



instituto colombiano de energía eléctrica



central hidroeléctrica de caldas

desarrollo hidroeléctrico
del río la miel
informe de factibilidad técnica

proyecto miel II

volumen III

apendice c - geología

apéndice d - sismología

apéndice e - materiales de construcción

consorcio río la miel

interdiseños-suelos y fundaciones-geocolombia

bogotá, febrero 1980

financiado por el fondo nacional de proyectos de desarrollo 'fonade'



039



333.9109862
Caldas
v.3
e.4

instituto colombiano de energía eléctrica



central hidroeléctrica de caldas

ase

desarrollo hidroeléctrico
del río la miel
informe de factibilidad técnica

proyecto miel II

volumen III

apendice c - geología

apendice d - sismología

apendice e - materiales de construcción

consorcio río la miel

interdiseños-suelos y fundaciones-geocolombia

bogotá, febrero 1980

financiado por el fondo nacional de proyectos de desarrollo (fonade)

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

PROYECTO MIEL II



PLANTA



PERFIL

PROYECTO MIEL II CARACTERISTICAS PRINCIPALES (Nivel máximo de embalse : 1045 Fp =0.5)

DATOS GENERALES	Caudal de diseño 73.8 m ³ /s. Salto bruto máximo 569.00 m. Capacidad instalada 351 mw. Energía firme: 1354 gwh/año.
DATOS HIDROLOGICOS	Area de la hoya hidrográfica: 363 km ² . Precipitación media: 4000 mm. Caudal medio del río La Miel en el sitio de Presa: 29.5m ³ /seg. Caudal medio del río Guarinó en el sitio de captación: 20.7 m ³ /seg.
EMBALSE	Area 2.35 km ² . Volumen total: 114.5 Mm ³ . Volumen útil: 75.3 Mm ³ . Nivel máximo: cota 1045. Nivel mínimo : cota 1000.
DESVIACION	Capacidad : 610 m ³ /seg. Longitud del túnel: 760 m. Diámetro: 8.4 m. Altura de la atagufa 30 m.
DESVIACION DEL RIO GUARINO Y SANTO DOMINGO	Capacidad : 25 m ³ /seg. Longitud del túnel : 14.300 m. Diámetro: 3.60 m. Altura Presa: 7.0 m. Tipo de Presa: "Presa India". Presa río Santo Domingo. Altura: 3.0 m. Pozo vertical, diámetro: 2.0 m. Longitud del Pozo: 57.0 m.
REBOSADERO	Capacidad: 3300 m ³ /seg. Tipo: Un canal rectangular, 32.5 m ancho inicial y 25.0 m de ancho en la salida. Compuertas: 3 de 15.0 mH x 8.5 m L.
PRESA	Tipo: enrocado con cara de concreto. Altura: 170 m. Volumen: 5.4 Mm ³
CONDUCTOS DE CARGA	Uno. Longitud túnel superior: 8390 m. Altura del pozo: 430 m. Longitud túnel inferior: 392 m. Diámetro del sector revestido: 5.5 m. Diámetro del sector blindado: 3.5 m.
ALMENARA	Pozo elevador: Diámetro 5.0 m. Pozo superior: Diámetro 14.0 m. Altura: 102.0 m. Nivel máximo cota 1063.1. Nivel mínimo cota 970.2
CASA DE MAQUINAS	Tipo: Subterránea. Pérdida máxima de carga: 45 m. Tres turbinas tipo Pelton de eje vertical y Tres generadores de 117 mw.
TUNEL DE FUGA	Longitud: 2750 m. Diámetro: 6.0 m. Sección en herradura.
COSTO DEL PROYECTO	US\$ 242.5 millones

VOLUMEN III

INDICE GENERAL

Apéndice C - GEOLOGIA

- Anexo 1 - Informe de Consultores
- Anexo 2 - Bibliografía
- Anexo 3 - Registro de Perforaciones
- Anexo 4 - Ensayos de Agua a Presión - Resumen de Resultados

Apéndice D - SISMOLOGIA

Apéndice E - MATERIALES DE CONTRUCCION

APENDICE C

I N D I C E

CAPITULO		PAGINA
1	INTRODUCCION	C-1
2	INVESTIGACIONES GEOLOGICAS	C-1
	2.1 Estudios Previos Generales	C-1
	2.2 Estudios Geológicos Específicos	C-2
	2.3 Método de Trabajo	C-3
3	GEOLOGIA REGIONAL	C-4
	3.1 Introducción	C-4
	3.2 Geomorfología Regional	C-4
	3.3 Litología	C-5
	3.4 Metamorfismo	C-7
	3.5 Estructuras Principales de la Región	C-8
	3.6 Aspectos de la Historia Geológica de la Cordillera Central	C-9
	3.7 Minería	C-11
4	GEOLOGIA DEL AREA DEL PROYECTO	C-15
	4.1 Geomorfología	C-16
	4.1.1 Geomorfología del Sitio de Presa	C-16
	4.1.2 Geomorfología del Alineamiento de los Túneles	C-17
	4.2 Litología del Area del Proyecto	C-21
	4.2.1 Rocas Metamórficas del Paleozóico	C-21

CAPITULO

PAGINA

- 4.2.2 Rocas Igneas y Metamórficas del Cretáceo C-26
- 4.2.3 Rocas Igneas, Metamórficas y Sedimentarias del Terciario C-27
- 4.2.4 Depósitos Cuaternarios C-30
- 4.2.5 Cataclastitas (unidades ZPICP y ZPICS) C-32

4.3 Estructuras y Tectónica en el Area del Proyecto C-34

- 4.3.1 Plegamientos C-34
- 4.3.2 Estructuras de los Cuerpos Igneos en el Area del Proyecto C-36
- 4.3.3 Discontinuidades Tectónicas C-37
 - a) Fallas C-37
 - b) Diaclasas C-46

5 INVESTIGACIONES DEL SUBSUELO C-46

5.1 Perforaciones C-47

- 5.1.1 Perforaciones de Guarinó (GT-1 y GT-2) C-47
- 5.1.2 Perforaciones del Sitio de Presa (MS-1 a MS-6) C-47
- 5.1.3 Perforación en Casa de Máquinas (MT-1) C-49
- 5.1.4 Perforaciones del Túnel de Carga (MT-2 a MT-4) C-50

5.2 Geología de la Galería de Exploración G-1 C-51

6 ENSAYOS DE AGUA A PRESION C-52

- 6.1 Descripción de los Ensayos C-52
- 6.2 Clasificación del Tipo de Flujo C-53
- 6.3 Análisis de Resultados C-54

CAPITULO

PAGINA

7

GEOTECNIA

C-55

7.1 Clasificación Geotécnica de Rocas para el Area del Proyecto

C-55

A-Roca muy buena

C-56

B-Roca buena

C-57

C-Roca aceptable

C-57

D-Roca mala

C-57

E-Roca muy mala

C-57

7.2 Condiciones Geotécnicas en el Sitio de Presa

C-57

7.3 Condiciones Geotécnicas en el Rebosadero

C-60

7.4 Condiciones Geotécnicas del Sitio de Casa de Máquinas

C-61

7.5 Condiciones Geotécnicas del Alineamiento de los Túneles

C-63

7.5.1 Alternativas A y B del Túnel de Aducción del Río Guarínó

C-63

7.5.2 Desviación del Río La Miel

C-69

7.5.3 Túnel de Carga, Ventana de Construcción y Túnel de Fuga

C-70

7.5.4 Túnel de Acceso a Casa de Máquinas

C-73

7.5.5 Almenara y Pozo de Carga

C-73

7.6 Condiciones Geotécnicas en el Area de Embalse

C-74

APENDICE C

FIGURAS

- C-1 Mapa Geológico General
- C-2 Geología de la Zona de Presa
- C-3 Geología de la Galería de Exploración G-1
- C-4 Geología de la Zona de Embalse
- C-5 Geología del Túnel de Carga
- C-6 Mapa Geológico de las Alternativas A y B del Túnel de Aducción del Río Guarinó
- C-7 Cortes Geológicos a lo largo de las Alternativas A y B del Túnel de Aducción del Río Guarinó
- C-8 Columna Litológica de la Zona del Proyecto
- C-9 Perfiles Geomorfológicos
- C-10 Relación de Fallas Menores con la Falla Palestina
- C-11 Corte Tectónico Esquemático Cuchilla San Juan-La Mesa-La Miel
- C-12 Corte Esquemático de Profundidad Estimada de Decompresión de la Roca en el Eje de Presa
- C-13 Mapa Geotécnico de la Zona de Presa
- C-14 Secuencia Histórica del Desarrollo Geológico del Flanco Oriental de la Cordillera Central
- C-15 Mosaico Fotográfico

APENDICE C

GEOLOGIA

1. INTRODUCCION

El estudio geológico en la etapa de factibilidad del Proyecto Miel II cubre un área de unos 140 kilómetros cuadrados aproximadamente, que comprende cuatro sectores:

- Zona de Presa
- Zona de Túnel de Carga, Casa de Máquinas y Túnel de Fuga.
- Zona de Desviación Guarinó, Alternativas A y B.
- Zona de Embalse.

La investigación comprende levantamientos geológicos de superficie en los mencionados sectores, intensificados a lo largo de los alineamientos de los túneles de aducción, carga y fuga, y en el sitio de presa. Igualmente se llevó a cabo una evaluación areal de las condiciones del subsuelo por medio de doce perforaciones con una longitud total perforada de 1.235 m y de una galería de exploración en el estribo derecho del sitio de presa de 40 m de longitud. Se incluyen además los factores geotécnicos pertinentes que influyen en la determinación de parámetros de diseño para las diferentes estructuras.

2. INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

2.1 Estudios Previos Generales

El primer estudio geológico regional que comprendió el área Proyecto Miel lo hizo Tulio Ospina en 1911, Posteriormente, Gerardo Botero (1941) la investigó, analizando la geología de Antioquia. Geólogos del Instituto Geológico Nacional (s.f.), Cardona y Suescún (1947),

Suescún y Taborda (1949), etc. hicieron levantamientos que incluyen el área de interés y sus resultados los consignaron en varios informes y monografías. Ingeominas (Barrero y Vesga, 1976) publicó un mapa geológico a escala 1:100.000 que cubre el área en referencia. La literatura reciente (Barrero, et al, 1969; Hall, et al, 1970; Irving, 1971; López, 1971; Feininger, et al, 1972; Kassem y Arango, 1974; Barrero y Vesga, 1976) incluye las investigaciones adelantadas por el Inventario Minero Nacional (IMN) - hoy Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (Ingeominas).

En el II Congreso Colombiano de Geología se presentaron los resultados más recientes (Jaramillo, 1978; Restrepo, et al, 1978; Vesga y Barrero, 1978) de la investigación geológica regional de la Cordillera Central, los cuales tratan principalmente de la datación radiométrica de las rocas del complejo metamórfico y de los cuerpos ígneos que lo intruyen.

2.2. Estudios Geológicos Específicos

Los estudios geológicos realizados para el Desarrollo Hidroeléctrico del Río La Miel pueden dividirse en tres grupos:

1. Barrero et al (1969), Falconnier (1968), Dal Vesco (1970), Benzinger (1976a) y Goodman (1978a) realizaron estudios para el Proyecto Miel I, cuyos resultados son en parte aplicables para el presente proyecto debido a la similitud de las rocas existentes y que están dirigidos al desarrollo de la misma hoya hidrográfica.
2. Durante la Etapa A, Estudios de Pre-Factibilidad, se llevaron a cabo reconocimientos de campo de las áreas cubiertas por ocho alternativas de proyecto para hacer una evaluación preliminar de las condiciones geotécnicas predominantes en cada área. Para la Etapa B, el Consorcio Río La Miel efectuó una investigación geológica y geotécnica en la zona de las obras de los Proyectos Miel I, Miel II y Guarinó. Los resultados de estas investigaciones, complementados con los de fotointerpretación geológica y cotejados con la literatura disponible, fueron base de los Informes de Geología 1 a 39 (Consorcio Río La Miel, 1976-1979) del Apéndice de Geología del Informe de Pre-Factibilidad (Consorcio Río La Miel, 1977) del Apéndice C del Volumen III del Informe de Factibilidad Técnica del Proyecto Miel I (Consorcio Río La Miel, 1979) y del presente informe.

3. Benzinger (1976b), Lozano (1978) y Goodman (1978b, 1979 a y 1979b) realizaron estudios específicamente para el Proyecto Miel II.

2.3

Método de Trabajo

Con base en estudios anteriores, visitas a los sitios de las obras y control fotogeológico, se elaboraron mapas e informes de cada uno de los proyectos en estudio durante la Etapa A de reconocimiento (Consortio Río La Miel, 1977).

En esta etapa de Pre-Factibilidad se concretaron y recomendaron los proyectos Miel I y Miel II como los más factibles y atractivos económicamente. En la presente etapa, paralelamente a los estudios de factibilidad del Proyecto Miel I (Consortio Río La Miel, 1979), se es cogió un corredor de aproximadamente 35 Km de largo comprendido entre la confluencia de los ríos Guarinó y Santo Domingo, confluencia de los ríos La Miel y Pensilvania, confluencia del río La Miel y la quebrada Tasajos, delimitando así un área de 140 Km² aproximadamente. Se localizaron allí los sectores que expusieran la mayor can tidad de afloramientos tales como carreteras, caminos, quebradas, ríos, etc. y durante varios meses se efectuaron levantamientos geoló gicos tanto a cinta y brújula como por localización directa. Durante este período se recogieron muestras que fueron analizadas macroscó picamente y de algunas de las cuales se elaboraron secciones delga das para análisis petrográfico.

Durante el trabajo anteriormente descrito y su procesamiento posterior se elaboraron informes de progreso (Consortio Río La Miel, 1976-1979) con el objeto de que sus resultados pudieran ser utiliza dos, así fuera parcialmente. La información geológica, compilada sobre bases topográficas, fué complementada por una breve verifica ción fotogeológica.

La evaluación, corrección y ordenamiento de todos los datos obteni dos en la investigación de campo, laboratorio y oficina ha sido resu mida en el presente Apéndice, dando énfasis a su aplicación geotéc nica para las diversas obras del proyecto.

La consultoría geológico-geomecánica durante esta etapa estuvo a cargo del doctor Richard E. Goodman, Profesor de la Universidad de Berkeley, California, (1978b, 1979a y 1979b).

3. GEOLOGIA REGIONAL

3.1 Introducción

La emergencia del Complejo Metamórfico originado por el proceso de levantamiento de la Cordillera Central y la erosión reciente, extensa y acelerada de los estratos litificados del Terciario son el marco de la geología regional de la parte más oriental de tal cordillera, en la zona de transición con el valle del río Magdalena (ver Figura C-1).

El Complejo Metamórfico presenta rocas con facies de metamorfismo moderado a alto, frecuentemente intruídas por cuerpos plutónicos tales como el complejo ígneo de Samaná-La Miel-Mariquita y el batolito de El Hatillo- La Bella-El Silencio, que a manera de cadena de apófisis son la posible manifestación de uno o varios cuerpos magmáticos relativamente cercanos a la superficie. Tanto los cuerpos metamórficos como los ígneos tienen ejes de desarrollo longitudinal de dirección sur-norte o suroeste-noroeste. En el área del Proyecto las estructuras que conforman las rocas metamórficas presentan características muy marcadas: al occidente y centro del área los pliegues estructurales son amplios; hacia el oriente las estructuras son más comprimidas.

En la roca metamórfica se observan plegamientos y replegamientos, los primeros originados por las fases orogénicas que así han marcado su impronta en este zócalo cordillerano y los segundos por metamorfismo regional, dinámico y térmico.

La presencia de fallas normales que afectan las rocas ígneas y metamórficas y los depósitos cuaternarios no consolidados revela movimientos de asentamiento, característicos de la etapa distensiva de la emergencia de la cordillera, es indicio que el área ha sufrido actividad tectónica hasta el Reciente.

La mayor parte del área se presenta cubierta por depósitos cuaternarios de diversos tipos.

3.2 Geomorfología Regional

El rasgo geomorfológico dominante de la parte baja del flanco oriental de la Cordillera Central es la excavación rápida de los cañones de los ríos, resultado de uno o más levantamientos orogénicos re-

cientes que han modificado el nivel base general de la región. El paisaje morfológico muestra un rejuvenecimiento como resultado del trabajo que afecta las rocas metamórficas que conformaron una gran penellanura, hoy nuevamente expuesta por la denudación de los estratos Terciarios.

La superficie del peneplano va adquiriendo una pendiente más acentuada en dirección al oeste, hacia la parte más alta de la Cordillera Central, y los cauces que la drenan se angostan y encañonan, formando numerosos rápidos y cascadas. En la región estudiada, el valle del río La Miel y sus afluentes han excavado cañones angostos y profundos que se amplían en los sectores que cruzan cuerpos ígneos intrusivos.

La topografía de la región tiene, pues, dos aspectos muy contrastados entre sí:

- Sectores planos rematados por colinas de contornos redondeados.
- Valles fluviales angostos y de laderas muy pendientes.

Los ríos principales forman con sus afluentes una red dendrítica a subangular de densidad media regida por la esquistosidad, fracturas y preferencia de la cristalización de las rocas ígneas. Dicha red de drenaje da a toda la región un alta escorrentía, lo cual, asociado a la alta precipitación pluviométrica produce una erosión selectiva de gran velocidad. En general el nacimiento de las principales corrientes se encuentra en la parte alta de la Cordillera Central, a la cota 4000 metros y en un trayecto relativamente corto, de unos 50 Km, se encuentran las planicies del río Magdalena (nivel base) a la cota 180 metros sobre el nivel del mar.

Un rasgo morfológico anómalo es el valle aluvial del río Guarinó en las cercanías de su captación, donde presenta indicios de temprana madurez (valle amplio, formación de aluviones y terrazas, corriente trenzada, etc.) mientras que aguas abajo cambia de dirección y recupera su estado juvenil (valle angosto y profundo).

3.3 Litología

Desde un punto de vista regional, el área cubierta por el Mapa Geológico General (ver Figura C-1) está dividida en dos grandes regio

nes: el flanco oriental de la Cordillera Central compuesto por un complejo de rocas ígneas metamórficas y sedimentarias de edad Paleozóica a Terciaria, cubierto en parte por sedimentos cuaternarios delgados y el valle del río Magdalena, que consiste de gruesos sedimentos terciarios y cuaternarios. Las dos regiones están separadas entre sí por las Fallas Jetudo y Mulato al norte y su extensión cubierta hacia el sur.

Rocas de edad Paleozoica con metamorfismo regional-posteriormente afectadas por metamorfismo dinámico y térmico- han sido divididas en rocas metamórficas no diferenciadas de muy bajo grado (Unidad bsd); mármol y rocas con silicato de calcio (Unidad m); cuarcita y cuarcita biotítica-feldespática, con transiciones locales a esquisto y neis cuarzo-feldespático (Unidad nq); esquistos verdes (ev); filitas, cuarzo-filitas grafitosas y esquistos alumínicos (Unidad es); anfibolitas y esquistos anfibolíticos (unidad ea); y esquistos micáceos y neis cuarzo-feldespático (Unidad nf).

En el Paleozoico se presentan migmatitas y anfibolitas (Unidades in, a) que son rocas orientadas, inequigranulares, de grano grueso y composición cuarzo-diorítica a cuarzo-monzonítica; la fracción metamórfica consta de anfibolita, esquistos, neis cuarzofeldespático y neis con silicatos de calcio.

Durante el Cretáceo aparecen rocas ígneas intrusivas y sedimentarias. Las intrusivas han sido divididas tanto por su composición como por localidad en: complejo ígneo de Samaná (Unidad Kds), el cual es un cuerpo de composición muy variable, predominantemente diorítico, que incluye alaskita, cuarzo-diorita y grabo hornbléndico-piroxénico; intrusivos de Mariquita (Unidad Kgdm), principalmente granodiorita biotítica con variaciones locales a diorita, cuarzodiorita y cuarzomonzonita; alaskita de Samaná (Unidad Kas); Cuarzomonzonita de Aquitania (Unidad cma); Batolito de Sonsón (Unidad Ktcds), y los intrusivos cuarzodioríticos de Norcasia (Unidad Kcdn) y La Miel (Unidad Kcdm). El intrusivo de La Miel presenta una amplia aureola de contacto (Unidad ehm), esquisto hornfésico gris oscuro por metamorfismo térmico sobreimpuesto al metamorfismo regional.

Las rocas sedimentarias cretáceas que afloran en el área han sido clasificadas como Horizonte Fosilífero de Berlín (Unidad Kib), consistente de lutitas negras, arcillolitas, limolitas - a veces fosilíferas - y lentes de conglomerado; Formación Hondita (Unidad Ksh), que contiene calizas con fragmentos de cuarzo e intercalaciones de lutitas y margas; Nivel de Lutitas y Areniscas (Unidad Ksla), que

son lutitas de color gris oscuro con intercalaciones de areniscas y margas; Formación Cimarrona (Unidad Ksc), consistente de conglomerados, lutitas y limolitas con intercalaciones de areniscas; y Formación Seca (Unidad Kts) con lutitas rojas e intercalaciones de areniscas.

Durante el Terciario, los siguientes intrusivos se presentan en el área: Intrusivos cuarzodioríticos que se han dividido en intrusivos de El Hatillo (Unidad Tcdh), Stock de La Bella (Unidad Tcdb) e intrusivos de Florencia (Unidad Tcdf) y El Silencio (Unidad Tcdsi); Dique Pegmatítico (Unidad Tdp); Pórfido Dacítico (Unidad Td); y Rocas Hipobasales Porfiríticas, predominantemente andesita hornbléndica, divididas en Pórfido de Puente Linda (Unidad Tadp), Pórfido de El Morro (Unidad Tadm), Pórfido de Guadalupe (Unidad Tadg) y Pórfido Andesítico Hornbléndico (Unidad Tad).

Como rocas metamórficas del Terciario se presentan las aureolas de contacto (esquisto hornfelsico de gris-verdoso oscuro a gris-azulado, masivo, de fracturación concoide) del Stock de La Bella, (Unidad ehb) y del Intrusivo de El Silencio (Unidad ehsi).

