, Italy	TRN	Trinidad, Trinidad, W.I.
SAN	Santiago, Chile	TUL	Tulsa, OK, USA
SEA	Seattle, WA, USA	UCC	Uccle, Belgium
SHI	Shiraz, Iran	UGL	Uglegorsk, RSFSR, USSR
SHL	Shillong, India	UPP	Uppsala, Sweden
SLM	St. Louis, MO, USA	USE	<i>United States Earthquakes</i>
SNM	Socorro, NM, USA	VIC	Victoria, British Columbia, Canada
SSS	San Salvador, El Salvador	WAR	Warsaw, Poland
STR	Strasbourg, France	WEL	Wellington, New Zealand
		YSS	Yuzhno-Sakhalinsk, RSFSR, USSR
		ZUR	Zurich, Switzerland

Date and origin time in Universal (Greenwich) Time.

Authority (follows origin time):

- A Parameters of explosion supplied by U.S. Atomic Energy Commission (AEC).
- B Parameters of hypocenter supplied by University of California at Berkeley.
- E Some or all parameters of explosion (controlled or accidental) supplied by any group or individual other than AEC.
- G Parameters of hypocenter supplied by the U.S. Geological Survey (USGS) for any area other than Island of Hawaii.
- H Parameters of hypocenter supplied by the USGS Hawaiian Volcano Observatory.
- J Parameters of hypocenter supplied by St. Louis University.
- L Parameters of hypocenter supplied by Lamont-Doherty Geological Observatory.
- M Hypocenter based on macroseismic information.
- P Parameters of hypocenter supplied by California Institute of Technology.
- R Parameters of hypocenter supplied by University of Nevada.
- S An NEIS solution based on use of dense local networks, a local crustal model, or other methods not routinely applied by NEIS.
- U Parameters of hypocenter supplied by University of Utah.
- V Parameters of hypocenter supplied by Virginia Polytechnic Institute and State University.
- W Parameters of hypocenter supplied by University of Washington.
- X Time not reported.
- Z Noninstrumental time and location.
- * Second-order hypocenter determination by CGS/NOS/ERL/GS using incomplete or less reliable data.

Depth control: A, assigned; D, restrained to agree with reported depth phases; G, restrained by geophysicist; N, restrained at normal depth (33 km) when data are not sensitive to depth for a shallow focus.

Magnitudes: See source codes. Surface Wave, SH = Horizontal components used.

Int (intensity) map: BSS, *Bulletin of the Seismological Society of America*; EQN, *Earthquake Notes*; PDE, *Preliminary Determination of Epicenters*; USE, *United States Earthquakes*.

Intensity: Maximum in Modified Mercalli (MM) scale or converted to MM scale.

Phenomena:

- D Diastrophism - F, surface faulting; U, uplift/subsidence; D, faulting and uplift/subsidence.
T Tsunami - T, tsunami generated; Q, possible tsunami.
S Seiche - S, seiche; Q, possible seiche.
V Volcanism - V, earthquake associated with volcanism.
N Nontectonic - C, coal bump or rockburst in coal mine; E, explosion, accidental, controlled, or suspected explosion; I, collapse; L, lights or other such visual phenomena seen; M, meteoritic source; R, rockburst.
O Waves generated - A, acoustic wave; G, gravity wave; B, both A & G; T, T-wave.

Region number (RN): Geographic region number as described in Flinn, Engdahl, and Hill.

Cultural Effects (CE): C, casualties; D, damage; F, felt.

Quality/Number of Stations (Q/S): Quality indicators are usually on an A, B, C, or D basis (A-very accurate; B-good; C-fair; D-poor). When used in combination for deep shocks (e.g. BBA) these represent the accuracy of (in order) epicenter, origin time, and depth.

Marsden/Degree Square (MAR DG): Numbering system dividing the world into 10° squares (MAR) and 1° subsquares (DG). Complete Earthquake Data File available sorted by this method.

REFERENCES

Bolt, Bruce A. and Roy D. Miller, *Catalogue of Earthquakes in Northern California and Adjoining Areas 1 January 1910-31 December 1972*, Seismographic Stations, University of California, Berkeley, 1975.

Coffman, Jerry L. and Carl A. von Hake, *Earthquake History of the United States, Publication 41-1, Revised Edition (Through 1970)*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Data Service, 1973.

Engdahl, Eric R. and Robert H. Gunst, "Use of a High Speed Computer for the Preliminary Determination of Earthquake Hypocenters," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 56, no. 2, April 1966.

Flinn, Edward A., E.R. Engdahl, and Alan R. Hill, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 64, no. 3, Part II, June 1974.

Gutenberg, B. and C.F. Richter, *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, Princeton University Press, 1954 (Second Edition), Hafner Publishing Company, 1965, Facsimile Edition.

Hileman, James A., Clarence R. Allen, and John M. Nordquist, *Seismicity of the Southern California Region 1 January 1932 to 31 December 1972*, Seismological Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, 1973.

Richter, Charles F., *Elementary Seismology*, W.H. Freeman and Company, 1958.

Sykes, Lynn R., various papers in *Bulletin of the Seismological Society of America* and *Journal of Geophysical Research*.