Los sedimentos terciarios presentes en el área son la formación Hoyón (Unidad Tih), constituida por conglomerados - con cantos de cuarzo, rocas ígneas y metamórficas - lutitas violetas, gravas y areniscas; el Grupo Honda (Unidad Tsh), formado por lutitas rojas con intercalaciones de areniscas, arenas y gravas; y la Formación Mesa (Unidad Tsm) que es una alternancia de lutitas rojas, arenas tobáceas y gravas; también se muestran sedimentos terciarios no diferenciados (Unidad T) compuestos de areniscas, conglomerados y lutitas en la parte del valle del río Magdalena.

Los sedimentos cuaternarios han sido divididos en terrazas aluviales (Unidad Qt) compuestas principalmente de arenas y gravas; Depósitos Piroclásticos Aglomeráticos (Unidad Qag) compuestos por fragmentos redondeados y angulares de roca ígnea y metamórfica en matriz tobácea; Depósitos Piroclásticos Tobáceos y Glaciofluviales (Unidad Qto) constituidos por tobas amarillas con cenizas, lapilli y bombas volcánicas de depositación predominantemente eólica y localmente con flujos de lodo y delgadas capas de tefritas; Derrubios de Pendiente (Unidad Qdp) y Aluviones Recientes (Unidad Qal).

3.4

Metamorfismo

Por la variedad de las rocas metamórficas aflorantes en el flanco

oriental de la Cordillera Central se pueden identificar procesos de metamorfismo de bajo y alto grado de tipo regional, térmico y cataclástico (temperaturas entre 450° y 1000°K y presiones entre 1 y 10 Kbars). Los procesos de metamorfismo en la Cordillera Central afectaron las rocas sedimentarias paleozoicas a fines de esa era, transformándolas inicialmente en paraesquistos y paraneises. Posteriormente, las intrusiones plutónicas y la actividad tectónica produjeron metamorfismo térmico y cataclástico en los paraesquistos y paraneises, los cuales dieron origen a cuerpos de roca metamórfica de alto grado. Su distribución regional define sectores isotérmicos e isobáricos en donde predominan ciertos tipos de roca y mineralizaciones típicas asociadas.

El metamorfismo regional de bajo grado pertenece a la facies de esquisto verde (esquistos clorítico-actinolíticos y clorítico-grafitosos) que conforman la mayor parte de la misma. El metamorfismo regional de alto grado, con metamorfismo térmico sobreimpuesto, ha producido migmatitas, anfibolitas y neises. El metamorfismo térmico presenta carácter local en las aureolas de contacto de los intrusivos, diques, etc. El metamorfismo dinámico está bastante bien representado en la región y cubre zonas considerables, ante todo en la zona de Falla de Palestina y fallas satélites: forman zonas de filonita, milonita cataclástica y brechas; en las unidades menos metamorfizadas crea planos secundarios de esquistosidad y clivaje.

El nivel de conocimiento sobre el metamorfismo de la Cordillera Central, sin embargo, es apenas incipiente. El estudio petrográfico sugiere que después del metamorfismo regional pueden existir, independientemente, metamorfismo térmico o dinámico sobreimpuesto; sin embargo, algunas muestras presentan efecto dinámico anterior al térmico y viceversa, lo cual puede implicar una o varias repeticiones de estos tipos de metamorfismo. La posibilidad de que los plutones hayan sido intruídos en diversas edades confirma esta suposición. El metamorfismo térmico es más intenso al lado Oeste que al lado Este del Stock de Norcasia, aunque en el lado Oriental, coincidentalmente se observan minerales de alto grado. Algunos neises y esquistos observados son de inyección, pues el cuarzo de las bandas no está mezclado con ningún material.

3.5

Estructuras Principales de la Región

La estructura de la región es muy compleja. En términos genera-

les, sin embargo, está controlada por tres sistemas de falla de dirección general norte-sur: (a) el que partiendo de las fallas Mulato y Jetudo al norte del área se extiende por debajo de los sedimentos terciarios y cuaternarios hacia el sur, pasando por la población de Mariquita y que divide el valle del río Magdalena de las estribaciones orientales de la Cordillera Central; (b) la falla Palestina, que partiendo del río Guarinó al sur pasa por las inmediaciones de la población de Marquetalia y cruza el río Samaná Sur al norte del área, y (c) el grupo de fallas que partiendo de las cercanías de la población de Pensilvania sigue hacia el norte por las cercanías del río Hondo.

La foliación deja entrever que existen estructuras intensamente plegadas en la parte central de la zona, con plegamientos más suaves al occidente (W de la falla Palestina) y oriente (E de las Migmatitas de La Quebra).

3.6 Aspectos de la Historia Geológica de la Cordillera Central

La reconstrucción geohistórica de los eventos más importantes en la formación de la Cordillera Central (véase Figura C-14), se describe a continuación.

Durante los períodos Cámbrico y Ordovícico la región estuvo cubierta por un mar profundo, en el cual se depositaron sedimentos de tipo pelítico en los miogeosinclinal y eugeosinclinal más occidentales de Sur América. A fines del período Ordovícico ocurrió un levantamiento cordillerano que corresponde a la Orogenia Caledoniana, que convirtió la región en zona de erosión a lo largo del Ordovícico Tardío y del Silúrico.

En el período Devónico se inició una transgresión marina que se prolongó hasta el Pérmico Temprano y cubrió las actuales regiones de la Cordillera Central y el Valle del Magdalena. Los sedimentos del Paleozoico Superior (arcilla carbonácea, grauvaca, arenisca y horizontes de caliza) que yacen en discordancia angular sobre las rocas cambro-ordovícicas, indican que su depositación se llevó a cabo en un ambiente miogeosinclinal afectado por perturbaciones tectónicas de carácter local.

Durante el Pérmico Tardío y posiblemente parte del Triásico Temprano, la región fué afectada por la orogenia Hercínica, que parece

haber sido la más intensa que se conozca en las rocas fanerozoicas de Colombia, y que originó por primera vez un gran levantamiento de la Cordillera Central, acompañado por intenso plegamiento y dislocaciones tectónicas en sentido norte-sur, e intrusiones ígneas y metamorfismo regional de alto a bajo grado de las rocas paleozoicas (formación de filita, esquisto verde, esquisto cuarcítico, mármol, cuarcita y anfibolita) que afloran en la región estudiada.

La formación de las migmatitas de La Quebra está probablemente asociada con la orogenia Hercínica. Durante este proceso la migmatización se pudo producir por metamorfismo térmico y regional sobre rocas ya metamorfizadas.

Sin embargo, no se descarta la posibilidad que la roca migmatizada sea la unidad metamórfica más antigua que aflora en la región y que su origen esté asociado con la orogenia Transamazónica (Pre-Cámbrico).

La orogenia Alpina, hacia el Cretáceo Medio, levanta la Cordillera Central y ocurre entonces la erosión de los sedimentos triásicos, jurásicos y cretáceos inferiores. Esta orogenia fué acompañada por un activo magmatismo plutónico y volcánico.

Durante el Cretáceo Medio la Cordillera Central emergió moderadamente, excepto durante el Albiano y Aptiano, cuando su parte central la invadió un mar poco profundo que unió el Pacífico con el mar del Miogeosinclinal de Bogotá.

En el Cretáceo Tardío culmina la orogenia Alpina, que empezó con plegamiento y metamorfismo de contacto de bajo grado, de las rocas sedimentarias y volcánicas cretáceas, y que culminó con la intrusión de los Batolitos de Antioquia y Sonsón, cuyo emplazamiento fué acompañado con la intrusión de plutones satélites (Stock de Norcasia, Intrusivo de La Miel, Complejo Igneo de Samaná, etc.) a todo lo largo del flanco oriental de la Cordillera Central y su zócalo se convirtió en cuenca de deposición de sedimentos molásicos continentales del Terciario, que yacen en discordancia angular y que fueron aportados por la Cordillera Central principalmente.

Esta cuenca de depositación existió durante el Paleoceno y Eoceno Temprano bajo condiciones tectónicas relativamente tranquilas.

Hacia el Eoceno Medio una perturbación orogénica regional afectó la

Cordillera Central, la cual metamorfizó levemente los sedimentos cretáceos, produjo hiatos estratigráficos locales en el Terciario Inferior y elevó considerablemente la altura de la Cordillera.

La sedimentación continental continuó durante el Oligoceno, al final del cual comenzó un solevantamiento en la Cordillera Central y se inició la formación del graben del Magdalena, fenómenos estos probablemente asociados con la emergencia de la Cordillera Oriental e iniciación de la orogenia Andina. Este levantamiento produce discordancias estratigráficas dentro de los pisos del Terciario.

La baja gradación de los sedimentos Terciarios sugiere que la orogenia Andina produjo movimientos verticales intermitentes de signo positivo y negativo, en la Cordillera Central. La culminación de este evento hacia finales del Mioceno, se identifica con un pequeño hiato estratigráfico.

Como consecuencia del levantamiento orogénico Andino, la extensa cuenca Terciaria se dividió en cuencas intramontañosas que existen hasta la actualidad.

A finales del Terciario, la Cordillera Central sufrió un levantamiento epirogénico asociado con volcanismo, cuya actividad ha continuado hasta época reciente que originó en el Pleistoceno una glaciación en las cumbres de la Cordillera Central, un rejuvenecimiento de los cauces de los ríos y paralelamente un aumento en la velocidad de erosión de los taludes y cauces de los mismos.

Durante el Cuaternario, en general, hay una atenuación de los fenómenos sísmico -tectónicos, una profundización de la zona de meteorización y un incremento de la erosión, transporte de detritos deluviales y formación de conos y terrazas aluviales en los valles de los grandes ríos.

3.7 Minería

Las principales manifestaciones minerales presentes en la región estudiada que describe la bibliografía existente (Geocolombia, 1969; Barreiro y Vesga 1976; Cardona, et al, 1947; López, 1971; Quintero, 1958; Radelli, 1962, 1969a; Restrepo, 1937) y los trabajos de campo realizados en la presente etapa (Consorcio Río La Miel, Informes de Geología 1 a 39, 1976-1979) dan una visión general sobre las posibilidades mine

ras de la región (ver Cuadros adjuntos) y del área del proyecto.

MANIFESTACIONES MINERALES EN LOS MUNICIPIOS DE MANZANARES, MARQUETALIA, PENSILVANIA, SAMANA Y VICTORIA, DEPARTAMENTO DE CALDAS		Manzanas	Marquetalia	Pensilvania	Samaná	Victoria
Metales Preciosos y Sulfuros	Oro	o	o	o	o	o
	Plata		o	o	o	
	Sulfuros	o		o	o	
Metales no Ferrosos	Cobre		o		o	
	Plomo	o	o	o	o	o
	Zinc		o	o	o	o
Metales Férricos	Manganeso	o	o	o		
	Molibdeno		o	o		
	Tungsteno	o				
Metales Secundarios y no Metales Relacionados	Antimonio		o	o	o	o
	Arsénico				o	
	Uranio					o
Materiales Cerámicos	Bentonita					o
	Caolín				o	
	Diatomita					o
	Talco	o				
Materiales para Construcción	Arenas y gravas			o	o	o
	Asfalto				o	o
	Caliza				o	o
	Diatomita					o
	Mármol				o	o
Materiales Metalúrgicos, Refractarios y otros Industriales	Caliza				o	o
	Talco	o				

En el área del proyecto las principales mineralizaciones son las de la Española (Au, Ag), La Diamantina (Pb, Zn, Ag); La Gallina (Pb, Ag, Au); Barreto (Au, Pb) y quebrada La Mina (Au). Las manifestaciones minerales de Tibacuí, El Vergel y La María se localizan en zonas de contacto o directamente en la cuarzodiorita biotítica de La Bella; La Diamantina y Barreto en diques micrograníticos, dacíticos y/o zona de influencia de la Falla de Palestina, lo mismo que la mayoría de las mineralizaciones del área de Guarínó (Pavas, San

Juan, La Española, La Reina, La Culebrera y otras).

La mineralización de la quebrada La Mina (Vereda California Alta) está localizada en diques de composición intermedia, posiblemente relacionados con el complejo Igneo de Samaná donde se hacen presentes mineralizaciones de Au y Ag (Rancholargo, La Gallina, y otras).

La mineralización de La Bella (margen derecha de la Quebrada Funciles) se encuentra no lejos del Sitio de Presa, por el estribo derecho de la obra, posiblemente en diques de composición cuarzodiorítica y no será afectada por la misma; no así las que serán interceptadas por los túneles de desviación (La Española, en el Túnel de Guarinó, Alternativa B; La Diamantina, en el Túnel de Guarinó, Alternativa A) y de carga (Quebrada La Mina). Las demás manifestaciones se localizan fuera del área de las obras y de la zona de embalse.

PRINCIPALES MANIFESTACIONES MINERALES
EN EL AREA DE LOS PROYECTOS GUARINO Y MIEL II

Cuenca Río	Proyecto	Nombre de la Mina	Minerales	Explotada	Abandonada	Prospección y/o Minera- lización	Obras Proyectadas			Fuera de la Zona de las Obras Pro- yectadas
							Em- balse	Pre- sa	Túnel	
RIO LA MIEL	Miel II	La Gruta	Au, Ag			x				x
		La Manuelita	Pirita			x				x
		El Chorrillo	Pirita		x					x
		Mandalay	Au, Ag		x					x
		Barreto	Au, Ag			x				x
		La Diamantina	Pb, Zn, Ag		x				x	
		La Bella	Pb, Ag, Au		x			x		
		Tibacuí	Pirita			x				x
		El Vergel	Au, Ag			x				x
		La María	Ag, Pb			x				x
		La Gallina	Pb, Ag, Au			x				x
		Rancholargo	Au, Ag			x				x
		Q. La Mina de Calif. Alta	Au		x					x
		La Carmelita	Pirita			x				x
		Guacas	Au			x				x

Cuenca Río	Proyecto	Nombre de la Mina	Minerales	Explotada	Abandonada	Prospección y/o Minera- lización	Obras Proyectadas			Fuera de la Zona de Obras Pro- yectadas
							Em- balse	Pre- sa	Túnel	
GUARINO	Desviación A y B	La Pedrera	Au, Ag			x				x
		Pavas	Au		x				x	
		San Juan	Caolín			x				x
		La Reina	As, Au, Ag			x				x
		La Culebrera	Au			x				x
		Guayabal	Ag			x				x
		La Ermita	Cu, Mo			x				x
		La Mesa	Au, Ag, Pb			x				x
		La Española	Au, Ag			x			x	
		Diamantina	Pb, Zn, Ag		x				x	
		San Antonio	Au, Ag		x					x
		La Amoladora	Pirita			x				x
		Sebastopol 1	As, Au, Ag		x					x
		Sebastopol 2	Sn, Fe		x					x
		Las Palomas	Ag, As			x				x
		El Centro	Au, Pirita		x					x
		La Esperanza	Au		x					x
San Cayetano	Au, Ag		x					x		
El Rubí	Au, Ag, Pb		x					x		

4.

GEOLOGIA DEL AREA DEL PROYECTO

La zona del proyecto está ubicada en el área de las hoyas hidrográficas de los ríos Guarinó-Santo Domingo, La Miel-Tenerife - Pensilvania, y La Miel-Tasajos (ver Figura C-1). Es en general un triángulo cuyos vértices son: 1'065.000N y 885.000E, 1.085.000N y 890.000E, y 1'090.000N y 910.000E, en la vertiente oriental de la Cordillera Central.

Se desarrolló allí un programa de levantamiento a cinta y brújula y localización directa en el campo, a lo largo de un corredor de 32 kilómetros de largo, cubriendo así un área de unos 140 kilómetros cuadrados. La investigación del subsuelo se llevó a cabo con una galería de exploración (40 metros de longitud) en el estribo derecho del sitio de presa y 12 perforaciones con un total de 1235 metros, a lo largo del alineamiento de túneles y sitio de presa. Las observaciones de campo fueron complementadas con el análisis macro y micropetrográfico de muestras tomadas tanto en superficie como de los corazones de perforación. El análisis macropetrográfico permitió identificar las principales unidades de rocas aflorantes según sus condiciones físicas y geotécnicas. Con los análisis micropetrográficos se definieron tipos de roca y las características de su metamorfismo. En la zona de embalse se hizo especial énfasis en el estudio de las condiciones de estabilidad en las laderas de los ríos y quebradas que serán afectados (La Miel, Saínos, Tenerife y Pensilvania).

El área del proyecto está conformada por rocas metamórficas de edad Paleozoica intruídas por plutones y diques de tipo ácido a intermedio. La Falla Palestina y sus fallas satélites son los elementos estructurales y tectónicos más relevantes.

A pesar del grado de metamorfismo que presenta este sector de la Cordillera Central, las formaciones rocosas muestran una secuencia sedimentaria metamorfoseada. Se identificaron en la región una cantidad de unidades litológicas considerablemente mayor que la que se muestra en el presente informe. Pero como la mayor parte de las unidades no se pueden diferenciar desde el punto de vista geotécnico, se ha preferido agruparlas en un menor número de unidades, que tengan similitud de características geotécnicas. Aunque en sentido riguroso las estructuras metamórficas no corresponden a sus equivalentes estructurales sedimentarios, los estudios de campo permiten identificarlas, pues prevalece

ce una foliación primaria en toda la región.

4.1 Geomorfología

La zona objeto de estudio drena el valle del río Magdalena. En la parte montañosa los ríos son jóvenes y han erodado valles estrechos y profundos, presentando ocasionalmente sectores moderadamente planos con valles de madurez temprana (e.g. río Guarinó, Figuras C-6 y C-15, y quebrada Santa Rita, Figuras C-5 y C-15) donde se observan valles fluviales moderadamente amplios con cauces meándricos y depositación de aluviones, lo cual es un rasgo morfológico anómalo en el área. Los valles sinuosos y abruptos, con cauces encañonados hacia las partes bajas, son el resultado de la erosión producida por el levantamiento causado por la orogénesis andina.

La geomorfología del área del proyecto, para propósitos del presente informe, se ha dividido en: geomorfología del sitio de presa y geomorfología del alineamiento de los túneles de aducción y carga.

4.1.1 Geomorfología del Sitio de Presa

Para el estudio de la geomorfología del sitio de presa se han seleccionado dos perfiles: uno a lo largo del cauce del río La Miel y el otro por el eje de presa (ver Figura C-9). El río La Miel en el sitio de presa, (ver Figura C-15) cruza perpendicularmente la foliación y estructuras de las rocas aflorantes; el eje de presa está situado paralelo a ellas. En el área, el río La Miel desciende unos 100 metros en un trayecto de aproximadamente 2200 metros, lo cual da un gradiente promedio de 4,50%, con fluctuaciones en ocho (8) sectores entre 2,50% y 6,03%. En los tres primeros sectores se aprecia una clara influencia de la composición litológica y estructural; el paso entre diferentes unidades se realiza en forma brusca creando cascadas y rápidos frecuentes: de una pendiente de 2,50% en esquisto verde se pasa a 6,03% en esquisto gris a 5,57% en una combinación de ambas rocas. En el sector 4 (2,63% de gradiente), se manifiesta un cambio de pendiente de brusco a moderado, no coincidiendo con el comportamiento geomorfológico del río al cruzar esquistos grises; ésto puede deberse a que el esquisto hornfésico (sector 5), de mayor consistencia, ha actuado

como un dique que represa la erosión del esquisto grafítico. Los sectores 5 y 6 corresponden a la zona de contacto de roca metamórfica e ígnea. Allí el gradiente es moderado (entre 3,51% y 4,57%). El cauce del río está labrado en esquistos verde, gris y hornofélsico (de bastante néisicos a migmatíticos) y cuarzodiorita biotítica; el conjunto es en general resistente a la erosión. No se debe descartar, sin embargo, la posibilidad de que el curso del río en los sectores 3, 4, 5 y 6, sea regido en gran parte por la falla de La Miel. Los dos últimos sectores (7 y 8) del trayecto están afectados sensiblemente por una zona de silicificación (diques de cuarzo). La pendiente llega a 5,92% en ese lugar, para luego pasar a 3,22% en la parte central del Stock de La Bella.

El perfil a lo largo del eje de presa presenta pendientes suaves y onduladas en los sectores 1, 2 y 5 y un cañón con laderas fuertemente empinadas, entre 50° y 75° en los sectores 3 y 4. El estribo izquierdo se localiza en una cuchilla angosta (Cuchilla La Divisa, Figura C-2), con laderas de 35° y 50° de pendiente, al occidente y oriente respectivamente; el estribo derecho, con pendiente regular de 50° al Norte (sector 4), se fundamenta en una mole maciza, correspondiente a las estribaciones norte y noroeste del cerro Morrogacho (ver Figura C-2). Las irregularidades morfológicas que caracterizan el sector 3 pueden estar asociadas al buzamiento de la esquistosidad, a diaclasas y a las características litológicas. En la parte central del cañón del río La Miel, las laderas son paraverticales, con pendientes entre 70° y 75°, lo cual posiblemente está ligado a un rejuvenecimiento ocasionado por actividad epirogénica reciente.

4.1.2 Geomorfología del Alineamiento de los Túneles

Comprende el trayecto de los túneles de aducción del río Guarinó (Alternativas A y B) y el de carga (túneles de carga, casa de máquinas y túnel de fuga).

Los perfiles geomorfológicos de los alineamientos de las Alternativas A y B de aducción del río Guarinó muestran aspectos muy contrastados, reflejo de la litología y tectónica que afecta cada uno de los sectores. La topografía es en general abrupta y con variaciones en elevación que oscilan entre 1100 y 1700 metros sobre el nivel del mar (ver Figura C-9).

En primer término, en el Perfil Geomorfológico de la Alternativa A se reconocen seis sectores (ver Figura C-9). El sector 1, en dirección aproximada sur-norte, de un kilómetro de longitud, comprende alturas entre 1100 y 1300 metros, con pendientes suaves y regulares, producto de la erosión del esquisto gris; la diferencia de nivel entre los ríos Guarinó y Santo Domingo se debe posiblemente a la influencia de la zona de fracturación que genera la falla Palestina. El sector corresponde a la divisoria de aguas entre los ríos Guarinó y Santo Domingo. El sector 2, de 1,7 km de longitud presenta una pendiente ascendente donde los conjuntos de roca metamórfica, dispuestos en un mismo sentido, han resistido a la meteorización en forma similar. El sector 3 tiene cerca de 1,2 km de longitud y está constituido por dos de las unidades más duras del área - esquisto verde y cuarcita - las cuales crean el mayor resalte topográfico del perfil tratado. El sector 4 (2.4 km) es el valle de la quebrada Santa Bárbara, amplio, simétrico, excavado sobre una sola unidad metamórfica (esquisto verde homogéneo), sin perturbaciones tectónicas de consideración. El sector 5 es el más largo, de unos 6 km, presenta numerosos accidentes topográficos muy contrastados, los cuales son producto de frecuentes cambios litológicos y fallas satélites a la falla Palestina (San Juan, El Silencio, La Esperanza, El Porvenir y El Placer). Por último, el flanco derecho del río La Miel forma el sector 6, de unos dos kilómetros de extensión, con pendiente regular, interrumpida 700 metros antes del río por un valle cuyo origen tectónico es típico por la asimetría de sus vertientes.

El Perfil Geomorfológico de la Alternativa B (ver Figura C-9) tiene un tramo inicial de 0.7 km (sector 1) que conecta los ríos Santo Domingo y Guarinó, cuyo rumbo sureste corta casi perpendicularmente una unidad metamórfica constituida por esquisto gris micáceo, el cual ha sido erodado en forma casi simétrica por ambas corrientes de agua. El río Guarinó ha excavado el fondo de su valle más ampliamente porque allí incide como factor geomorfológico la zona de influencia cataclástica de la falla Palestina. Del río Guarinó hasta el km 9 de la Alternativa B, el alineamiento transcurre por el flanco derecho de ese río, cortando las diferentes unidades metamórficas oblicuamente. El sector 2 cruza desde el cauce del río hasta el km 2 cortando unidades metamórficas afectadas por la zona de influencia de la falla Palestina y por fallas satélites. Este sector está limitado por la falla Palestina y la de San Antonio (ver Figura C-6), comportándose como un bloque conformado por unidades duras tales como esquisto verde y anfibolita, y

hacia la parte central por esquistos grises algo cuarcíticos sin plegamientos. Las elevaciones topográficas coinciden con las rocas más resistentes. Los valles más desarrollados se excavado en las zonas de esquisto grafitico y en la falla de San Antonio. El sector 3 tiene una longitud de 4,5 km, presentando un relieve homogéneo y suave, como expresión morfológica de un tramo compuesto por esquistos grises y un nivel de esquisto verde; conforma una sucesión de plegamientos relativamente amplios con posible ausencia de discontinuidades tectónicas considerables. La falla de San Juan limita, al Norte, este sector. El sector 4 se encuentra comprendido entre la falla de San Juan y la falla El Placer. En la parte media se localiza la angostura del río Guarinó, generada por la presencia de un sinclinal, cuyos flancos están constituídos esencialmente por esquisto verde. Las laderas del cañón del río Guarinó son pendientes estructurales que se dirigen hacia el cauce del mismo. Hacia el Norte la topografía es relativamente ondulada debido a plegamientos locales frecuentes, conformando cauces de quebradas. Para el sector 5 de unos tres kilómetros de longitud, la elevación varía desde 1000 m hasta 1400 metros, mostrando una topografía accidentada ya que corresponde a rocas poco resistentes - esquisto micáceo y esquisto filítico grafitoso - afectadas por replegamiento y fallamiento intensos.

El Perfil Geomorfológico de los Túneles de Carga y Fuga (ver Figura C-9) tiene una longitud total aproximada de 10,2 km. El relieve de la zona oscila entre 450 metros en el cauce del río La Miel, en el portal de salida del túnel de fuga, y 1550 metros sobre el nivel del mar en la cuchilla Sietecuecos. Para su descripción geomorfológica se lo ha dividido en seis sectores de fuerte contraste topográfico. El sector 1, con una extensión cercana a los 600 metros, está comprendido entre el portal de entrada y la cuchilla La Divisa y en general está constituido por una pendiente estructural, con un escarpe en el portal de entrada producido tal vez por un sistema de diaclasamiento o fallamiento.

El sector 2 está situado entre la cuchilla La Divisa y el Alto de Santa Rita; tiene 1.8 km de longitud y corresponde al valle de la quebrada Santa Rita. El flanco occidental, muy escarpado (en el perfil muestra una pendiente aparentemente suave), es el producto del corte de esquistos grafiticos, cuarcíticos y hornfésicos, en el proceso de erosión regresiva del valle de la quebrada San

ta Rita; el flanco oriental es nuevamente una pendiente estructural sobre esquistos hornfésicos, muy resistentes. La parte más baja de este sector corresponde a la zona erodada del Stock de La Bella.

El sector 3, de 1.8 km de longitud, se extiende desde el Alto de Santa Rita a la quebrada El Gato; es una pendiente continua hasta la quebrada Las Animas, conformada por varios pliegues del flanco oriental de un sinclinal asimétrico cuya zona axial está comprendida entre las quebradas Las Animas y El Gato.

En el sector 4, de 1.7 km de extensión, se aprecia una mecánica fisiográfica similar. El sinclinal de California Alta, cuyo eje está situado al oriente de la quebrada La Cristalina, es la estructura principal y su flanco oeste, con varios plegamientos, produce accidentes topográficos de aspecto irregular.

La extensión del sector 5, de unos 2.2 km de longitud, muestra una pendiente poco abrupta en la cual rige como factor modelante el afloramiento casi monótono de esquisto gris, dispuesto en estructuras simétricas. El mayor accidente topográfico de este sector corresponde al valle alto de la quebrada El Pital, erodado a lo largo de un sinclinal estrecho.

La morfología del sector 6, de aproximadamente 2 km de extensión, ha sido afectado por la erosión de varias corrientes principales (quebradas El Pital, Tasajos, La Negra y La Cariaña), y por la posición de las estructuras asimétricas, las cuales descubren una frecuente alternancia de esquisto verde y esquisto gris. El límite entre los sectores 6 y 7 corresponde a un alineamiento de rumbo N15°W, el cual es probablemente la expresión morfológica de una zona de falla; allí los cauces del río y quebradas viran siguiendo la zona de debilidad.

El sector 7, de 1,3 km de longitud, corresponde a la sección final del túnel de fuga y corresponde a la cuchilla La Marciana, divisoria de aguas entre la quebrada Tasajos y el río La Miel. Las pendientes de dicha cuchilla son moderadas. La parte alta de la cuchilla está conformada por esquisto verde masivo y duro.

El sector 8, de aproximadamente un km, se localiza al NW del portal de salida del túnel, y corresponde a la zona de contacto del intrusivo de La Miel. El escarpe mayor es la expresión de

la aureola de contacto (ehm) conformada por esquistos hornféisicos, resistente a la erosión. La cuarzdiorita (Kcdm) que corresponde al valle del río La Miel propiamente dicho, presenta relieve suave por ser más fácilmente erodable.

4.2 Litología del Area del Proyecto

El área tema del presente trabajo, está constituida por rocas metamórficas de edad Paleozóica, rocas ígneas-intrusivas y metamórficas del Cretáceo y Terciario, sedimentarias del terciario y depósitos del Cuaternario (ver figuras C-1, C-2, C-4, C-5, C-6, C-7 y C-8). La zona de interés se encuentra ubicada geológicamente dentro del complejo correspondiente al grupo Ayurá-Montebello, grupo Valdivia o Serie Cajamarca (Irving, 1971).

Para propósitos del presente informe se distinguieron las siguientes unidades litológicas en el área del proyecto: anfibolita (unidad a), esquisto gris (unidad esg), esquisto verde (unidad ev), cuarcita (unidad nq), mármol (unidad m), ígneos intrusivos cuarzdioríticos de Samaná, La Miel, La Bella y El Silencio (unidades Kds, Kcdm, Tcdb y Tcdsi, respectivamente), diques aplíticos, micrograníticos, dioríticos, pórfidos dacíticos, dacíticos y andesíticos (unidades Tda, Tdmg, Tddr, Tdpd, Tdd y Tdan respectivamente), esquisto hornféisico de las aureolas de contacto del Stock de La Bella y el intrusivo de El Silencio (unidades ehb y ehsl), grupo Honda (unidad Tsh), cuaternarios no consolidados (unidades Qag, Qto, Qsr, Qal y Qdp) y cataclastitas de las zonas de posible influencia cataclástica de las fallas Palestina y Saños (ZPICP y ZPICS).

4.2.1 Rocas Metamórficas del Paleozóico

Las rocas metamórficas del Paleozóico que se reconocieron y cartografiaron han sido agrupadas aquí como anfibolita, esquistos gris, verde y cuarcítico, cuarcita y mármol.

Anfibolita (unidad a) Esta unidad se encuentra en el extremo suroeste del área del Proyecto, en el primer sector de la Alternativa B del túnel de desviación del río Guarinó (ver Figuras C-6 y C-7). La unidad (posiblemente Pre-Cámbrica), ha sido cortada al

occidente por la falla Palestina. Su contacto oriental es posible-
mente discordante con esquistos verdes del Paleozóico. Su espe-
sor en el área de estudio es de aproximadamente 80 metros;
hacia el sur aumenta, tal vez a no menos de 250 metros (Ba-
rrero y Vesga, 1976). Es una roca de tonos claros, con bandas
o cintas de minerales oscuros, equigranular de grano medio,
con avanzado estado de meteorización en el sitio observado. La
coloración clara de esta unidad litológica se debe a la saussiri-
tización de la plagioclasa, la cual es evidente en las secciones
delgadas. Al microscopio se observan cristaloblastos de mica
(muscovita), anfíbol (hornblenda), plagioclasa con maclamiento
combado e intensamente alterada (saussiritizada) y cuarzo en
forma de bahía. Estas observaciones corresponden a una anfibo-
lita con cataclasis débil sobreimpuesta, la cual posiblemente se
puede asociar a la zona de influencia de la falla Palestina. Esta
unidad tiene el mayor grado de metamorfismo regional observado
en el área del proyecto.

Esquisto gris (unidad esg) Es la unidad predominante en toda el
área del proyecto (ver figuras C-1 a C-8). El espesor acumula-
do de esquisto gris puede ser superior a los 2300 metros.

Las perforaciones muestran horizontes de espesores variables
desde muy pequeños (2 a 5 metros) hasta considerablemente ma-
yores. En el estudio de campo se observaron espesores, casi
ininterrumpidos, hasta de 800 metros (ver figuras C-4, C-6 y C-
7). El esquisto gris es una roca generalmente de color gris claro
a negro oscuro, fisible, meteorizable, de dureza baja a media,
laminar en la mayoría de los casos. El análisis microscópico de
los esquistos grises los presenta como compuestos por cantidades
variables de grafito, micas, feldespatos y cuarzo. Como minerale-
les accesorios contienen clorita, calcita y pirita.

La fracturación en esquisto gris es elevada. Los principales sis-
temas de diaclasas se hacen notorios regionalmente en ellos; las
zonas de esfuerzos, como es el caso de las quebradas La Negra
y La Cristalina (ver Figura C-5) les dejan su impronta en forma
de superficies de fricción que dan un bajo índice de calidad a la
roca. Lo mismo sucede en las zonas de falla (ver figuras C-4
y C-6). En las secciones delgadas el esquisto gris manifiesta
microrrepliegues fallados y contorsión de minerales micáceos.
El metamorfismo regional (facies esquisto verde-metamorfismo
de bajo grado), el metamorfismo térmico y dinámico sobreimpues-

tos producen en el esquisto gris, ante todo, refoliación y clivaje, aunque en toda el área del proyecto la foliación primaria es manifiesta, rigiendo las estructuras metamórficas de la región.

Bajo la denominación de "esquisto gris" se han agrupado diversos tipos de roca: esquisto grafítico, esquisto grafitoso-feldespático, esquisto filítico, esquisto micáceo y esquisto cuarcítico-micáceo. La presente agrupación se hizo considerando dos puntos de vista eminentemente prácticos: cartografía y geotecnia, ya que varios de los tipos mencionados se presentan en paquetes muy pequeños pero en su conjunto sus cualidades geotécnicas son semejantes. Presenta variaciones, tanto laterales como verticales, en su composición principalmente por aumento y/o disminución de minerales leucocráticos y micáceos. La mayor o menor fisibilidad se observa en proporción directa al aumento en el contenido de grafito.

El esquisto grafítico es una roca de color gris oscuro a negro, fisibilidad elevada y superficies de exfoliación con lustre mate. El contenido de grafito comprende valores entre 10 y 30%. La proporción de feldespatos (bandas de minerales leucocráticos) se hace mayor en la zona del sitio de presa y embalse, donde por segregación y fluxión adquiere la roca un aspecto de néisico a migmatítico, pudiéndose clasificar como un esquisto grafitoso-feldespático. Las micas presentan orientación paralela, origen de su alta fisibilidad, mientras que el cuarzo es de grano fino, alargado y envuelto en grafito. La meteorización en esquisto grafítico es intensa cuando aflora en partes topográficamente altas, no así en los cauces de quebradas y ríos, donde aparece fresco y duro.

El esquisto filítico se concentra en la parte norte del túnel de desviación de Guarinó (Alternativa A, ver Figura C-6). Su color es gris oscuro, de brillo sedoso, dureza muy baja y fisibilidad muy bien desarrollada. En algunos casos presenta, como las otras variedades de esquisto gris, cambios laterales. En general su composición mineralógica es semejante a la del esquisto grafítico. El tamaño del grano es fino, lo cual origina su "foliación-estratificación" filítica. Al microscopio presenta textura lepidoblástica en finas bandas de cuarzo, grafito y muscovita. Al igual que en los esquistos grafíticos en esta roca se observa meteorización intensa y rápida.

Los esquistos micáceos y cuarcítico-micáceos tienen su mayor zona de desarrollo hacia el oriente del área del proyecto (ver Figura C-5) y en la zona de embalse (ver Figura C-4). Es una roca de color gris claro a oscuro, de dureza media a alta, laminar. A veces contiene bandas desarrolladas de minerales leucocráticos (feldespatos y cuarzo), como es el caso de la margen izquierda del río Tenerife, y las quebradas La Cristalina, La Mina y Tasajos. Por meteorización intensa, los esquistos micáceos y cuarzomicáceos presentan tonalidades rojizo-violáceas por descomposición de minerales ferrosos.

Esquisto verde (unidad ev) Yace en forma de lentes, capas horizontales y conjuntos con variaciones laterales y verticales a esquisto gris, en toda el área del proyecto (ver figuras C-1 a C-8). Se observaron por lo menos 14 horizontes y/o lentes de esquisto verde con espesores variables entre 5 y 180 metros. El espesor acumulado de los esquistos verdes en el área del proyecto es de aproximadamente 750 - 800 metros. En la Figura C-6 no se cartografiaron las intercalaciones de esquisto gris y por lo tanto aparece allí con espesor aparente superior a los 100 metros. Su alternancia con el esquisto gris es bastante regular (ver Figuras C-5 a C-8).

En general, en el área estudiada se localizan tres conjuntos fácilmente diferenciables:

El conjunto inferior, con tres horizontes de esquisto verde cuarzo-feldespático, fuertemente plegados, textura néisica, en alternancia con esquisto gris, también néisico.

El esquisto verde cuarzo-feldespático que aflora en el sitio de presa (ver Figura C-2), al occidente del Stock de la Bella, presenta alternancia de bandas blancas de minerales leucocráticos (cuarzo-feldespato) y verdes. El esquisto verde cuarzo-feldespático se distingue por su muy alta dureza, su color verde, poca fisibilidad y gran resistencia a la meteorización. Sus componentes minerales más importantes son anfíbol, epidota, cuarzo y feldespato. Como minerales accesorios se destacan biotita, titanita y óxidos de hierro. No se debe descartar la posibilidad de que el conjunto inferior, intensamente plegado, sea del Precámbrico y esté infrayaciendo en discordancia al conjunto medio.

El conjunto medio consta de por lo menos 10 horizontes y/o lentes de esquisto verde (esquistos anfibólico-epodóticos típicos: prasinitas), que afloran en el sitio de presa, la zona de embalse y el túnel de carga.

Nelson, 1962, indica que en la zona de Ibagué-Armenia, la meteorización/descomposición de éstos esquistos, produce suelos lateríticos de tono rojo, parduzco a carmelita y anota además que la epidota se altera en agregados de saussurita, situación que fué confirmada por los estudios llevados a cabo en toda el área del proyecto. Su color en estado fresco es verde con variaciones de diversas tonalidades; su dureza es alta, tiene poca fisibilidad y esquistosidad de notoria a regular y nula. Al microscopio presenta anfíbol (variedad actinolita-tremolita), epidota y cuarzo como minerales principales; los accesorios están representados por biotita, calcita, titanita y óxidos de hierro. El esquisto verde se fractura moderadamente y por lo general tiene baja permeabilidad.

El conjunto superior está representado por esquisto verde cuarcítico transicional a cuarcita y aflora en la zona de embalse, túnel de carga y aducción del Guarinó. Fué observado, también, en la parte baja del conjunto medio. La transición de esquisto verde cuarcítico a cuarcita se presenta especialmente en forma lateral. Como los esquistos verdes anteriores, es también de dureza alta, baja fisibilidad y resistente a la meteorización. Su fracturación y meteorización son moderadas.

Cuarcita (unidad nq) Bajo la unidad nq se identifican horizontes, capas y cuerpos lenticulares de cuarcita con variaciones en su composición y textura de cuarcita a esquisto cuarcítico, cuarcita grafitosa y esquisto cuarzo-micáceo. La mayor extensión de cuarcitas está situada al W de la carretera La Quebra-El Porvenir, donde son cortadas transversalmente por la quebrada Saínos (ver Figura C-6 y C-7), que permite reconocer la sección completa. Corresponde a un paquete homogéneo de cuarcitas con espesor aproximado de 250 metros sin intercalaciones importantes. En otras localidades la cuarcita se presenta en forma de cuerpos lenticulares de cierta extensión y espesor: en la zona de embalse (ver Figura C-4) hay dos horizontes importantes de esta unidad, de 50 m y 90 a 200 m respectivamente. En el área de la Alternativa A del túnel de desviación de Guarinó (ver Figura C-6) se presentan

varios niveles de cuarcita con espesores que varían de 40 a 160 m. El nivel de las cercanías de la quebrada Saínos es bastante homogéneo. El nivel al suroeste del área es menos homogéneo que los dos anteriores y varía a esquisto micáceo cuarcítico y a cuarcita grafitosa. Aún macroscópicamente, en general, la cuarcita tiene textura esquistosa por la orientación de las láminas de mica, cuyo contenido oscila entre 10% y 15%. Cuando el cuarzo alcanza más del 90%, dicha textura es difícil de reconocer y se puede confundir con el diaclasamiento (generalmente diaclasas intracapa). El grado de meteorización en esta unidad es muy bajo creando resaltes muy visibles en el terreno.

Mármol (unidad m) En el área de embalse (ver Figura C-4), por la margen izquierda del río Pensilvania, entre las veredas Sebastopol y La Aurora dentro de la zona de influencia cataclásica de la falla Palestina, fueron observados bloques de mármol intercalados entre esquistos muy perturbados y tectonizados. Es posible que existan otros bloques en la zona de falla. Roca de esta unidad no fué observada en ningún otro lugar dentro del área del proyecto.

4.2.2 Rocas Igneas y Metamórficas del Cretáceo

Como rocas cretácicas se consideran el Complejo Igneo de Samaná (unidad Kds), el intrusivo de La Miel (unidad Kcdm) y su aureola de contacto (unidad ehm).

Complejo Igneo de Samaná (unidad Kds) En la vereda California Alta (ver Figura C-1), unos 1200 - 1300 metros al Norte del alineamiento del túnel de carga aflora (generalmente cubierta por depósitos piroclásticos) roca ígnea en avanzado estado de meteorización adquiriendo tonalidades rojizas con nódulos blancos. Se trata de la parte sur del Complejo Igneo de Samaná. Esporádicamente, por el camino que del Municipio de Samaná conduce a California Alta, se observan afloramientos de roca sana, de color gris claro, masiva, muy dura, holocristalina, inequigranular de grano grueso, con intrusiones de diques de composición intermedia. Según Barrero y Vesga (1976), se trata de un cuerpo de composición muy variable, predominantemente diorítico, que incluye alaskita, cuarzodiorita, cuarzomonzonita y gabro hornblén-

dico-piroxénico; de una muestra procedente de la facies gabroide, el análisis radiométrico K/Ar, en hornblenda, dió una edad de 119 ± 10 m.a., la cual lo sitúa dentro del Cretáceo Temprano. El batolito tiene con la roca metamórfica encajante una zona de contacto amplia, brechada y discordante.

Intrusivo de La Miel (unidad Kcdm) y su Aureola de Contacto (unidad ehm) Aparecen inmediatamente al Noreste del portal de salida del túnel de fuga (ver figura C-5). El intrusivo es un cuerpo alargado, cuyo eje mayor se prolonga en dirección general norte-sur. Está compuesto por cuarzodiorita biotítica-hornbléndica con variaciones a granodiorita biotítico-anfibólica y tonalita biotítico-anfibólica. En las zonas de contacto con la roca metamórfica los minerales muestran algo de orientación sin fracturamiento, lo cual, posiblemente, podría deberse a estructura protoclastica (cloritización y sericitización). La aureola de contacto del intrusivo de La Miel es notable en el campo rodeando el cuerpo ígneo y tiene un espesor aproximado de unos 250 - 300 metros. Es una roca gris oscura a negra, dura, masiva de fractura concoide, a veces de brillo sedoso y muy poco fisible, que generalmente presenta poca laminaridad. Para efectos de trabajos de campo se la clasificó con el nombre genérico de hornfelsa. En efecto bajo el microscopio presenta, en su composición, cuarzo, feldespato, micas (biotita y muscovita), granate, silimanita, turmalina y posiblemente andalucita. Generalmente está afectada por metamorfismo térmico sobrepuesto y una fuerte formación de pliegues en la esquistosidad. Esta acción parece ser posterior al metamorfismo térmico y su causa puede estar asociada a inyecciones de cuarzo.