Wood, Harry O. and Frank Neumann, Modified Mercalli Intensity Scale of 1931, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 21, no. 4, 283, December 1931.

DIST (far right column on printouts) is the distance in kilometers between the earthquake location and the designated point for radius searches.

Magnitudes: See source codes. Surface Wave, SH = Horizontal components used.

Int (intensity) map: BSS, *Bulletin of the Seismological Society of America*; EQN, *Earthquake Notes*; PDE, *Preliminary Determination of Epicenters*; USE, *United States Earthquakes*.

Intensity: Maximum in Modified Mercalli (MM) scale or converted to MM scale.

Phenomena:

- D Diastrophism - F, surface faulting; U, uplift/subsidence; D, faulting and uplift/subsidence.
T Tsunami - T, tsunami generated; Q, possible tsunami.
S Seiche - S, seiche; Q, possible seiche.
V Volcanism - V, earthquake associated with volcanism.
N Nontectonic - C, coal bump or rockburst in coal mine; E, explosion, accidental, controlled, or suspected explosion; I, collapse; L, lights or other such visual phenomena seen; M, meteoritic source; R, rockburst.
O Waves generated - A, acoustic wave; G, gravity wave; B, both A & G; T, T-wave.

Region number (RN): Geographic region number as described in Flinn, Engdahl, and Hill.

Cultural Effects (CE): C, casualties; D, damage; F, felt.

Quality/Number of Stations (Q/S): Quality indicators are usually on an A, B, C, or D basis (A-very accurate; B-good; C-fair; D-poor). When used in combination for deep shocks (e.g. BBA) these represent the accuracy of (in order) epicenter, origin time, and depth.

Marsden/Degree Square (MAR DG): Numbering system dividing the world into 10° squares (MAR) and 1° subsquares (DG). Complete Earthquake Data File available sorted by this method.

REFERENCES

Bolt, Bruce A. and Roy D. Miller, *Catalogue of Earthquakes in Northern California and Adjoining Areas 1 January 1910-31 December 1972*, Seismographic Stations, University of California, Berkeley, 1975.

Coffman, Jerry L. and Carl A. von Hake, *Earthquake History of the United States, Publication 41-1, Revised Edition (Through 1970)*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Data Service, 1973.

Engdahl, Eric R. and Robert H. Gunst, "Use of a High Speed Computer for the Preliminary Determination of Earthquake Hypocenters," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 56, no. 2, April 1966.

MODIFIED MERCALLI INTENSITY (DAMAGE) SCALE OF 1931
(abridged)

- I. Not felt except by a very few under especially favorable circumstances. (I Rossi-Forel Scale.)
- II. Felt only by a few persons at rest, especially on upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing. (I to II Rossi-Forel Scale.)
- III. Felt quite noticeably indoors, especially on upper floors of buildings, but many people do not recognize it as an earthquake. Standing motorcars may rock slightly. Vibration like passing truck. Duration estimated. (III Rossi-Forel Scale.)
- IV. During the day felt indoors by many, outdoors by few. At night some awakened. Dishes, windows, and doors disturbed; walls make creaking sound. Sensation like heavy truck striking building. Standing motorcars rocked noticeably. (IV to V Rossi-Forel Scale.)
- V. Felt by nearly everyone; many awakened. Some dishes, windows, etc., broken; a few instances of cracked plaster; unstable objects overturned. Disturbances of trees, poles, and other tall objects sometimes noticed. Pendulum clocks may stop. (V to VI Rossi-Forel Scale.)
- VI. Felt by all; many frightened and run outdoors. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster or damaged chimneys. Damage slight. (VI to VII Rossi-Forel Scale.)
- VII. Everybody runs outdoors. Damage *negligible* in buildings of good design and construction; *slight to moderate* in well-built ordinary structures; *considerable* in poorly built or badly designed structures. Some chimneys broken. Noticed by persons driving motorcars. (VIII- Rossi-Forel Scale.)
- VIII. Damage *slight* in specially designed structures; *considerable* in ordinary substantial buildings, with partial collapse; *great* in poorly built structures. Panel walls thrown out of frame structures. Fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls. Heavy furniture overturned. Sand and mud ejected in small amounts. Changes in well water. Persons driving motorcars disturbed. (VIII+ to IX Rossi-Forel Scale.)
- IX. Damage *considerable* in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb; *great* in substantial buildings, with partial collapse. Buildings shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes broken. (IX+ Rossi-Forel Scale.)
- X. Some well-built wooden structures destroyed; most masonry and frame structures destroyed with foundations; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from river banks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water splashed (slopped) over banks. (X Rossi-Forel Scale.)
- XI. Few, if any (masonry), structures remain standing. Bridges destroyed. Broad fissures in ground. Underground pipelines completely out of service. Earth slumps and land slips in soft ground. Rails bent greatly.
- XII. Damage total. Waves seen on ground surfaces. Lines of sight and level distorted. Objects thrown upward into the air.

Aprovechamiento hidroeléctrico del Río
Cusiana/estudio de prefactibilidad/SODEIC
Ltda.

333.914 S679a Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO
-----------------	------------	-------------------

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01003908
BIBLIOTECA