4.2.3 Rocas Igneas, Metamórficas y Sedimentarias del Terciario

Las rocas del Terciario aflorantes en el área del proyecto son esencialmente ígneas intrusivas: stock de La Bella (unidad Tcdb), intrusivo de El Silencio (unidad Tcdsi), y diques de composición ácida a intermedia. Todos estos cuerpos intrusivos están acompañados de aureolas de contacto (unidades ehb, ehsi). En el extremo oriental del proyecto afloran rocas sedimentarias del Terciario (unidad Tsh). El stock de La Bella (unidad Tcdb) es un cuerpo ígneo intrusivo alargado, cuyo eje mayor, de rumbo general Norte-Sur, mide aproximadamente cuatro kilómetros y el menor cerca de dos kilómetros (ver figuras C-1, C-2 y C-5). Sus flancos buzan al este y oeste con inclinación promedia de 45° , con variaciones que oscilan entre 30° y 90° . Sus rasgos morfoló

gicos más notables son su mayor erodabilidad con respecto a las zonas metamórficas y el cambio de curso del río La Miel en la parte central del stock, lo cual, posiblemente, esté asociado a cambios en su composición mineralógica o a rasgos estructurales. Sus laderas son de relativamente suaves a escarpadas, con zonas amplias de meteorización con disyunción esferoidal. La roca fresca es de color gris claro, masiva, dura, holocristalina, inequigranular de grano grueso, moderadamente fracturada. La composición mineralógica incluye feldespato, cuarzo y biotita, y como minerales secundarios los opacos. La cuarzodiorita biotítica de La Bella es un apófisis del Batolito del Hatillo, situado un poco más al sur de la misma y que intruye el complejo metamórfico. La datación radiométrica (Barrero y Vesga, 1976) K/Ar en biotita, dió una edad de $53,0 \pm 1,8$ m.a., es decir Terciario Temprano. La aureola de contacto del stock de La Bella (unidad ehb) es de un espesor y extensión considerables. Al occidente (ver Figura C-2) tiene alrededor de 120 metros por el cauce del río La Miel, reduciéndose a unos 20 - 30 metros a la altura de la cuchilla La Divisa y el cerro Morrogacho, mientras que al norte y noroeste (ver Figura C-5) alcanza de 200 a 750 metros de extensión en proyección (quebrada Santa Rita) y de 250 a 850 metros en la zona de la cuchilla de Sietecueros. La aureola de contacto (unidad ehb) está constituida por roca hornfésica que presenta varias tonalidades de color, de gris oscuro-verdoso a gris azulado, por lo general masiva, aunque también se presenta en capas de 0,1 - 1,0 metros, dura, bien cristalizada, con fractura concoide. Está compuesta por cuarzo, hornblenda, biotita, plagioclasa y posiblemente por cordierita, andalucita y anortita.

El Intrusivo de El Silencio (unidad Tcdsi) es un cuerpo de forma alargada con su parte más angosta dirigida hacia el Noroeste (ver figuras C-1, C-4, y C-5). Su longitud máxima no es superior a 2,5 kilómetros, mientras que su anchura oscila entre 100 y 700 metros. El contacto con la roca metamórfica es discordante, generalmente con zonas de milonitización y segregación de bandas cuarzofeldespáticas y cuarzo. La cuarzodiorita de El Silencio, en superficie, tiene un alto grado de meteorización (con disyunción de esferoidal a ovoide), con variación de tonalidades de grisáceas a rojizas. La roca sana es color gris claro, masiva, holocristalina de grano medio a grueso, inequigranular, con zonas de diaclasamiento de moderado a intenso. Es como el ígneo de Florencia (unidad Tcdf, ver Figura C-1), una roca constituida por

cuarzo, feldespato, biotita y hornblenda, clasificándose como cuarzodiorita biotítica hornbléndica con variaciones a granodiorita. El ígneo de El Silencio y el de Florencia se consideran como un mismo cuerpo magmático desplazados por la Falla Palestina (Feininger et al, 1970, 1972 y Barrero y Vesga, 1976). Datación radiométrica (Barrero, 1976) K/Ar en biotita dió una edad de $54,9 \pm 1,9$ m.a. para los ígneos de Florencia-El Silencio, lo cual indica que su emplazamiento se produjo en el Terciario Temprano. El Intrusivo de El Silencio, presenta una aureola de contacto térmico (unidad ehsi, ver figuras C-1, C-4 y C-5) bastante amplia, de aproximadamente 100 a 400 metros de extensión en proyección. Es una roca gris oscura (transformación por metamorfismo térmico de contacto de esquistos verde y gris), afanítica, con fractura concoide, compuesta por cuarzo, feldespatos, micas (biotita), y hornblenda.

Los diques de composición ácida a intermedia (unidades Tda, Tdmg, Tddr, Tdpd, Tdd, Tdan - aplítico, microgranítico, diorítico, pórfido dacítico y andesítico intruyen el complejo ígneo-metamórfico. Su mayor número (unos 60 diques observados) se concentra en la parte central del área del túnel de carga (ver Figura C-5) y sitio de presa (ver Figura C-2). En el área de Guarinó-Embalse (ver Figuras C-4, C-6 y C-7) se encuentran menos del 15% de ellos.

Los diques de la zona del túnel de carga se concentran en una posición más o menos radial con un punto de convergencia en el área de las quebradas Las Animas-Cristalina-La Mina. Son cuerpos intrusivos a veces concordantes con la foliación de los esquistos; en la mayoría de los casos intruyen diagonal y/o transversalmente y se encuentran en un corredor de rumbo norte-sur que coincide con la posición del Complejo Igneo de Samaná; por su posición litológica se concluye que son de edad Cretáceo Tardío a Terciario Temprano. Son de composición de diorítica a dacítica, alcanzando espesores entre 1 y 50 metros (dique diorítico de La Cristalina - unidad Tddr).

Los diques del sitio de presa forman zonas de silicificación y migmatización. Son diques de composición ácida (unidades Tda y Tddr) y dacítica (unidad Tdpd y Tdd), siendo estos últimos de intrusión posterior a los anteriores, ya que los cortan y desplazan.

El grupo de diques de la zona de Guarinó y embalse (La Diaman

tina, San Juan, Saínos, Santa Bárbara) son de composición ácida (unidad Tdmg), dacítica (unidades Tdpd y Tdd) y andesítica (unidad Tdan). Por regla general son concordantes con la foliación (silos), alcanzan espesores no superiores a 1,5 - 2 metros y por lo visto están asociados con la falla Palestina; posiblemente su emplazamiento se produjo un poco después de ésta, pues no parecen haber sufrido efectos cataclásticos, lo que parece implicar que las intrusiones aprovecharon la zona de debilidad.

Las rocas del grupo Honda (unidad Tsh) afloran en la parte oriental del proyecto (ver figura C-5) por la carretera que de Cañaverl conduce a La Pradera y Junín. El grupo Honda está constituido (Barreiro y Vesga, 1976)" . . . por lutitas rojas con intercalaciones de areniscas; arenas y gravas con cantos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas y efusivas; lutitas y areniscas grises". El Terciario Superior cubre discordantemente rocas metamórficas e ígneas intrusivas más antiguas (unidades esg, ehm y Kcdm).

4.2.4 Depósitos Cuaternarios

El sistema cuaternario está representado por las siguientes unidades: depósitos aglomeráticos (Qag), tobáceos (Qto), aluviales (Qal), de pendiente (Qdp) y suelos residuales (Qsr). (ver Figuras C-1, C-2 y C-4 a C-8).

Los depósitos aglomeráticos (unidad Qag) se localizan en el área de Guarinó (alternativas A y B, ver figuras C-1 y C-6). Se observaron en el cerro La Ceiba, en la cuchilla de San Juan, en las estribaciones del cerro Guadalupe y al sur de Marquetalia. En general se conserva en las partes altas a manera de cobertura de las unidades metamórficas y está constituido por bloques más o menos redondos, dentro de una matriz arenoso-tobácea. Los bloques están constituidos por una roca porfirítica que presenta fenocristales de plagioclasa, y hornblenda, con una matriz gris azulosa a gris clara. Microscópicamente se identifican hornblenda y plagioclasa en fenocristales rotos y con cierto redondeamiento en los bordes y microllitos de igual composición, dentro de una matriz vítrea, lo que se puede clasificar como andesita porfirítica. El espesor máximo observado es de 30 metros en la carretera San Juan-La Siria-Planes, aunque posiblemente su espesor sea mayor en la localidad del cerro La Ceiba. El aglomerado al sur de Marquetalia presenta clas

tos angulares de pórfido andesítico con diámetro promedio de 0.3 metros, en contraste con los observados en otras localidades que presentan redondeamiento.

Como depósitos tobáceos (unidad Qto) se identificaron residuos volcánicos que constituyen una espesa cubierta de depósitos piroclásticos (Schaufelberger, 1951) distribuidos principalmente en las partes altas, cuchillas y laderas suaves donde la morfología no es apta para una erosión activa. Se los localiza, especialmente en las zonas de túnel de carga, Guarinó (alternativas A y B) y embalse. En el sitio de presa está representado por manchas de relativamente poca extensión y espesor. La presencia de los depósitos tobáceos produce cambios en la topografía, de suerte que las partes altas del terreno muestran una forma relativamente plana, mientras antes estaba compuesta por filos angostos y abruptos de roca. El espesor de estas capas varía considerablemente de una localidad a otra; se estima que puede llegar a los 25 metros. Las tobas están constituídas por cenizas y lapillis, que corresponden a andesitas y dacitas ácidas.

El mayor espesor de los suelos residuales (unidad Qsr) está localizado en las partes altas, disminuyendo, hasta desaparecer, hacia los cauces de las quebradas y ríos. Están conformados por limos, limos arcillosos y gravas, productos de meteorización in situ de rocas ígneas y metamórficas. Su composición, rasgos texturales y estructurales reflejan la composición de la roca infrayacente. El espesor de estos suelos es variable y puede posiblemente alcanzar hasta 30 metros.

Los depósitos aluviales (unidad Qal) se concentran principalmente en los cauces y valles bajos de ríos y quebradas, como es el caso de los ríos La Miel, Guarinó y Pensilvania, y las quebradas Santa Rita, Las Animas, La Cristalina y Tasajos. Están constituídos por clastos de roca metamórfica e ígnea, redondeados a semiangulares, de tamaño variable, en proceso de transporte por acción directa de las aguas corrientes.

Los depósitos de pendiente (unidad Qdp) cubren las laderas de los ríos y quebradas. Se los localiza especialmente en las laderas de la quebrada Saínos y de los ríos La Miel, Pensilvania y Tenerife, y en el área del túnel de carga. Las principales zonas de derrumbe activo son las de Saínos, La Soledad y Tenerife

(ver Figura C-4) y Los Aguacates, Patio Bonito, Cariaña, La Marciana y La Rica (ver Figura C-5). Los depósitos de pendiente, con espesor variable posiblemente hasta 50 metros, constan de fragmentos, cantos y bloques de roca ígnea y metamórfica.

4.2.5 Cataclastitas (unidades ZPICP y ZPICS)

A lo largo de la zona de influencia de la falla Palestina y fallas satélites a ésta, se reconoció una amplia gama de rocas cataclásticas (ver Figuras C-4, C-6 y C-7). La clasificación macroscópica de este tipo de rocas es difícil, pues están afectadas por metamorfismo dinámico sobreimpuesto a metamorfismo regional; por lo tanto se efectuó un muestreo detallado para confirmar su clasificación con análisis microscópico, debido a su importancia para localizar zonas cataclásticas que tengan influencia en el proyecto.

En general estas rocas están afectadas por grandes movimientos deformacionales que se presentan dentro de una franja de tamaño variable. El tamaño de la zona de influencia depende de la roca afectada por el fallamiento y de la profundidad y presión alcanzadas en cada sitio. La zona cartografiada como zona de influencia de fallas no corresponde a unidades litológicas sino a la posible extensión lateral de rocas deformadas por efectos dinámicos. La fracturación ha producido aquí rocas con granos desde gruesos hasta muy finos, y una variada gama de efectos: diaclasamiento denso, bloques angulares megascópicamente visibles, brechas con cohesión, "harina de falla" y rocas con textura de fluxión - recristalización.

Las milonitas afloran en la cuchilla El Placer, en la quebrada del mismo nombre, y en la parte central de la carretera San Juan-Planes. Son allí rocas de grano fino, bandeamiento delgado, formadas por brechamiento extremo y compactación de las zonas de falla. La recristalización pronunciada, debido a esfuerzos confinados, crea una cohesión alta y textura afanítica porcelanizada. La laminación de flujo ha producido movimientos deslizantes con rotación de granos o bandas de minerales pre-existentes, acompañadas de flexuras y replegamientos con microfallamiento.

Estas milonitas se han generado principalmente a partir de rocas con alto contenido en cuarzo y feldespatos. En otras unidades

litológicas, la cataclasis adquiere características diferentes absorbiendo los esfuerzos con flexuras, rotación y deformación.

Se clasificaron clastomilonitas donde la recristalización prima sobre la cataclasis.

Se clasificaron como cataclasitas aquellas rocas que han perdido su apariencia original - esquistos, filitas y cuarcitas que han conservado su estabilidad mineralógica y la dirección de la foliación regional - pero que al ser analizadas bajo el microscopio se observa que poseen metamorfismo dinámico sobreimpuesto al metamorfismo regional. Las principales características que se desarrollan en este tipo de rocas se aprecia en las micas y en el cuarzo. Las micas se deforman en primera instancia para en un estado más avanzado de cataclasis disgregarse en hojuelas submicroscópicas. El cuarzo se deforma, se fractura y los bordes del cristal se crenulan para finalmente conformar un mosaico policristalino. Solamente en una muestra se observó deformación del feldespato, mientras otros minerales con hábito acicular tales como hornblenda, talco, tremolita y turmalina siempre se deforman y sus ejes mayores se han desviado a transversales a la orientación del bandeamiento de la roca.

Como filonitas, se clasificaron las rocas, con apariencia de filitas, que tienen deformación intensa y grano fino producidos por la recristalización de algunos minerales, y acompañados por el crecimiento y elongación de otros. También se observó microreplegamiento apretado, lo cual genera en algunos casos una segunda superficie y en el caso de estados deformacionales más avanzados, microfallamientos. El desarrollo de dos o más sistemas de superficies de esquistosidad puede deberse a movimiento diferencial de bandas de minerales micáceos y/o minerales no deformados que guardan la orientación de la roca anterior al fallamiento. Estas rocas muestran muy poco contraste con las unidades no afectadas por cataclasis. Sin embargo, las características enunciadas arriba se observaron en algunas muestras, situación de esperar dado que el grado de metamorfismo que ya había logrado el metamorfismo regional era similar al que estas rocas hubiesen alcanzado por intermedio del metamorfismo dinámico y que las fuerzas deformadoras posiblemente actuaron con las mismas direcciones en ambos episodios metamórficos.

Completa trituración de la roca pre-existente al fallamiento, sin

compactación posterior, se clasificó como brecha cataclástica y fué observada en la carretera La Quebra-Marquetalia y en la confluencia de las quebradas Saños y La Esperanza. En otras fallas menores y satélites a la falla Palestina se reconocieron también brechas cataclásticas de menos de un metro de espesor (fallas de San Juan y La Miel - Perforaciones G T-2, MS-3, MS-5 y MT-3); el espesor máximo observado de la brecha cataclástica en la falla Palestina alcanza aproximadamente unos 4.5 m. Esta zona se compone de "harina de falla" o "gouge", finamente granular, incoherente, con variación transicional a filonita, pasando por un tipo de roca intermedio entre "harina de falla" y milonita, pero extremadamente friable.

4.3 Estructuras y Tectónica en el Area del Proyecto

4.3.1 Plegamientos

El panorama general de las estructuras geológicas en la región del Proyecto Miel II (ver Figuras C-1 y C-11) muestra una serie de características que la tipifican dentro de la zona de bajo metamorfismo del flanco oriental de la Cordillera Central de Colombia. Como primer aspecto se destaca que la parte occidental del área, donde se localiza el túnel de aducción del Guarinó y los embalses de los ríos La Miel, Pensilvania y Tenerife, es la más afectada por la falla Palestina, que es la principal discontinuidad tectónica de la región, fenómeno que crea una zona de influencia de 150 - 650 m de ancho, dentro de la cual se aprecia una cataclasis intensa.

Las fallas satélites (ver Figura C-10) de la falla Palestina forman bloques que interrumpen el tren general de la estructura principal de la roca metamórfica (ver cortes en las figuras C-4 y C-7).

Las anomalías tectónicas asociadas a la falla de Palestina se extinguen casi completamente a distancia, de manera que el alineamiento del túnel de carga, casa de máquinas y túnel de fuga no cruzan fallas de consideración, el tectonismo estando limitado a crear zonas de esfuerzo y sistemas de diaclasamiento en las rocas. La intrusión de los ígneos de La Bella, El Silencio, Samaná y La Miel han influido en la disposición estructural del complejo metamórfico entre Santa Rita y la cuchilla La Marciana.

Plegamientos de Guarinó Se denomina así el conjunto estructural estudiado en el área de los alineamientos del túnel de aduación del río Guarinó (ver Figuras C-6 y C-7) y en la zona de embalse (ver Figura C-4), que observa un rumbo N-S o N15°E, con buzamientos pronunciados. El área presenta flexuras y replegamientos tectónicos por efecto de la falla Palestina. La intensidad del movimiento a lo largo de la falla Palestina y sus fallas satélites principales dislocan bloques que perturban el tren estructural de la región.

Existen además plegamientos locales, generalmente asociados a zonas de fallas satélites menores, que rotan la dirección general de la foliación, con respecto a la orientación regional desarrollada por las metamorfitas y que corresponden a flexuras o a sucesiones de pliegues sincliniformes y anticliniformes, dispuestas en forma de abanico, cuyos ejes axiales tienden a interceptarse. Este tipo de plegamiento no debe confundirse con la presencia en algunas localidades de estructuras de gravedad producidas al sufrir decompresión litostática en algunas unidades con bajo coeficiente de fricción (e.g. esquistos filíticos, esquistos grafíticos, etc.). Ejemplos de plegamientos locales pueden observarse en las cercanías a Marquetalia, San Juan-La Siria, quebrada Los Saínos, río San Juan, etc.

Este tipo de pequeñas estructuras actúa muy localmente, no cambiando la disposición general, a nivel regional, de la foliación, pero dificulta la interpretación superficial y la predicción a profundidad de los diversos niveles litológicos.

Periclinal de Santa Rita El acomodamiento del esquisto del complejo metamórfico a la intrusión del stock de La Bella ha producido una serie de pliegues cuyos ejes muestran un desarrollo paralelo al contorno del cuerpo intrusivo de dirección general este-oeste. En la Figura C-5 se observa, entre las cuchillas La Divisa y Sietecueros, el cambio que afecta la esquistosidad alrededor del stock de La Bella, de manera que el buzamiento hacia el oeste del complejo metamórfico en el sitio de presa varía 90° hacia el norte en la cuchilla de Sietecueros. Esta estructura principal y sus complementarias, comprendidas entre El Silencio y la cuchilla de El Vergel, constituyen el periclinal de Santa Rita.

Sinclinal de California Alta Es la estructura de más amplio de

sarrollo en el área del proyecto y su eje tiene un curso general N-S con cambios hacia el SW-NE, como el registrado en proximidades del alineamiento del túnel (ver Figura C-5). El sinclinal de California Alta es simétrico con un fuerte replegamiento al extremo de su flanco oriental en el sector de la quebrada de La Mina. Especialmente en el flanco occidental de este sinclinal se han producido otros replegamientos menores, observando un acomodamiento a la estructura principal.

Estructuras Comprimidas de California Baja Una serie de plegamientos de flancos angostos, simétricos y de pendientes altas cuyos ejes de dirección general N-S tienen flexiones tanto al noroeste como al noreste, se registran entre las quebradas La Mina y La Negra (ver Figura C-5). Los replegamientos que afectan estas estructuras están confinados a sectores como el de la quebrada El Pital, donde la roca metamórfica ha sufrido efectos de una posible segunda fase de metamorfismo superimpuesta al regional.

Sinclinal de Costa Rica Es una estructura amplia y bien desarrollada, regular, simétrica, que observa un rumbo S-N sobre el alineamiento del túnel de fuga (ver Figura C-5). Las estructuras al este del sinclinal de Costa Rica vuelven a adquirir un carácter comprimido y asimétrico.

4.3.2 Estructuras de los Cuerpos Igneos en el Area del Proyecto

La existencia de varios cuerpos de roca ígnea intrusiva en el área del proyecto (ver Figura C-1) o en sus proximidades, incide por su forma en el complejo metamórfico al que han intruído, concordante o discordantemente. El más grande - complejo ígneo de Samaná (unidad Kds) - al norte del alineamiento del túnel de carga, tiene cerca de 25 km de largo y 10 km de ancho y sus contactos oriental y occidental son fallados.

El stock de La Bella muestra un contorno, en superficie, pareliptico con un eje sur-norte de 4 km y uno este-oeste de 2 km. El buzamiento de sus contactos occidental, norte y oriental con el esquisto intruído tienen valores entre 40° y 50°. La forma abovedada del intrusivo ha tenido influencia considerable en el acomodamiento de las estructuras del grupo metamórfico creando una aureola de contacto en el esquisto de espesor superior a 60 m.

El stock de La Miel, al noroeste del área del proyecto, tiene un eje principal de dirección N25°W, e intruye el esquisto concordantemente creando una aureola de contacto cuyo espesor aflorante comprende valores de 250 - 300 metros.

4.3.3 Discontinuidades Tectónicas

Las dislocaciones que produjo la orogenia andina en el complejo metamórfico se polarizan en dos direcciones, dentro del área del estudio. La primera de ellas es la intensificación del fallamiento en la zona próxima a la falla Palestina y la segunda es la producción de extensos sistemas de diaclasas tanto en los cuerpos ígneos como en las unidades metamórficas, y que acompañan, en general, los plegamientos del esquisto y la orientación principal de la cristalización de la roca ígnea.

Fallas El fallamiento regional y por ende el del área, muestra dos aspectos marcadamente diferentes según pertenezca a la falla Palestina o no. El fallamiento de Palestina lleva un rumbo general N15°E, presenta brechas recrystalizadas y la roca más afectada se ha transformado en cataclástica. El fallamiento post-Palestina, más distorsionado y perpendicular o diagonal a la gran falla, tiene brechas no consolidadas de varios decímetros a pocos metros de espesor y produce bloques cuya extensión en dirección sur-norte llega a tener varios kilómetros.

Falla Palestina

Es la falla de mayor intensidad en el área del Desarrollo Hidroeléctrico del río La Miel, observa un rumbo N15°E, y su trazo se reconoce en una zona de 150 a 650 metros de ancho en sentido este-oeste. Su alineamiento desde el río Guarinó al río La Miel está comprendido entre las dos alternativas (A y B) de aducción y continúa hacia el norte para cortar el río Pensilvania un kilómetro al oeste de la confluencia del río Tenerife (ver figuras C-4 y C-6).

La roca dentro de la zona de influencia de la falla Palestina muestra un severo efecto dinámico, que se manifiesta en deformaciones tectónicas, con trituración total de la roca y recrystalización posterior. Cuando la roca cataclastizada tiene una composición

predominantemente micácea, los efectos deformacionales y caóticos son más marcados que los que se observan en roca con mayor contenido de cuarzo y feldespato.

Al iniciarse el presente estudio uno de los principales objetivos era la localización del alineamiento del túnel de aducción del río Guarinó a través de un corredor que idealmente no fuera afectado por la zona de influencia de la falla Palestina. La ausencia de rasgos morfológicos que indicaran la existencia de una falla regional con características como las descritas por Feininger (1970), y la indicación (Barrero y Vesga, 1976) de la existencia, con trazo incierto, de la falla Palestina en la zona de interés, implicó la decisión de ejecutar numerosos levantamientos y estudios petrográficos con un alto grado de detalle, para determinar las zonas de influencia cataclástica que permitieran ubicarla.

La localización de los resultados de los estudios antes mencionados (ver figuras C-4, C-6 y C-7) permitió interpretar una zona con fracturación intensa, asociada con metamorfismo cataclástico sobreimpuesto al metamorfismo regional, de espesor variable, con una dirección determinada principalmente por las siguientes localidades de norte a sur:

- Río Pensilvania, veredas La Aurora y Sebastopol: zona de aproximadamente 500 - 650 m con numerosas fallas y milonitización.
- Río La Miel, cota 1050 aproximadamente: zona de 50 m con intenso replegamiento, y milonitización. La extensión de la zona de influencia cataclástica en el río La Miel puede llegar a 150 - 180 m.
- Cuchilla El Placer: esquistos cuarcíticos cortados por fallamiento donde se observa una roca con estructura de flujo, porcelanizada e intensamente replegada en un sitio donde a pesar de su dificultad de observación por cobertura cuaternaria, se nota una zona afectada por metamorfismo dinámico intenso, que disminuye gradualmente hacia los lados, en una extensión de aproximadamente 100 m.
- Quebrada La Mina, en la ladera sur de la cuchilla anterior: cataclasis similar a la anterior y esquisto grafitico con reple-

gamiento intenso y meteorización profunda. Existe aquí una mina abandonada de plomo y estaño.

- Confluencia de quebradas La Esperanza y Saínos: esquisto grafitoso con espejos de falla, fisibilidad combada, altamente meteorizado, y segregación de lentes y venas de cuarzo, en ocasiones concordantes y en otras transversales a la foliación. Las quebradas aquí forman angosturas de 2 a 3 m y saltos de 10 a 15 m.
- Carretera La Quebra-Marquetalia: brecha cataclástica sin cohesión (harina de falla) con espesor de 1.5 a 2.0 m, dentro de esquisto grafitoso con replegamiento. La zona de influencia cataclástica puede alcanzar en este lugar 250 - 300 m.
- Río San Juan: replegamiento intenso asociado a varias zonas de brechamiento (de + 0.5 a 1.0 m) y cambios bruscos en el rumbo de la foliación. La zona de influencia cataclástica en el río San Juan tiene un espesor mínimo de 400 metros.
- Carretera San Juan-La Siria-Planes : roca cuarcítica con fracturación intensa, cambio de dirección del rumbo de la foliación con casi 90°, flexuras (monoclinales que desarrollan estructuras "en echelon" con rotación hacia el eje de fallamiento), y milonitización.
- Quebrada Santa Bárbara: replegamiento intenso en la desembocadura de la quebrada Las Margaritas (se recogieron clastos angulares con índice de metamorfismo dinámico en una zona de derrubio de pendiente); la quebrada Santa Bárbara desarrolla angosturas y saltos hasta de 25 m.
- Carretera Hacienda Las Margaritas-Llanadas: es la zona de mayor espesor observado con índices de metamorfismo dinámico, donde se reconoce su efecto sobre unidades cuarcíticas y micáceo-alumínicas.
- Quebrada La Gurria, 0.6 km al SW de la Hacienda Las Margaritas : zona de fracturación con brecha cataclástica en cuarcitas y esquisto alumínico-feldespático; blocking con fragmentos hasta de 5 cms; trituración de lentes de cuarzo y milonitización asociada a replegamiento y diaclasamiento intenso; no se observa movimiento relativo. La zona de influencia cataclástica observa-

da en las quebradas Santa Bárbara y La Gurria oscila entre 300 y 350 metros.

- Río Santo Domingo: brechas con espesores no mayores a 1.5 m en zonas de altos esfuerzos sin movimiento relativo.
- Río Guarinó: posiblemente por encontrarse cubierto por depósitos aluviales recientes, no se observaron las características de las localidades anteriores; sin embargo, el cuerpo de anfibolita en contacto con esquisto de menor grado metamórfico y dislocaciones a nivel microscópico observado en los cristalloblastos que lo componen, indican la existencia de la zona de fallamiento.

El sector de alineamiento del túnel (Guarinó, Alternativa B) entre Marquetalia y el Portal de salida en la quebrada Los Saínos corresponde a una zona de fracturación como efecto de las fallas El Placer y Saínos. En este sector se reconocen zonas de fracturación intensa y en algunos puntos con segregación de milonita y brechas de falla. El replegamiento es notorio principalmente a lo largo de las fallas cartografiadas, en donde los esquistos micáceos y/o grafiticos producen texturas ensortijadas. Simultáneamente la orientación regional de estas unidades metamórficas no presenta dirección preferencial, lo cual es de esperar en un área como la descrita anteriormente. La prolongación de las fallas El Placer, Saínos y San Juan son evidentes.

La decisión de interpretar la localización de la falla Palestina (ver figuras C-4 y C-6) a lo largo de estas zonas, no implica que no existan otras alternativas, inclusive la de que este alineamiento no corresponda a una falla regional, sino a una serie de fallas de diversas alineaciones. Sin embargo, se prefiere interpretar la tectónica regional como la expresión del extremo sur de la falla Palestina en el cual su influencia sobre las rocas que afectan es menor que en su parte norte. En cualquier caso, como el propósito de la ubicación de la falla Palestina para el presente estudio es delimitar una zona de posible peligro para la excavación del túnel, se decidió trazar un corredor con una amplitud correspondiente al máximo espesor observado de zona con influencia cataclástica.

En las cercanías a la zona de influencia (ZPICP) algunas unidades muestran desviaciones o flexuras, lo cual se interpreta co-

mo efectos de arrastre por fallamiento y/o esfuerzos simultáneos a la deformación; sin embargo, es difícil separar o conocer las causas exactas, debido a que los esfuerzos causantes tanto del metamorfismo regional como del fallamiento pudieron tener resultantes en dirección similar.

Otros efectos observados en la zona de influencia, como se anotó anteriormente, son: variación en el alineamiento de la foliación con respecto a su dirección regional, replegamiento y fracturación tanto a nivel macro como microscópico, espejos de falla, recristalización y mineralización, etc.

En el aspecto geomorfológico, la falla Palestina no produce un alineamiento que destaque claramente en el terreno su curso en el sector comprendido entre el río Santo Domingo al sur y al norte. En cambio, al norte del río La Miel la falla Palestina produce una depresión topográfica de aproximadamente 500 m. de ancho (ver Figura C-4).

La falla Palestina está desplazada por dos fallas: la falla El Placer, inmediatamente al sur del río La Miel y la falla San Juan al sur del río San Juan.

Falla San Juan

La falla San Juan (ver Figuras C-6 y C-7) se localizó debido al desplazamiento de la zona de fracturación observada en la carretera de San Juan-La Siria-Planes, con respecto al alineamiento de la falla de Palestina hacia el norte. Esta discontinuidad observa un rumbo $N62^{\circ}W$ y 65° al SW de buzamiento. El desplazamiento ocasionado por la falla San Juan ha sido inferido en 550 m aproximadamente; desplaza la falla Palestina en sentido sinietro-lateral. Su zona de influencia parece ser bastante restringida. Su desplazamiento vertical tal vez sea de 600 metros.

Falla El Placer

Se observaron zonas de fracturación, meteorización intensa, y espejos de falla en el camino que conduce a la escuela El Placer; las unidades litológicas están discontinuadas y hay un desplazamiento de la alineación de la zona de cataclasis de la falla Palestina hacia el oeste, como se observó en la parte media de las quebradas San Luis y Los Alacranes (ver Figuras C-4, C-6

y C-7). No se pueden conceptuar en detalle sobre su zona de influencia, dada la gruesa cubierta de depósitos cuaternarios que impidió observarla en detalle.

Es una falla con rumbo N45°W y 70° de buzamiento al NE. Posiblemente es una falla inversa; se desconoce la magnitud de su componente vertical. Tiene desplazamiento dextralateral.

Fallas Satélites de Palestina

Bajo este nombre se agrupan varias fallas que se consideran de efecto sincrónico de la Palestina, más allá de su probable zona de influencia (ZPICP, ver figuras C-4, C-5 a C-7 y C-10); y sus brechas presentan cataclasis y recristalización por metamorfismo dinámico sobreimpuesto.

Dentro de las fallas satélites se distinguen la de El Silencio, El Fical, La Esperanza, El Porvenir y San Luis, al oeste de la falla Palestina; al este son notorias las fallas de San Antonio, Guarínó, La Soledad, Saínos, La Tebaida, La Miel y Las Animas, las cuales interrumpen la secuencia litológica a lo largo de alineamientos muy definidos.

Estas fallas menores, que inciden de manera oblicua a la zona de influencia cataclástica de la falla Palestina, deben corresponder a fallas satélites, generadas como consecuencia del fallamiento regional. Sus zonas de fracturación son de poco espesor. Se reconocen en el terreno por la presencia de brechas cataclásticas, zonas de replegamiento y discontinuidades en el rumbo regional y/o en las unidades litológicas observadas en carreteras y quebradas.

Las fallas satélites de la falla Palestina forman un ángulo agudo con el rumbo de ésta. La intersección de tales fallas y la Palestina produce numerosas estructuras imbricadas tales como la de Saínos-La Mesa, El Higuerón por el lado oriental de la falla y El Silencio-Porvenir en el flanco occidental. La estructura en "espina de pescado" (ver Figura C-10) producida por el conjunto de fallas, es el efecto de desplazamiento de una falla regional. Se confirma por lo tanto la falla Palestina en el área estudiada como el extremo sur de una falla regional con desplazamiento dextralateral.

La perforación GT-1 registró la falla de El Silencio (ver figuras C-6 y C-7) a una profundidad de 53 m, con una brecha de cerca de seis metros de espesor de material fino, suelto y saturado de agua. Se considera que la falla de El Silencio tiene un buzamiento aproximado de 75°NE y rumbo $\text{N}39^{\circ}\text{W}$.

La falla El Fical se localiza al oeste de la falla Palestina (ver figuras C-6 y C-7). Indicios de su presencia se observaron por la carretera Marquetalia-Manzanares y en las cabeceras de la quebrada La Ceiba. Su rumbo es $\text{N}42^{\circ}\text{W}$.

Posiblemente la falla La Esperanza (ver figuras C-6 y C-7), registrada en el cauce de la quebrada La Esperanza es la continuación norte de la falla El Fical. El rumbo de la falla La Esperanza es N-S, tal vez con buzamiento al oeste.

La falla El Porvenir (ver figuras C-6 y C-7) tiene un rumbo $\text{N}31^{\circ}\text{W}$ y 75° de buzamiento al SW; está localizada por la carretera a El Porvenir. Es posiblemente una falla normal, cuyo bloque SW está hundido poniendo en contacto discordante esquistos verdes y cuarcitas.

Por la carretera que de Marquetalia conduce a la vereda El Porvenir se localizaron por lo menos seis zonas de brecha que en resultado dan un alineamiento de rumbo general $\text{N}55^{\circ}\text{E}$ y buzamiento de 75° al SE. Posiblemente los últimos centenares de metros del alineamiento de la aducción de Guarinó, Alternativa A, encuentren la zona de fractura de la falla San Luis (ver Figura C-6).

La falla San Antonio (ver figuras C-6 y C-7), situada en el extremo SW del proyecto (aducción de Guarinó, Alternativa A, km 2) es una falla normal con rumbo $\text{N}50^{\circ}\text{W}$ y 60° de buzamiento al SW. El bloque hundido puede tener un desplazamiento de 700 metros.

El alineamiento del cauce del río Guarinó entre las fallas San Antonio y San Juan, de unos 4,5 km, fué reconocido como la posible falla de Guarinó (ver Figura C-6) con rumbo $\text{N}45^{\circ}\text{E}$.

La falla La Soledad (ver figuras C-4 y C-6) tiene desplazamiento dextrolateral; su expresión superficial tiene rumbo $\text{N}50^{\circ}\text{W}$ y buzamiento 60°SW , desplazamiento horizontal de unos 100 m y pre-

senta una zona brechada de cerca de 30 m.

La falla Saínos (ver figuras C-4, C-6 y C-7) afecta una zona de roca muy fracturada de más de 150 m de ancho, observable en la carretera Marquetalia-La Mesa; tiene rumbo general $N15^{\circ}E$ y buzamiento $60^{\circ}NE$. La zona fallada de Saínos parece pertenecer al sistema de la falla Palestina.

Las fallas de La Tebaida (ver Figura C-4) forman una discontinuidad amplia, de dirección NW-SE, con buzamiento de aproximadamente 60° al NE. Están situadas cerca y paralelas a las quebradas La Mula y La Tebaida.

La falla de La Miel (ver figuras C-2, C-4 y C-5) se desarrolla, con un rumbo $N60^{\circ}W$, por el curso del río La Miel. Tiene desplazamiento siniestrolateral, de unos 50 m, buzamiento de $50^{\circ}NE$, y presenta una brecha de falla de unos 5 m de espesor, como lo registraron las perforaciones MS-3 (a 35 m) y MS-6 (a 39 m de profundidad).

Las fallas de Las Animas (ver figuras C-4 y C-5) separadas entre sí unos 350 m, constituyen un bloque que se ha desplazado hacia el este entre 150 y 300 m. Dichas fallas se observaron cerca del río Tenerife, en El Silencio y en la quebrada Las Animas. La falla sur, dextrolateral, tiene un rumbo de $N80^{\circ}W$ y buzamiento $60^{\circ}N$ y la falla norte tiene un rumbo semejante, con buzamiento de $58^{\circ}S$. Cortan el alineamiento del túnel de carga en las Abscisas K3+000 y K3+800 respectivamente. Las fallas de Las Animas presentan una zona amplia de esfuerzo (unos 50 m), y afectan depósitos cuaternarios (ver figuras C-4 y C-5), indicio de su actividad reciente.

En los estudios de terreno se observaron además numerosas otras manifestaciones tectónicas, tales como milonitización, brechamiento, etc., que no han sido registradas en el presente informe, pero que implican tanto la presencia de otras fallas, como el que algunos sistemas de diaclasas tengan desplazamientos locales.

Diaclasas Las estructuras geológicas asociadas a los diferentes tipos de roca existentes en la zona del proyecto han creado sistemas de diaclasas características en las distintas obras que contempla su ejecución (ver figuras C-2 a C-7).

Se ha podido definir las pautas de los sistemas de diaclasas, así:

- El sistema principal de diaclasas, tanto en el sitio de presa como en los túneles de aducción y carga, tiene rumbos entre $N80^{\circ}E$ y $N50^{\circ}E$ y buzamientos hacia el sur y SE, con valores entre 35° y 80° ; es el sistema aproximadamente perpendicular al rumbo general de la falla Palestina. Este sistema tiende a producir diaclasas maestras, muy notorias en el estribo izquierdo del sitio de presa (ver Figura C-2) y en el cañón del río La Miel.
- El segundo sistema de diaclasas, paralelo a la foliación del esquisto, registra rumbo general $N25^{\circ}E$ y buzamiento entre 35° y 70° al NW; viene a conformar, con el sistema principal, el ángulo diedro de discontinuidad más frecuente en la masa de roca metamórfica, produciendo, también diaclasas maestras con zonas de intensa fracturación y a veces, milonitización, lo que implica que pueden tener a veces desplazamientos de cierta consideración.
- El tercer sistema presenta rumbos entre $N25^{\circ}W$ y $N65^{\circ}W$ y buzamientos entre 35° y 70° al NE; se desarrolla preferentemente perpendicular a la foliación. Este tercer sistema presenta frecuentes interrupciones, correlacionadas principalmente con las variaciones litológicas de la roca metamórfica en el sitio de presa.
- En la roseta de diaclasas para la roca ígnea, aguas abajo del sitio de presa, se observa un sistema de diaclasas bien desarrollado con inclinaciones entre horizontal y 20° . Dicho sistema parece haber tenido origen durante el proceso de enfriamiento del Stock de La Bella (ver Figura C-2).

Otras características de las diaclasas en el área del Proyecto Miel II, que rigen tanto su cantidad como su calidad, son las siguientes:

- La mayor intensidad de las diaclasas aumenta según la proximidad del área a la falla Palestina.
- Los esfuerzos que sufrió la roca aledaña a la falla Palestina, en una extensión hasta de unos dos kilómetros al este y oeste de su alineamiento produjeron numerosos grupos de diaclasas

aleatorias.

- Las diacladas maestras están principalmente localizadas en zonas de esquisto gris, como ocurre en el sitio de presa y en la zona de confluencia de la quebrada El Pital al río La Miel.
- El módulo de diaclasamiento se va ampliando a medida que se aleja de la falla Palestina, de manera que en la zona de presa, tiene un valor de 0.1 - 2.0 m y en el área de casa de máquinas - túnel de fuga, el módulo es de 1.6 - 3.0 m.
- Con excepción de las diaclasas maestras, la mayoría de este tipo de fracturas, son cerradas o ligeramente abiertas, y las paredes de las diaclasas están en contacto directo, sin relleno, o se presentan soldadas por calcita y piritita.

5. INVESTIGACIONES DEL SUBSUELO

La investigación de las condiciones del subsuelo en el área del proyecto (sitio de presa, rebosadero, casa de máquinas y alineamiento de los túneles) requirió la ejecución de un programa de doce perforaciones con un total de 1.235 metros de longitud perforada y de una galería de exploración de 40 metros de longitud en el estribo derecho del sitio de presa. Dos de las perforaciones mencionadas (GT-1 y GT-2) fueron efectuadas en lugares seleccionados inicialmente para el túnel de aducción del río Guarínó (Alternativa A). En el sitio de presa, rebosadero y túnel de desviación se hicieron seis perforaciones (MS-1 a MS-6), distribuidas convenientemente, de acuerdo con la ubicación de las diferentes estructuras. En el sitio de casa de máquinas y túnel de carga se efectuaron cuatro perforaciones (MT-1 a MT-4) ubicadas de acuerdo a las obras y condiciones geológicas del área.

Las perforaciones se ejecutaron con diámetro Nx al comienzo de cada sondeo y en Bx en el tramo final. En los sondeos profundos se usó el sistema Wire-Line en diámetro Bq. En el cuadro Resumen de Perforaciones que se incluye en el Anexo 3, se indican los datos más importantes de cada una de las perforaciones. En las figuras C-2, C-5, C-6 y C-12 se muestra la localización de las perforaciones y en el Anexo 3 se incluyen los registros de

tallados de cada una.

5.1 Perforaciones

Se describen a continuación las perforaciones efectuadas en las áreas de Guarinó, sitio de presa, casa de máquinas y túnel de carga.

5.1.1 Perforaciones de Guarinó (GT-1 y GT-2)

El programa de investigaciones aquí contempló la ejecución de dos perforaciones verticales en el alineamiento de la Alternativa A; una en la quebrada Santa Bárbara y la otra en río San Juan, de 120 y 90 metros.

La perforación GT-1 (quebrada Santa Bárbara - ver Figura C-6) encontró esquistos verdes (ev) en su generalidad, con algunas intercalaciones delgadas de esquistos grises (esg), sano - poco fracturado. El porcentaje de roca perforada recobrada alcanzó el 88%, situándose el RQD, en general con variaciones a lo largo de la perforación, entre 20 y 100. En los primeros 11 m el RQD fue nulo. El nivel freático se mantuvo, con ligeras oscilaciones, en los primeros 15 metros.

La perforación GT-2 (quebrada San Juan - ver Figura C-6) atravesó esquistos grises (esg) y un dique pórfido andesítico (Tdan) con zonas de fracturación intensa y brechamiento. La primera de esas zonas (entre 21 y 23.4 m) es una brecha tectónica formada por fragmentos angulares de esquistos y cuarzo de 1 mm de diámetro (se tomó muestra por lavado). Entre 50 y 72 m hay una zona muy fracturada, que posiblemente corresponda a la expresión de la falla El Silencio. En los últimos metros de perforación (entre 86 y 87.5 m) aparece otra brecha, muy marcada, paralela a la foliación. El nivel freático en los primeros 47 m se mantuvo en los primeros 10 m de la perforación; después de 47 m el nivel freático baja bruscamente a 15 m, lo cual es un índice claro de mayor permeabilidad en la zona de falla.

5.1.2 Perforaciones del Sitio de Presa (MS-1 a MS-6)

La investigación del subsuelo en el Sitio de Presa contó con la ejecución de seis perforaciones: tres en el estribo izquierdo y tres en el estribo derecho.

La perforación MS-1 situada en el sitio de rebosadero, en el estribo izquierdo (ver Figura C-2), tiene una inclinación de 45° con un azimut de 96° , y encontró inicialmente (hasta los cinco metros de profundidad) suelo residual (Qsr) y depósito de pendiente (Qdp). Los siguientes 145 m están constituidos por esquisto gris (esg) con intercalaciones de esquisto verde (ev) con texturas néisicas. Esporádicamente se localizaron hacia el final de la perforación (últimos 50 m) diques de pórfido dacítico y diorítico en trayectos menores a los seis metros. El porcentaje de roca recobrada llegó al 94% y el RQD se mantuvo entre 70 y 100. La roca mejora en calidad de 35 m en adelante. El nivel freático se regulariza en 37 metros.

La perforación MS-2 (eje de presa, estribo izquierdo - ver Figura C-2) alcanzó una profundidad de 80 m. Tiene una inclinación de 60° y un azimut de 35° . El porcentaje de recuperación de roca perforada alcanzó 94%; el RQD osciló entre 24 y 100, manteniéndose por regla general superior a 70. La perforación cruzó una secuencia de esquisto gris (esg) y esquisto verde (ev) con texturas neisosas. El nivel freático se mantuvo en los primeros cinco metros hasta que la perforación llegó a unos 35 metros; de ahí en adelante no se tiene datos hasta los 70 metros, donde se observa un fuerte descenso (a 15 m) en el nivel freático; la zona de posible mayor infiltración puede estar ligada a un aumento en el módulo de diaclasamiento entre los 57 y 60 m de profundidad.

La perforación MS-3, situada en la pata de la presa, estribo izquierdo (ver Figura C-2) tiene una inclinación de 50° y azimut de 180° ; su profundidad fué de 40 m. El porcentaje de roca recobrada llegó a 71%. La perforación atravesó depósitos aluviales (Qal) y de pendiente (Qdp) en los primeros ocho metros y esquisto gris (esg) de textura neisosa con zonas de fractura y brechamiento de los 31 metros de profundidad en adelante. Entre 8 y 10 m se observó esquisto verde (ev) con intercalaciones de esquisto gris (esg). La zona de brecha está constituida por microbrechas, milonita y arena arcillosa. Se observan allí texturas de fluxión y calcita como relleno, lo cual es indicio de la presencia de la falla La Miel. La perforación posiblemente no llegó hasta el final de la zona de fallamiento. El nivel freático se mantu

vo constante entre 11 y 12 metros (nivel del río La Miel).

La perforación MS-4, situada en el eje de presa, estribo derecho (ver Figura C-2), tiene 65 metros de profundidad vertical, con un 96% de roca recobrada. Atravesó esquisto gris (esg) sano, con un RQD cercano a 100 de los 15 m en adelante. Entre 35,5 metros y 37,5 metros se presenta un dique aplítico (Tda) sano, fresco. El nivel freático muestra filtración continua (seco en la mañana, y con agua en el proceso de trabajo, por la tarde). Las diaclasas observadas contienen superficies con piritita y óxidos de hierro (materiales deletéreos como agragado de concreto), señales de meteorización por aguas freáticas.

La perforación MS-5, situada en el estribo derecho del eje de presa (ver Figura C-2) es vertical y tiene 50 metros de profundidad. El porcentaje de roca perforada llegó al 97% con un RQD entre 60 y 100. Se perforó en esquisto gris (esg) sano, poco fracturado.

No fué necesario revestir el pozo dadas las buenas condiciones de la roca. Existe un dique dacítico-porfirítico (Tddp) entre 6 y 8.5 m.

La perforación MS-6, situada en la pata de la presa, estribo derecho (ver Figura C-2), es inclinada 47° con un azimut de 352° y 40 metros de profundidad. El porcentaje de roca recobrada fué de 79% y su RQD entre 64 y 100 después de 13.5 m de profundidad. En los primeros 13,5 metros se perforó suelo residual (Qsr) y derrubio de pendiente (Qdp); de ahí en adelante, esquisto gris (esg), sano, fresco. En los últimos cinco metros de perforación se localizó esquisto gris (esg) con inyecciones de cuarzo, fracturado y con mineralización de piritita en el cuarzo. Entre 39 metros y 39.3 m se observa brecha de falla con relleno de piritita y calcopiritita. El nivel freático se mantuvo constante entre 11 y 12 metros (nivel del río La Miel).

5.1.3 Perforación en Casa de Máquinas (MT-1)

El programa de perforaciones para casa de máquinas consistió en una perforación inclinada 60° con un azimut de 215° , desde el cauce de la quebrada La Negra, hacia el lugar de la obra (ver Figura C-5).

En el trayecto de 250 metros de perforación se obtuvo una secuencia de esquisto gris (esg) y esquisto verde (ev) afectados por 60 superficies de fricción. El módulo de diaclasamiento es moderado y alcanza 1,67 m. El porcentaje de roca recobrada es de 98% y el RQD se sostiene en su mayor parte entre 40 y 100. Mediante el análisis de MT-1 se puede llegar a las siguientes conclusiones: cerca del 95% de superficies de fricción se presentan en los esquistos grises; existe un aumento de la cantidad de superficies de fricción hacia el final de la perforación; el esquisto verde es más competente que el esquisto gris pues presenta menor fracturación, menor porcentaje de superficies de fricción y mayor resistencia a la meteorización; se presentan dos clases de esfuerzos: (a) paralelos a la foliación y (b) perpendiculares a ella; la foliación es replegada a ensortijada en las zonas de esfuerzos perpendiculares a la foliación; su RQD es mínimo en las zonas con superficies de fricción; el nivel freático se mantuvo, por regla general, en los primeros 4 - 10 m, a excepción de irrupción de agua artesiana (8 litros/2 - 5 seg) a los 38 m de profundidad; de ahí en adelante los niveles a mañana y tarde rebosan (el agua artesiana coincide con el contacto de esquisto gris y esquisto verde y con diaclasas de 50° con respecto al eje de la perforación).

5.1.4 Perforaciones del Túnel de Carga (MT-2 a MT-4)

El programa de perforaciones para el túnel de carga consistió en tres perforaciones por su alineamiento: quebrada El Pital, flanco oriental de la Cuchilla El Vergel y quebrada Santa Rita.

La perforación MT-2, situada en la quebrada El Pital (ver figura C-5) tiene 150 m; de ellos los primeros 17 m en suelo residual (Qsr) y esquisto verde (ev) de intensa a moderadamente meteorizado. De ahí en adelante se perforó esquisto verde (ev) sano, poco fracturado (módulo de diaclasamiento = 3,0 m). El porcentaje de recobro fué de 99% y el RQD entre 70 y 98. El nivel freático se mantuvo en los primeros 5 m. Desde 101,5 hasta el fin de la perforación se apreció agua artesiana, infiltrada a través de sistemas de diaclasamiento, que se mantiene constante.

La perforación MT-3 en la Cuchilla El Vergel (ver Figura C-5) es vertical y tiene 100 m de profundidad. Los primeros 7 m se perforaron en roca meteorizada, el resto en una sucesión con predominancia de esquisto gris (esg) sobre los verdes (ev). El

módulo de diaclasamiento ($m = 1,43$ m) es mayor en esta perforación y se constata la presencia de algunas superficies de fricción y dos zonas de brecha: la primera a 56,5 m (brecha de esquisto verde sellada con cuarzo, consolidada); la segunda entre los 84,5 y 87,5 m (clastos de esquisto verde en zona intensamente fracturada); en estas zonas el porcentaje de recuperación de la roca y el RQD disminuyen.

La perforación MT-4, en la quebrada Santa Rita, es vertical y tiene 100 m de profundidad. Los primeros 5,5 m son de suelo residual (Qsr) y cuarzodiorita biotítica (Tcdb) meteorizada. De ahí en adelante se encontró roca sana, cuarzodiorita biotítica holocrystalina de grano grueso, inequigranular. El porcentaje de roca recobrada fué de 99%, manteniéndose el RQD entre 59 y 100, después de la zona de suelo y roca meteorizada. El módulo de diaclasamiento hallado en MT-4 fué de 1,43 m. El nivel freático se mantuvo en los cuatro primeros metros; desde 52,7 m hasta el final de la perforación el agua artesiana se mantiene constante. El tramo entre 52,5 y 57,5 m está constituido por diaclasas oxidadas, superficies de fricción y vetas de cuarzo y calcita. El RQD es de 75.

5.2 Geología de la Galería de Exploración G-1

En el estribo derecho del sitio de presa (ver Figura C-3), con el objeto de conseguir datos adicionales sobre la calidad de la roca, se construyó una galería de exploración de 40 metros de longitud, con techo en forma de bóveda. Está localizada al occidente del eje de presa, en las coordenadas 1'082.789 de latitud Norte y 894.344 de longitud Este; la cota de piso en el portal de entrada es de 962 m sobre el nivel del mar, con azimut 255°. La excavación de la galería se ejecutó por sistema de voladura.

La roca presentó propiedades mecánicas variables: roca de muy baja dureza en los primeros cinco metros y de alta a baja resistencia mecánica en los 35 metros restantes. La galería se excavó, en su mayor parte, en esquisto gris (esg), horizontes de cuarcita (nq) sana, masiva, muy dura; de los 33 m en adelante esquisto gris con numerosas vetas de cuarzo y calcita con zonas de contacto intensamente cloritizadas. El grado de meteorización que presenta la roca es de moderado a alto, asociado a diaclasamiento y fracturación.

Fueron observados dos niveles de esquistos de muy cuarcíticos a cuarcita: el primero, a los 2 - 3 m, se encuentra localizado entre dos fracturas con milonitización y brechamiento. Dichas zonas de fractura buzan diagonalmente al talud y con un ángulo de 50° hacia el río La Miel con un azimut de 65°. La zona de fracturación tiene, en general, tres metros de espesor. El segundo horizonte de cuarcita (a los 18 m) se encuentra también en medio de otra zona fracturada que buza en posición diametralmente opuesta a la anterior (35° con un azimut de 275°) oscilando su espesor entre 2 y 7 m. La cuarcita puede tener más de un metro de espesor.

De los 33 m en adelante existe otra zona de fracturación con buzamiento general de 60° al W con un azimut de 260°- 315°. La zona tiene más de siete metros y se produjo en varias etapas: (1) fracturación y formación de cuarzo con pirita, posiblemente de origen hidrotermal en la zona fracturada; (2) zonas de fracturación con posterior relleno de calcita y cloritización; y (3) intensa fracturación con zonas de milonita de 10 a 20 centímetros de espesor y una zona amplia de meteorización e infiltración de aguas superficiales.

En la galería las zonas de subexcavación e infiltración corresponden a las tres fracturas mencionadas. La galería fué excavada paralela al sistema más marcado de diaclasas en el sitio de presa (N75°-80°E/60°-65°E), el cual no presentó desprendimientos ni zonas de sobreexcavación considerables. Los otros dos sistemas (N10°E/45°W y N35°W/55°NE), transversales a la galería, coinciden en general con las zonas de fallamiento, fracturación y milonitización.

6. ENSAYOS DE AGUA A PRESION

Con el objeto de determinar la permeabilidad de los estribos y de la fundación de la presa se efectuaron ensayos de agua a presión de cinco perforaciones, dos en el estribo izquierdo (MS-1 y MS-2) y tres en el estribo derecho (MS-4, MS-5 y MS-6).

6.1 Descripción de los Ensayos

Las pruebas de agua a presión se ensayaron en cada sondeo por tramos de 3 m de longitud progresivamente de abajo hacia arriba, empleando permeámetros de doble empaque del tipo mecánico. En cada sección ensayada se hicieron cinco lecturas de caudal a diferentes presiones manométricas, primero incrementando la presión hasta alcanzar la máxima especificada y luego disminuyéndola, con el fin de determinar la variación del caudal con la variación de presión.

Para el valor de la presión manométrica se usó el criterio americano de aplicar 0.25 Kg/cm^2 por metro de sondeo hasta alcanzar un límite máximo de 10 Kg/cm^2 , que es la presión máxima según Lugeon. Para profundidades mayores, se fijó el límite de 10 Kg/cm^2 como presión manométrica máxima.

El valor de la presión neta se calculó según el caso, teniendo en cuenta la posición del nivel freático, la altura del tramo ensayada desde la superficie al centro del probador y la localización del manómetro con respecto a la superficie.

6.2

Clasificación del Tipo de Flujo

Para el análisis de resultado se determinaron los tipos de flujo a través de la roca de acuerdo con los casos que se definen a continuación:

L : Flujo laminar

L₁ : Flujo laminar con taponamiento de fisuras a alta presión.

L₂ : Flujo laminar con destaponamiento de fisuras a alta presión.

T : Flujo turbulento

T₁ : Flujo turbulento con taponamiento de fisuras a alta presión.

T₂ : Flujo turbulento con destaponamiento de fisuras a alta presión.

D : Deformación de la roca.

D₁ : Deformación de la roca con taponamientos de fisuras a alta presión.

D₂ : Deformación de la roca con destaponamientos de fisuras a alta presión.

N : Absorción nula.

Se han clasificado además para el análisis de los siguientes casos:

A₁ : No se logra incrementar la presión.

A₂ : Disminuye el caudal con el incremento de presión.

6.3

Análisis de Resultados

En el anexo 4 de este apéndice se presentan a manera de registro los resultados de los ensayos de agua a presión y en los registros de perforación que se incluyen en el Anexo 3 de este apéndice se muestra la variación de absorción en unidades de Lu-geon con la profundidad para cada uno de los sondeos ensayados; igualmente se puede observar el efecto del índice de calidad de roca (RQD) con respecto a la absorción de agua.

De acuerdo a los resultados (ver Anexo 4, números de casos de absorciones y porcentajes de recurrencia) se puede deducir que en el estribo izquierdo existe una absorción entre menor de 1 UL hasta 5 UL en un 86,3% de recurrencia, lo cual, como se aprecia en la Figura C-12, se puede considerar en general como casos presentados en roca relativamente permeable situada por debajo del límite inferior máximo estimado como zona de decompresión de la roca (cota 1015 m en la perforación MS-1 y 965 m en la perforación MS-2). Más arriba de este límite se sitúan casos de absorción moderada, extrema y anómala: 5 - 10 UL, 10 - 50 UL y mayores de 50 UL. En esta zona son frecuentes diaclasas de ligeramente cerradas a abiertas, muy oxidadas. No es extraño encontrar zonas angostas de material milonitizado con zonas amplias de intensa meteorización que coinciden con el mayor porcentaje de absorciones detectadas en las perforaciones. En el estribo derecho la situación es bastante semejante a la anterior en cuanto se refiere a la línea estimada de decompresión de la roca

(cota 925 m para la perforación MS-5 y 950 m para la MS-4). El porcentaje de recurrencia de cifras menores a 1 UL es de 58,1% y entre 1 - 5 UL, de 34,9%. Casos extremos de 10 - 50 UL, se presentaron en un 7%, lo cual indica una permeabilidad un poco menor en el estribo derecho, datos que en parte los contradice el comportamiento del nivel freático observado (ver Figura C-12). Todas estas observaciones permiten suponer que arriba de la línea límite máxima estimada como zona de decompresión de la roca, se requerirán cantidades apreciables de inyección para lograr una buena impermeabilidad en el contacto de la cara de concreto con los estribos.

7. GEOTECNIA

El sitio de las obras a construir está localizado en una zona de rasgos geológicos contrastados, lo cual conlleva a analizar un cuadro de condiciones geotécnicas considerablemente variado. La investigación de las condiciones geotécnicas, para propósitos del presente informe, se ha dividido en: sitio de presa, rebosadero, sitio de casa de máquinas, alineamiento de los túneles de aducción (del río Guarinó, alternativa A y B), desviación (del río La Miel), carga (y ventana de construcción), fuga, acceso a casa de máquinas, almenara, pozo de carga y área de embalse. Se consideró además necesario definir el sistema utilizado para la clasificación geotécnica de las rocas que se presentan en el área del proyecto, para mejor ilustración.

7.1 Clasificación Geotécnica de Rocas para el Area del Proyecto

Inicialmente, utilizando una clasificación macroscópica de campo complementada con observaciones micropetrográficas, se dividió la roca aflorante en el área del proyecto, por su comportamiento geotécnico, en dos grandes grupos:

- Grupo 1 : Esquisto gris (esquisto grafitico, esquisto grafitoso-feldespático y esquisto cuarzo-feldespático).
- Grupo 2 : Esquisto verde (esquisto verde cuarcítico, esquisto feldespático-cuarcítico verde, esquisto verde, cuarcita, esquisto cuarcítico).

El análisis de los afloramientos cartografiados, la zona de influencia de la falla Palestina, unidades petrológicas definidas y la intensidad de metamorfismo permitió agrupar la roca en cuatro tipos (Goodman, 1979):

- Roca Tipo 1 : Gneiss y esquisto gnéissico (esquisto cuarcítico a cuarcita, cuarcita y cuarcita grafitosa).
- Roca Tipo 2 : Esquisto (esquisto, esquisto aluminico, esquisto cuarcítico, esquisto micáceo, esquisto filítico y esquisto feldespático).
- Roca Tipo 3 : Esquisto grafitico (esquisto grafiticos, esquisto grafitoso-cuarcítico, esquisto micáceo-grafitoso y esquisto cuarcítico-grafitoso).
- Roca Tipo 4 : Zona de roca triturada o muy fracturada cerca a la falla Palestina.

Con el detalle logrado en la presente etapa, y a pesar de sus limitaciones en algunos aspectos (densidad de perforaciones, estudios petrográficos, falta de detalle en densidad de diaclasamiento, zonas de esfuerzos y de fallamiento, profundidad de meteorización, competencia de las rocas observadas, etc.), se ha preferido clasificar la roca aflorante en el área del proyecto en cinco categorías, teniendo en cuenta las dos clasificaciones mencionadas, la de Bienawski (1976, en Goodman, 1979b), y los siguientes parámetros: litología (unidades petrológicas definidas), zona de influencia de las fallas, resistencia mecánica, índice de calidad de la roca (RQD) y porcentaje de recuperación en las perforaciones, condiciones estimadas de agua subterránea, módulo de diaclasamiento, fracturas y características de las mismas, orientación con respecto al túnel o a la obra, zonas de contacto igneo metamórfico, etc. Estos parámetros permiten clasificar la roca en cinco categorías:

A - Roca muy buena:

Cuarzodiorita sana, esquistos gris y verde de tipo néisico, gneiss, esquisto verde cuarcítico, esquisto verde sano y cuarcita. RQD alto, espaciamiento de diaclasas de 1 a 3 metros. Diaclasas rugosas y de cizallamiento, perpendiculares al túnel y foliación perpendicular al túnel.

B - Roca buena :

Cualquiera de los tipos litológicos incluidos en la clase A que presentan diaclasamiento moderado (espaciamientos de diaclasas entre 0,5 y 1,0 m), rumbo de foliación y diaclasas en posición diagonal a la obra, diaclasas cerradas generalmente no lisas, diques y/o ígneos con contacto gradacional.

C - Roca aceptable:

Esquisto gris fresco (esencialmente cuarcítico), zonas alejadas más de 25 m de la línea de contacto ígneo-metamórfico, contacto gradacional, fracturación moderada, diaclasas lisas de cerradas a ligeramente abiertas sin gran afluencia de aguas subterráneas.

D - Roca mala:

Esquisto gris meteorizado (esencialmente grafítico y grafitoso-feldespático), zonas de meteorización intensa, zonas de contacto ígneo-metamórfico, zonas de esfuerzos (superficies de fricción), orientación desfavorable de diaclasas y foliación, fracturación intensa y flujo de agua a presión.

E - Roca muy mala:

Cualquiera de los tipos de roca mencionada que se encuentre con alteración y fracturación intensa o en zonas de falla. Fracturación con flujo intenso de agua a presión, zonas de milonización y brechamiento (cataclastitas).

En las etapas posteriores, con la complementación de los datos geotécnicos antes mencionados, se deberá llegar a una clasificación basada en factores más cuantitativos que los que dieron base a la presente clasificación.

7.2

Condiciones Geotécnicas en el Sitio de Presa

El sitio escogido para la construcción de la presa en un cañón que conforma el río La Miel inmediatamente aguas abajo de su confluencia con el río Tenerife (ver Figura C-2). El cañón es de unos 1000 metros de longitud, cuyos flancos han sido labrados por el río en roca metamórfica e ígnea. El estribo izquierdo tiene como fundamento la cuchilla La Divisa; el derecho, la estribación norte del cerro Morrogacho. Los taludes dentro del área

que cubrirá la presa tienen pendientes que oscilan entre 35° y 75°, presentando sectores cubiertos por depósitos de pendientes y suelo residual cuyo espesor se estima menor a los cinco metros. La zona de meteorización, moderada, puede alcanzar hasta los 50 - 60 metros, no pasando la zona de posible decompresión de la roca (ver Figura C-12), cuyo máximo espesor ha sido calculado en 130 metros en base a los resultados de las perforaciones MS-1, MS-2, MS-4 y MS-5. La disposición general de la foliación es favorable para la construcción de la presa ya que los esquistos hornofélsico (ehb), gris (esg) y verde (ev) buzan al oeste, en dirección hacia aguas arriba, con valores comprendidos entre 35° y 80°. El contacto ígneo-metamórfico tiene en promedio 45° de buzamiento, también al oeste. La estructura geológica de los dos estribos es similar, aunque los replegamientos son más notorios en el estribo izquierdo.

El cañón del río La Miel parece estar afectado por fallas con zonas no muy amplias de brechamiento y milonitización. Las perforaciones MS-3 y MS-6 registraron una falla que probablemente coincide con el curso del río La Miel (ver Figura C-2), con una brecha de un espesor tal vez menor a los cinco metros. Al este del eje de presa y aguas abajo del contacto ígneo-metamórfico, la falla La Miel tiene una zona de influencia cataclástica de tres a cinco metros, con intenso diaclasamiento y disyunción esferoidal, siguiendo el curso del río La Miel dentro del Stock de La Bella. Otras dos fallas inversas con poco desplazamiento (tal vez no mayor de los 30 m) se manifiestan al SE del eje de presa; en ambos casos sus zonas con roca intensamente diaclasada no superan los 30 metros de espesor.

Las condiciones geotécnicas de la masa rocosa bajo superficie en el sitio de presa se investigaron con cinco perforaciones y una galería de exploración de 40 metros de longitud. Los resultados de las perforaciones (ver Anexo C-3) indican que los estribos de la presa están conformados por una secuencia de esquistos gris y verde, bastante sana, fresca, muy replegada, poco fracturada, competente, de alta resistencia. La secuencia está interrumpida por una brecha de falla (expresión de la falla La Miel) inferida ya en la superficie y comprobada en las perforaciones MS-3 y MS-6. La excavación de la galería G-1 (ver Figura C-3) expuso, igualmente, una masa de esquistos gris, crenulado, duro, fresco con intercalaciones de delgados paquetes de cuarcita. En la galería se observaron tres zonas de fractura

ción intensa a milonitización, que presentan infiltración moderada de aguas superficiales.

Los sistemas de diaclasamiento más notorios son tres (ver figuras C-2 y C-3), presentando los siguientes módulos: el primer sistema, con azimut de 170° y 65° de buzamiento, manifiesta diez diaclasas por metro (módulo = 0,10 m), las cuales son generalmente continuas, lisas, abiertas, oxidadas y se disponen en posición paralela al curso del río; el segundo sistema es más frecuente aguas arriba del eje de presa y parece estar asociado a esfuerzos tangenciales; corresponde a zonas de clivaje y fracturas menores con brechamiento y milonitización; su azimut es de 295° con un buzamiento de 50° ; entre las quebradas Circasia y Circasita se observan de 50 a 100 diaclasas por metro (módulo = 0,01 - 0,02 m). El tercer sistema es poco representativo, con diaclasas discontinuas, cizalladas, de azimut 45° y buzamiento 45° ; el sistema presenta de 6 a 12 diaclasas por metro (módulo 0,16 - 0,09 m) y se localizan ante todo cerca al contacto ígneo-metamórfico. En general, el módulo de diaclasamiento de los tres sistemas en el sitio de presa está comprendido entre 0,01 y 0,16 m.

Las rocas del sitio de presa (ver Figura C-13) son esencialmente de categorías A, B y C (roca muy buena, buena y aceptable). La roca de mala a muy mala (categorías D y E) se restringe a corredores que irradian de la zona de contacto ígneo-metamórfico desde el cauce del río La Miel y/o corresponden a zonas de falla o de contacto ígneo-metamórfico. Estos corredores están constituídos por roca diaclasada (cuyo espesor no supera los 30 m) que contienen zonas más angostas (menores a los 5 m) en las cuales la roca está de brechada a milonitizada (ver registros de perforaciones MS-3 y MS-6 en Anexo 3 y figuras C-2 y C-3).

En general, el sitio de presa posee condiciones geológicas y litológicas favorables para el emplazamiento de una presa de la magnitud proyectada para Miel II. La brecha detectada en el río La Miel requiere "tratamiento dental", a fin de lograr una base homogénea y resistente para cimentar el núcleo de la presa. Esta zona debe ser tratada con inyecciones de concreto para impedir infiltraciones y limitar las presiones de los poros en la fundación. Este tipo de problema es bastante común y no tiene requisitos especiales. Hay que limpiar la zona por medio de inyecciones de agua y concreto hasta llenado o técnica de Packer.

La zona de pérdida del corazón (en las perforaciones MS-3 y MS-6) puede identificarse y tratarse en la superficie durante la limpieza de la fundación" (Goodman, 1979b). Se requiere también tratamiento a base de una cortina de inyecciones en la zona máxima estimada de decompresión de la roca (ver Figura C-12), para impermeabilizar los estribos donde se cimenta la presa.

Para la remoción de depósitos no consolidados en las laderas no se prevén dificultades, ya que su espesor es menor a los cinco metros.

7.3

Condiciones Geotécnicas en el Rebosadero

Para el rebosadero se consideraron dos alternativas: en canal abierto y en túnel. El rebosadero en canal abierto (ver Figura C-2) es una excavación localizada en el estribo izquierdo (cuchilla La Divisa), con una longitud de 160 metros y un rumbo de N85° W. Su pared derecha tiene una altura máxima de 75 m y 65° de talud; la pared izquierda tiene una altura máxima de 140 m y un talud de 50°. La investigación de superficie para el sitio de presa es aplicable para las alternativas de rebosadero. Según los datos proporcionados por la perforación MS-1, la masa rocosa donde se excava el canal del rebosadero está constituida por una secuencia de esquisto gris (esg) y esquisto verde (ev), de neisosos a migmatíticos, con zonas con diaclasas abiertas a ligeramente cerradas, muy oxidadas; la roca tiene elevado índice de permeabilidad (ver Figura C-12 y Anexo 3). Al final de la perforación la roca metamórfica se presenta intruída por diques de composición intermedia. El esquisto está intensamente replegado con diaclasas lisas y/o rugosas presentando relleno de pirita, calcita y óxidos. El módulo de diaclasamiento oscila entre 0,1 y 1 m. Se excavará en rocas de calidad aceptable a buenas y muy buenas en la base del canal (85% de la roca corresponde a categorías A, B y C) y roca de mala a muy mala (categorías D+E: 15%). Debe de tenerse en cuenta la zona de meteorización de moderada a intensa que puede alcanzar los primeros 50 - 60 metros de profundidad, en la parte más alta de la cuchilla La Divisa.

Con base en las características de las diaclasas, de la foliación y de la esquistosidad en el sitio del rebosadero, Goodman (1979b) " . . . establece la seguridad en general de una excavación para rebosadero con pendientes de 50° con la horizontal para los

cortes. Cualquier pendiente más plana hará aflorar las líneas de intersección y los vectores de buzamiento. Si el corte se hace con bermas, puede haber derrumbes aislados de las bermas si se caen cuñas y lajas. Sin embargo no puede haber falla grande en las pendientes".

La alternativa de rebosadero en túnel se localiza en el estribo izquierdo hipsométricamente debajo de la alternativa en canal. Consta de dos túneles paralelos que tienen una longitud de unos 360 m cada uno con un diámetro de 12,5 m que se reduce paulatinamente en los primeros 250 m para pasar a 9 m en los tramos finales. La perforación MS-2, en su parte más profunda, interceptó una alternancia regular de esquisto gris y verde, de muy buena calidad. El rumbo general de los túneles proyectados es E-W, con condiciones litológicas y estructurales semejantes a las descritas para el rebosadero en canal. Los túneles encontrarán un 81% de roca de buena a muy buena (categorías A y B), un 11% de roca aceptable (categoría C) y un 8% de roca mala a muy mala (categorías D y E). Estas últimas categorías corresponden a zonas de contacto ígneo-metamórfico, diaclasamiento intenso y zonas superficiales con suelos residuales, derrubios de pendiente y meteorización intensa.

7.4

Condiciones Geotécnicas del Sitio de Casa de Máquinas

La casa de máquinas está emplazada en la abscisa K8+900 del alineamiento de los túneles de carga y fuga (ver Figura C-5) a la cota de 469,20 m, unos 430 metros por debajo de la cota de superficie del lugar (margen derecha de la quebrada La Negra). La casa de máquinas (caverna principal) es una excavación de 81.5 metros de longitud, 18 m de ancho y 34 metros de altura máxima. La caverna de transformadores tiene una longitud de 64 metros, 13 m de ancho y 14 m de altura. Las dos cavernas se disponen paralelas entre sí y a una distancia, la una de la otra, de 22 m, con rumbo paralelo a los túneles de carga y fuga en el trayecto (N85°E), es decir transversalmente a las estructuras del área. El área de casa de máquinas está constituida por una alternancia de esquisto gris (esg) y esquisto verde (ev) de buena calidad intensamente plegados, conformando pliegues profundos y asimétricos, con buzamientos de 70° a 75°. En superficie fueron observados dos sistemas de diaclasamiento: 175°/70° y 40°/60°. La perforación MT-1 permitió observar aproximadamente

150 diaclasas (de cerradas a abiertas, algunas de ellas con señales de oxidación) en el trayecto de los 250 metros de roca perforada, lo cual da un módulo de 1,67 metros.

Las posibles infiltraciones de agua pueden tener características similares a la registrada a la profundidad de 38 metros en la perforación MT-1. Se trata de infiltraciones de caudal que fluye a presión a través de diaclasas y zonas de contacto entre esquisto gris y verde. La zona de la quebrada La Negra es un alineamiento de esfuerzos (compresivos, posiblemente), expresados en forma de superficies de fricción, generalmente a lo largo de los planos de foliación y principalmente en el esquisto gris, como puede observarse en la perforación MT-1. Las dimensiones de la caverna para una casa de máquinas exigen para su excavación que la roca donde se emplace sea autosoportante, pues es muy difícil proveer soporte artificial para cavernas de tal tamaño. Por lo tanto no debe considerarse ningún tipo de soporte estructural. Se deberá usar un sistema de suficientes pernos de anclaje, con malla y gunita, como es la práctica común en estos casos, para evitar desprendimientos de roca.

A pesar de que la caverna ha sido desplazada para alejarse de la zona de esfuerzos, no existen conocimientos suficientes para determinar el comportamiento de la roca en su nueva localidad. En etapas posteriores deberá perforarse suficientemente, con núcleos orientados, para establecer con mayor seguridad dicho comportamiento.

En la planeación de dicho grupo de perforaciones debe tenerse en cuenta la posibilidad de encontrar una vez más, zonas de esfuerzos, lo que implicaría aumentar el número de perforaciones hasta encontrar una zona adecuada. El riesgo de que esto ocurra podría tal vez disminuirse con un estudio al más alto grado de detalle (escala sugerida 1:500) de las superficies de fricción que se pueden observar en el terreno, en un área suficientemente grande como para poder predecir preliminarmente la dirección de los esfuerzos a profundidad.

El ajuste final sobre la orientación de la caverna de máquinas

deberá tomarse durante la construcción, una vez se haya excavado el túnel de acceso y se haga una investigación geotécnica detallada in situ, como debe ser la práctica en excavaciones subterráneas de esta magnitud.

7.5

Condiciones Geotécnicas del Alineamiento de los Túneles

Los túneles proyectados en general atraviesan roca metamórfica de buena calidad, en algunos tramos afectada por zonas de influencia cataclástica de fallas y zonas de esfuerzos. Las rocas ígneas, también de buena calidad, solamente serán interceptadas por el túnel de carga en el área de la quebrada Santa Rita. La longitud total estudiada de las diversas alternativas de túneles es aproximadamente 45 km, alcanzando los mayores techos de roca en las alternativas de túnel de aducción del río Guarinó, donde miden 700 metros, lo cual aunado a las espesas y amplias cubiertas de depósitos cuaternarios, dificulta la predicción a profundidad de las condiciones geológicas y geotécnicas a encontrar durante su excavación.

7.5.1

Alternativas A y B del Túnel de Aducción del Río Guarinó

Para la desviación de las aguas de los ríos Guarinó y Santo Domingo hacia el embalse de Miel II se tuvieron en cuenta varias alternativas, de las cuales se consideraron dos, denominadas en el presente informe como alternativas A y B.

La Alternativa A (ver figuras C-6 y C-7), de una longitud total de 14,3 km, se inicia a la cota 1100 m con una dirección de N 9°W en una longitud de 2,0 km; luego por una longitud de 10,1 km con dirección N19°E y el último trayecto con dirección N28°E y 2,2 km de extensión, con el portal de salida a la cota de 1062 m.

Con base en los datos de superficie y las dos perforaciones efectuadas (GT-1 y GT-2) se pretende establecer una secuencia estratigráfica y estructural preliminar a profundidad a lo largo del

túnel. El alineamiento ha sido dividido en ocho sectores (ver Figura C-7). Un resumen de las características de cada sector se presentan a continuación:

SECTOR	SECCIONES	LONGITUD Y RUMBO DEL TUNEL EN ESTE SECTOR	RUMBO DE LA FOLIACION Y BUZAMIENTO PROMEDIO	DIACLASAMIENTO CON REPRESENTACION EN LOS POLOS DEL DIAGRAMA	UNIDADES CORTADAS POR EL TUNEL
I	Río Guarín Carretera La Ceiba - La Playa Río Sto. Domingo	L = 2000 m R = N 9° W	N 10° E a N 30° E con buzamiento de $\pm 60^\circ$ W	Polo II Polo III (secundario)	ZPICP - 280 m esg 1060 m ev 660 m
II	Carretera a Las Margaritas	L = 2600 m R = N 19° E	N 10° - 40° E con buzamiento de 30° a 60° W	Polo II - II' Polo III (secundario)	esg 1190 m nq 170 m ev 1240 m
III	Quebrada Santa Bárbara	L = 970 m R = N 19° E	N 0° - 20° E con buzamiento de 60° - 80° al E y W	Polo I (disperso)	ev 970 m
IV	Carretera a San Juan - La Siria	L = 1530 m R = N 19° E	N 30° - 50° E con buzamiento $\pm 40^\circ$ NW - N 30° - 40° W / $\pm 25^\circ$ SW	Polo I' y II' Polo III (disperso)	ev 1380 m esg 150 m
V	Río San Juan Quebrada La Ceiba	L = 1350 m R = N 19° E	N 10° - 40° E con buzamiento entre 60° - 90° al NW y SW	Polo II Polo IX (Secundario)	esg 1350 m
VI	Carretera La Quebra - Marquetalia	L = 1980 m R = N 19° E	N 0° - 50° E con buzamiento de 30° - 50° al SE y NW N 0° - 70° W con buzamiento de 30° a 40° NE	Polaridad dispersa	nq 150 m ev 1710 m esg 120 m
VII	Carretable La Quebra - El Placer y Quebradas Los Alacranes, San Luis, Los Sainos y La Esperanza	L = 2360 m R = N 19° E R = N 28° E	N 20° W a N 40° E con buzamiento al E y W de 50° - 90°	Polo II Polo IX (Secundario)	esg 3930 m Diques 30 m
VIII	Río La Miel Carretera Río La Miel - Marquetalia	L = 1600 m R = N 28° E	N 0° - 30° W / 50° - 70° NW N 0° - 30° E / 50° - 80° SW	Polos I y II	

Como se puede observar, las unidades litológicas han sido determinadas con respecto a su textura, composición mineralógica, color, dureza, compactación, fracturación, etc. El alineamiento del túnel atraviesa roca metamórfica de bajo grado con esquistosidad variable, cuya fisibilidad está en relación directa con el contenido de cuarzo y minerales micáceos. Las unidades geológicas cartografiadas contienen intercalaciones delgadas y/o variaciones litológicas. La foliación es en general paralela, con pliegues locales de ejes inclinados, que aumentan en la zonas de influencia de fallas. A pesar que se espera menor diaclasamiento a profundidad, se ha preferido, como factor de seguridad, emplear una densidad igual a la observada en superficie.

El diagrama de contornos para diaclasas al occidente de la falla Palestina se presenta en la Figura C-7. Además, se elaboró un diagrama de contornos para densidad de diaclasas para toda el área del alineamiento, que comprende ambos lados de la falla Palestina. Dicho diagrama muestra el desarrollo de tres sistemas de diaclasas conjugadas y un sistema sin complemento dis-

tribuidos así:

Polos I-I': entre $N70^{\circ}W$ - $N77^{\circ}W$ y $S70^{\circ}E$ - $S77^{\circ}E$ con buzamiento entre 80° - 90° al NE y SW, respectivamente.

Polos II - II': entre $N51^{\circ}W$ - $N62^{\circ}W$ y $S51^{\circ}E$ y $S62^{\circ}E$ con buzamiento entre 70° y 80° al NE y SW, respectivamente.

Polos III - III': entre $N15^{\circ}E$ - $N23^{\circ}E$ y $S15^{\circ}W$ - $S23^{\circ}W$ con buzamiento entre 80° y 90° en sentido NW y SE, respectivamente.

Polo IV: Diaclasamiento horizontal a subhorizontal (hasta 10°)

Se elaboraron también diagramas puntuales de foliación y diaclasas para cada sector y sus resultados se compararon con los del diagrama general. Las conclusiones de esta comparación se muestran en el cuadro anterior.

La disposición predominante de las estructuras que conforman las unidades metamórficas conservan un rumbo general NS con buzamiento predominante hacia el W, conformando posiblemente una estructura de tipo regional dentro del complejo metamórfico. Desviaciones locales del rumbo regional corresponden a zonas de fallamiento o repliegues, consecuencia de la competencia y/o carácter de la roca misma. El alineamiento del túnel corta el rumbo de las unidades en ángulo que varía de 0° a 25° al E y W aproximadamente.

El alineamiento cruzará fallas o zonas que presentan fracturación intensa; las observaciones de campo de estos fenómenos permiten estimar que son franjas delgadas con espesores o ancho no mayores a 10 metros de roca triturada y 100 m aproximadamente de roca mala a aceptable, dependiendo de la litología que afecta. Las fallas se encontrarán en el túnel transversalmente a este, con brechas sueltas o consolidadas por 5 a 40 metros. Las brechas y milonitas no consolidadas pueden presentar flujos de tie-

rra e irrupciones de agua, y por lo tanto es conveniente efectuar perforaciones horizontales durante el avance para prever las medidas adicionales requeridas para la excavación.

Para las zonas de falla será necesario efectuar una excavación escalonada, cuando se presente flujo moderado a grande de material triturado. En esos casos se debe aplicar gunita en un tiempo menor que el de autosoporte. En el caso de la zona de influencia de la falla Palestina (sector I) es posible encontrar un trayecto en estas condiciones.

La zona de influencia de las fallas que atraviesan el alineamiento han sido clasificadas como categorías D y E. En esta alternativa se estima que aproximadamente en 3% (400 m) atravesará material de categoría D y un 7% (940 m) atravesará material de categoría E.

El resto de la excavación del túnel se hará en roca que varía de categoría A a categoría C; se estima que el túnel atravesará un 46% (6550 m) de roca de categoría A, un 33% (4740 m) de roca de categoría B y un 11% (1640 m) de roca de categoría C.

La roca de clase A posiblemente no requiera ningún tipo de soporte; sin embargo, en zonas de contacto con rocas de menor calidad es posible que pueda requerir soportes. Para roca de la clase B, el tiempo de autosoporte es amplio (posiblemente tres meses), pero probablemente requerirá refuerzos en zonas restringidas. Para rocas correspondientes a las clases C y D, es decir esquistos fisibles, laminares, meteorizados y/o fracturados, se necesitará aplicar pernos de roca anclados con resina.

Debido al paralelismo que posiblemente se presentará en el túnel y la dirección de la foliación y/o planos de diaclasas, en tramos relativamente cortos pueden generarse desprendimientos de bloques, lo cual deberá ser controlado mediante la ubicación sistemática de pernos. En donde se excaven esquistos fisibles (categoría C), que poseen bajo ángulo de fricción ($\phi = 16^\circ - 17^\circ$ en seco y de 12° húmedo) y que por lo tanto generan progresivamente

presiones laterales altas, con un factor de erodabilidad/alteración grande, será necesario aplicar refuerzos estructurales, tales como pernos de roca de expansión y concreto neumático. El anclaje de pernos de roca se debe disponer perpendicular a la foliación con el fin de evitar deformación e inestabilidad en la base de la pared y en la corona.

Como los replegamientos producen planos lisos no continuos, diaclasamiento irregular en algunos casos rugosos y crenulaciones y asperezas ocasionales, es de esperar que dichas irregularidades contribuyan a fortalecer la masa rocosa; sin embargo, estas situaciones implican observaciones cuidadosas durante la excavación que permitan conocer o controlar el aflojamiento de la masa rocosa y tratarla debidamente, a fin de evitar grandes flujos y/o desprendimientos de bloques.

En cuanto a erodabilidad, las unidades de esquistos verdes y grises son los que presentan mayor facilidad a la meteorización-erosión, dadas su composición mineralógica y esquistosidad, para lo cual es conveniente efectuar ensayos de resistencia al desgaste/abrasión simultáneamente a la construcción. Las anteriores observaciones se deducen de que estas rocas al aflorar en las partes topográficamente altas, tienen meteorización intensa y han sido fácilmente cortadas, formando angosturas en las quebradas. Esta consideración sugiere que será prudente utilizar revestimiento a todo lo largo del túnel.

Es posible encontrar esfuerzos tectónicos residuales que produzcan deformaciones en la roca en tiempo corto, luego de la excavación, para lo cual se sugiere que un aumento de la longitud en el anclaje es suficiente, sin necesidad de alterar el espesor del concreto neumático.

La presencia de diques y/o silos ha contribuido a rellenar/sellar antiguas zonas de fracturación; sin embargo, los contactos con la roca encajante pueden producir infiltraciones de agua; en este caso deben sellarse con concreto neumático.

No debe descartarse la posibilidad de la presencia de gases azu

frados o sulfurosos, aguas termales y zonas con alteración hidrotermal, dado que al occidente del área en estudio se reconocieron rocas que pertenecen al cinturón volcánico (en extinción) de la Cordillera Central. La presencia de sulfuros (pirita y calcopirita) en esquisto grafitico y zonas de falla con aguas subterráneas pueden generar ácido sulfúrico, el cual causará problemas al concreto y refuerzos estructurales utilizados en la construcción.

La Alternativa B tiene una longitud total de 15.2 km así: los primeros 0.9 km con dirección S35°E, seguidos por 2.0 km en dirección N55°E, 3.8 km en dirección N36°E, 2.9 km en dirección N20°E, 5.3 km en dirección N7°E y 0.3 km en dirección N55°W.

El portal de entrada o bocatoma se localizó a la cota 1100 m y el portal de salida quedaría en la cota 1050 m, a un kilómetro de la desembocadura de la quebrada Saínos en el río La Miel. Esta alternativa se diseñó con un sifón que permite cruzar por debajo el río Guarinó sin necesidad de que el túnel salga a superficie; este sifón está situado en el kilómetro 9.5 y tiene 200 m de profundidad y 420 m de longitud.

Las unidades litológicas que componen la geología de la región son semejantes a las descritas para la Alternativa A; sin embargo, la disposición u orientación de la foliación (oscila entre 0° y 55°), diaclasamiento y fallamiento, varía considerablemente con respecto al alineamiento. En los primeros nueve kilómetros serán excavadas unidades de anfibolita (portal de entrada), correspondiente a la categoría C y posiblemente D, por la meteorización intensa que se encuentra y luego unidades de esquisto verde, clase B, y esquistos grises que varían entre categoría B y C según el contenido mineralógico. En este tramo se reconocieron también algunas fallas geológicas con características iguales a las de la Alternativa A y que cortan el alineamiento transversalmente. Del kilómetro 9.0 al kilómetro 11.5, la roca (esquisto verde) de excelente calidad, está afectada por plegamientos paralelos al alineamiento. El último tramo hasta el portal de salida corresponde a una zona de fallamiento subparalela al alineamiento, la cual presentará dificultades durante la excavación y necesidad de soportes y recubrimiento en todo este trayecto.

En el sector que va desde la quebrada El Diamante hasta la falla San Juan se observaron gruesos depósitos de pendiente que posiblemente hagan variar las apreciaciones sobre el techo deseado y técnicamente necesario. Solamente por medio de exploraciones detalladas del subsuelo se podrá determinar la validez de dichas apreciaciones. También serán necesarias otras perforaciones en el cauce del río Guarinó, en la localidad del sifón y en la quebrada La Parada, y cartografía detallada de los depósitos de pendiente en los alrededores del portal de salida, donde se observaron grandes masas de suelo o material no cohesivo con tendencia a inestabilidad al cambiar las presentes condiciones.

7.5.2 Desviación del Río La Miel

El túnel de desviación (ver Figura C-5) está situado en la margen izquierda del Río La Miel y tendrá una longitud de 760 metros, con un diámetro en herradura de 8.4 metros. Su portal de entrada se localiza a unos 170 metros aguas abajo de la confluencia del río Tenerife. En sus primeros 160 metros el túnel tiene un rumbo de N-37°E, diagonal al de la foliación y el contacto del esquisto gris y verde; el siguiente tramo, de 600 m, cruzará normalmente 400 m de una alternancia irregular de esquistos gris, verde y hornfésico; los últimos 200 metros serán excavados en la curzodiorita biotítica del Stock de La Bella. Allí su rumbo es S78°E.

En el área del sitio de presa (ver Figura C-2) existen tres sistemas fundamentales de diaclasamiento. El sistema principal (azimut 170°/65°) tiene un módulo de 0,1 m y se extiende paralelo o subparalelo al túnel. Los otros dos (295°/50°/45°) tienen módulos de 0,01 a 0,16 m y encontrarán al túnel transversalmente. Por los testigos recobrados en las perforaciones MS-1, MS-2, MS-3 y MT-4 se pueden evaluar las posibles condiciones geotécnicas de excavabilidad en el túnel de desviación a la profundidad requerida: tanto el esquisto como la cuarzodiorita poseen alta competencia, son rocas generalmente sanas, masivas, con diaclasas abiertas y cerradas, generalmente soldadas por calcita, pirita y clorita. Existen diaclasas maestras con indicaciones de cierto desplazamiento. La perforación MS-3 localizó en profundidad la zona de brecha de la falla de La Miel, que posiblemente el túnel de desviación interceptará en la zona media del mismo. Todas estas características permiten concluir que el túnel de desviación no requiere revestimiento en zonas amplias, y que sus portales de entrada y salida se excavarán en roca fracturada y meteorizada en no más de unos 30 a 40 metros de longitud.

Las zonas esporádicas de esfuerzo y clivaje, en roca metamórfica, deben tratarse con concreto neumático, malla y pernos no tensionados; las posibles zonas de brecha requieren un tratamiento adecuado, tal vez arcos de acero y concreto reforzado. Se considera que la cuarzdiorita biotítica no presentará dificultades para su excavación, debido a su alta calidad geomecánica. Se espera encontrar roca de los tipos A y B en un 77% del túnel y roca de tipo C en un 13%. Roca de mala a muy mala (tipos D y E) se harán presentes en menos de un 10% de la longitud del túnel.

7.5.3 Túnel de Carga, Ventana de Construcción y Túnel de Fuga

Las tres obras (ver Figura C-5) están localizadas por la margen izquierda del río La Miel, en un alineamiento de aproximadamente 11,5 km de longitud, con un rumbo general N75°E. El túnel de carga tiene una longitud de 8.780 m y sección en herradura con un diámetro de 5,50 m. El alineamiento ha sido dividido en seis sectores, cuyas características, con base en los datos de superficie y cuatro perforaciones efectuadas (MT-1 a 4), se presentan a continuación:

SECTOR	SECCIONES	LONGITUD Y RUMBO DEL TUNEL EN ESTE SECTOR	RUMBO DE LA FOLIACION Y BUZAMIENTO PROMEDIO	SISTEMAS DE DIACLASAMIENTO	UNIDADES CORTADAS POR EL TUNEL
I	Cuchilla La Divisa	L = 850 m R = N 47° E	N 25° W a EW con buzamiento de 10° a 80° del SE al NW	± N 80° E con buzamiento de 1 65° al S ± N 25° E con buzamiento de 1 50° al W ± N 45° W con buzamiento de 45° al NE	ev — 200 m ehv — 600 m Tda — 50 m
II	Quebrada Santa Rita	L = 1810 m R = N 47° E y N 70° E		± EW con buzamiento de 40° al N ± N 70° E a N 80° W con buzamiento de 80° a 85° al E	Toda — 1810 m
III	Santa Rita y Quebrada de Las Animas y El Gato	L = 2230 m R = N 70° E	Dispersa N 70° W a N 10° W con buzamiento de 10° a 85° al NE N 40° E a N 75° E con buzamiento al NW	± N 70° E con buzamiento de 1 80° al SE ± N 30° E con buzamiento de 1 25° al SE ± N 30° W con buzamiento de 1 60° al SW	ehb 350m ev 170m esg 1710m
IV	Quebradas La Cristalina, La Mina y El Pital	L = 3830 m R = N 70° E y N 85° E	NS a N 50° E con buzamiento de 20° a 85° del W al NW N 40° W a N 30° E con buzamiento de 45° a 80° del NE al SE	N 60° E con buzamiento de 1 85° al SE EW con buzamiento de 70° al N N 60° W con buzamiento de 1 75° al SW	ev 850m esg 2750m Diques 230m
V	Quebradas La Negra y La Coriaño	L = 1580 m R = N 68° E	SN a N 40° E con buzamiento de 60° a 85° del E al SE SN con buzamiento al W	N 85° E con buzamiento de 70° al S N 50° W con buzamiento de 60° al NE	ev 260m esg 1320m
VI	Cuchilla La Maratona	L = 1550 m R = N 68° E y N 50° E	N 10° W a N 55° E con buzamiento de 55° a 85° del NE al SE N 35° W a N 55° E con buzamiento de 50° a 85° del SW al NW	N 75° E a EW con buzamiento de 50° a 85° al N N 80° E a EW con buzamiento de 80° a 90° al S N 60° W a N 50° W con buzamiento de 70° a 80° al SW	ev 270m esg 1280m

El túnel se iniciará a la cota 985 m con dirección N47°E en una longitud de unos 1200 m; posteriormente en un trayecto de 3850 m con rumbo N70°E, más adelante el curso del alineamiento tiene una dirección N85°E en un tramo de aproximadamente 3300 m para llegar al pozo, en la cota 930 m. La bocatoma y los primeros

850 m cruzarán los esquistos gris, verde y hornfésico del sitio de presa, cuyas condiciones serán muy semejantes a las del túnel de desviación del río La Miel. Aproximadamente los siguientes 1500 metros se excavarán en la cuarzodiorita biotítica (ver Figura C-5 y perforación MT-4) del Stock de La Bella, cuyas características de autosoporte son las mejores del proyecto. Como la cuarzodiorita de La Bella no presenta ningún grado de alteración en los corazones recobrados a la profundidad del túnel, en el trayecto se espera que no habrá sobreexcavación en este sector. Infiltraciones de agua a presión por sistemas de diaclasamiento son de esperar, ante todo en las zonas de contacto ígneo-metamórfico, diques y parte central del Stock, puesto que ésta parece ser una zona de debilidad en el cuerpo ígneo; esto se debe posiblemente a cambios en la composición químico-mineralógica del mismo. En el siguiente trayecto, desde el km 2 + 400 m al km 2 + 750, se excavará esquistos hornfésico.

En este túnel la mayor parte de la roca a excavar es de categoría A y B, exceptuando las zonas de contacto ígneo-metamórfico, y posibles zonas esporádicas de fracturación, esfuerzos y clivaje, y la zona de meteorización del portal de entrada del túnel. El trayecto comprendido entre el km 2 + 750 m y el km 4 + 600 m comprende una sucesión de roca metamórfica (esquistos gris y verde) plegada y afectada por las fallas de Las Animas, que posiblemente serán interceptadas en el km 3 y km 3 + 800 m. En ellas se espera una zona de influencia cataclástica reducida con delgadas zonas de brechamiento y milonitización, roca que se clasifica como categorías D y E. El túnel en el sector interceptará las estructuras en forma oblicua a normal, lo cual es un factor favorable para la excavación del mismo; no así el principal sistema de diaclasamiento del área que será seguido paralelamente. El siguiente sector del túnel, comprendido entre el km 4 + 600 m, hasta el lugar de excavación del pozo, atravesará la misma sucesión litológica de roca metamórfica, más intensamente plegada y frecuentemente instruída por diques de composición intermedia, duros, masivos, de grano fino a grueso situados en posición de vertical a fuertemente empinados. El sector más afectado es el de la hoya de la quebrada La Cristalina, correspondiente al flanco occidental del sinclinal de California Baja. Las hoyas profundas de las quebradas La Cristalina y La Mina, corresponden a una zona de fracturación que sigue el rumbo del principal agente ígneo-tectónico perturbador del área, el complejo

ígneo de Samaná (Kds), el cual probablemente tiene un buzamiento hacia el sur menor a los 45°. Su zona de contacto es intensamente brechada. Los diques y zonas de fracturación y brechamiento, como lo mostró la perforación MT-3 (ver Anexo 3), pueden presentar dificultades, entre ellas desprendimientos y sobreexcavación en el proceso de construcción.

En general, durante la construcción del túnel, se espera encontrar una masa rocosa en gran mayoría con buenas condiciones: aproximadamente el 73% del alineamiento cruzará rocas de categorías A+B y un 17% de categoría C. Las zonas intensamente afectadas (fracturas, brechas, milonita y flujo de agua a presión, como lo mostraron las perforaciones MT-3 y MT-2) conformarán posiblemente menos de un 10% de la roca a excavar. Para la ventana de construcción se esperan condiciones semejantes a las del túnel de carga en su trayecto final, siendo el 90% de sus 110 metros de longitud de categorías A+B, y el resto una zona de meteorización en el portal de entrada de la ventana.

El túnel de fuga tiene una longitud de 2750 metros y sección en herradura de seis metros de diámetro. El túnel desciende de la cota 462 m a 450 m en el portal de salida al río La Miel. El trayecto inicial, de unos 1500 m tiene un rumbo de N68°E, girando a N50°E en el tramo final. El túnel de fuga cruzará roca metamórfica (generalmente refoliada en el tramo final); las estructuras están dispuestas favorablemente para su excavación. En la parte inicial del túnel se presenta una zona de esfuerzos (perforación MT-1) con frecuentes superficies de fricción y un alineamiento (posiblemente una falla). El módulo de diaclasamiento en la zona de quebrada La Negra es de 1,73 metros. Las diaclasas están orientadas desfavorablemente. Como lo mostró la perforación MT-1, son de esperar flujos de agua a presión a la profundidad del túnel. Se espera encontrar allí cerca de un 85% de roca de categorías A+B, un 5 % de C, y un 10% de roca D+E en las zonas de esfuerzo y fallamiento.

Los tramos donde los túneles de carga y fuga encuentren esquisto gris, especialmente de grafitico y grafitoso-feldespático homogéneo serán los más propicios para la sobreexcavación y desprendimientos de masa rocosa, pues su capacidad de autoporte es inferior a las rocas de categorías A y B que son a grandes rasgos autosoportables. Es probable que sea necesario soportar con arcos de acero y concreto reforzado aquellos tramos donde

se presenten rocas de las categorías D y E para evitar sobre-excavación. Las posibilidades de explosiones espontáneas de cargas de dinamita por efecto de corrientes electrostáticas en el esquisto grafitico requiere que éste sea tratado con normas de seguridad adecuadas, a fin de evitar accidentes por tal causa. Es aconsejable también, especialmente cerca de las zonas de fractura, fallamiento, esfuerzos y contactos, hacer perforaciones dirigidas para explorar la posibilidad de controlar a tiempo y adecuadamente los problemas que ellos presenten.

7.5.4 Túnel de Acceso a Casa de Máquinas

El túnel de acceso (ver Figura C-5) tiene una longitud de 770 m con dirección S45°W. Se inicia aproximadamente en la cota 550 m hasta descender a la caverna de máquinas. El túnel atravesará esquisto gris y verde. Se espera que en su mayoría sea roca sana. El alineamiento del túnel interceptará, tal vez, la zona de esfuerzos con superficies de fricción, cerca a la casa de máquinas; por este concepto, la roca de categoría D+E puede ser inferior al 10% (la mayor parte de este porcentaje corresponde al portal de entrada del túnel); el restante 90% es roca de aceptable a muy buena.

7.5.5 Almenara y Pozo de Carga

La almenara (ver Figura C-5) tiene una altura de 102 m y una sección circular con diámetro de 14 m. Se excavará esencialmente en esquisto gris; el esquisto verde se encuentra posiblemente en la parte superior de la misma. El 76% de la roca a excavar es de categorías A y B. La zona de suelos residuales y meteorización constituye cerca del 24% de la longitud de la almenara.

El pozo de carga (ver Figura C-5) tiene una altura de 430 metros con una sección circular de 5,5 metros de diámetro. El pozo cruzará esquisto verde en su parte superior, para luego pasar a esquisto gris. Se espera encontrar un 68% de roca de categoría B, un 14% de categoría C y un 18% en categoría E.

Tanto la almenara como el pozo de carga se localizan en las cercanías de la zona de esfuerzos de la quebrada La Negra, como muestra la perforación MT-1 (ver Figura C-5). Es recomendo

dable en las zonas donde se encuentran rocas de categorías D y E, que se empleen arcos de acero y concreto reforzado.

7.6

Condiciones Geotécnicas en el Area de Embalse

El área de embalse (ver Figura C-4) comprende los cañones de los ríos La Miel, Pensilvania y Tenerife, y sus afluentes por debajo de la cota 1045 sobre el nivel del mar. El embalse cubre un área total de 2,35 Km².

Los cañones de los ríos mencionados arriba son de gradientes relativamente suaves, con pendientes mayores en las zonas de cambio litológico (de cuarcitas a esquisto gris y de esquisto verde a esquisto gris), donde pueden alcanzar un 6% de gradiente. Meandros poco notorios se localizan en la zona de falla Palestina. Los cortes transversales en los ríos mencionados muestran dos tipos de pendiente: relativamente suave, arriba de la cota 1050 m y con pendientes fuertes por debajo de la cota mencionada, con pendientes entre 50° y 75°. Posiblemente esta diferencia se deba a actividad epirogénica reciente en la Cordillera Central.

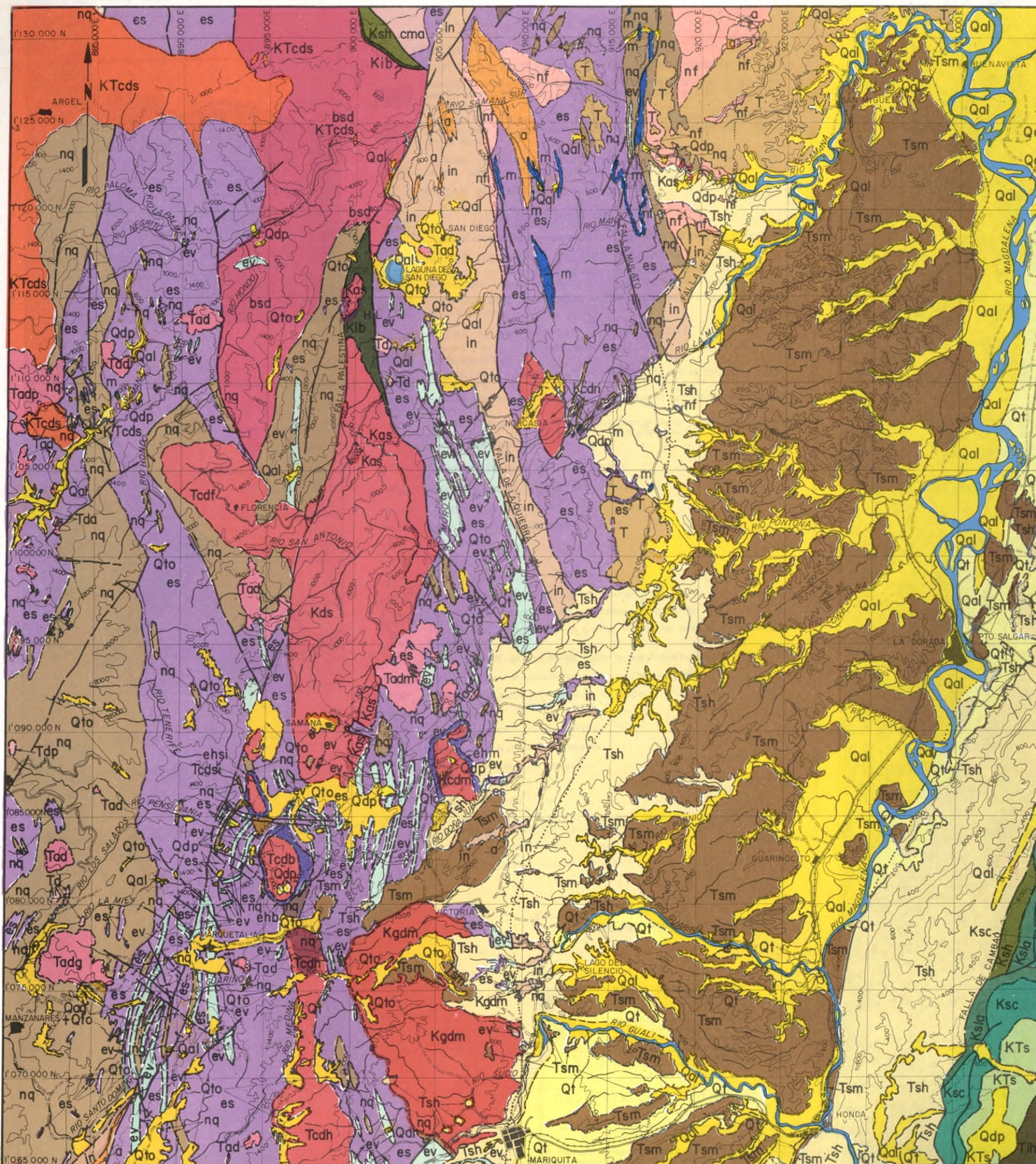
El estudio geológico muestra afloramientos de roca metamórfica fresca, ante todo en los cañones de los cauces de ríos y quebradas. La roca metamórfica está constituida por una secuencia de esquistos grises y verdes con cuarcitas en los conjuntos medio y superior (ver Figura C-8). Estas rocas presentan buena impermeabilidad, ya que sus componentes minerales (micáceos, feldespáticos, anfibólicos y cuarcíticos microcristalinos) conforman texturas masivas, compactas, y de muy baja porosidad.

El rumbo general de la foliación de los paquetes litológicos es N15°E, con oscilaciones locales a N45°E y buzamientos hacia la falla Palestina, localizada en la parte superior del embalse. En el área de embalse se observan dos tipos de fallas con respecto al rumbo general de la estructura fundamental: a) fallas paralelas (Palestina, Saños y fallas parahorizontales con buzamientos entre 5° y 10°); y b) fallas transversales (El Placer, La Soledad, La Tebaida, La Miel y Las Animas). Tanto las fallas paralelas como las transversales son en su generalidad de tipo normal, con inclinaciones mayores a los 45°. La falla Palestina tiene allí una expresión morfológica fácilmente identificable en el terreno (ver Figura C-15), en la cabeza de embalse de los

ríos La Miel y Pensilvania. Su zona de influencia se amplía de sur a norte (ver Figura C-4) alcanzando entre 200 y 650 metros de amplitud. Las zonas de influencia cataclástica de las fallas transversales no son tan extensas, pero pueden en casos especiales llegar a 50 - 100 metros; algunas de las fallas de este tipo pueden ser tectónicamente activas. La actividad sísmica colateral a las fallas de Las Animas, aunque no se espera de gran importancia, debe de ser estudiada en detalle en etapas posteriores, a pesar de que Goodman (1979b) considera que ". . . no hay requisitos especiales de diseño debidos al descubrimiento de fallas normales activas en el área de embalse", pero que ". . ." las presas deben diseñarse para terremotos fuertes".

Por lo general las laderas de los valles están cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados a saber: depósitos de pendiente (Qdp), aluviales (Qal), tobáceos (Qto) y suelos residuales (Qsr); estos suelos son en su gran mayoría estables en las condiciones actuales de saturación. Sin embargo, los depósitos de pendiente de la quebrada La Soledad y la vereda El Encanto son susceptibles de deslizarse cuando su parte más baja quede cubierta por las aguas del embalse. La zona circundante del embalse se encuentra cubierta por vegetación, cultivos o bosques naturales y actualmente no presenta aspectos de erosión. Existe una zona de derrumbe activo de tamaño considerable, al norte de la vereda Circasia, por la carretera que conduce a Samaná, encima de la cota del embalse, el cual deberá ser controlado. Se sugiere para la etapa de diseño, estudios detallados para determinar el tamaño y comportamiento de los cuaternarios del embalse.

figuras



CONVENCIONES

ROCAS INTRUSIVAS

ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMORFICAS

Qal Qt

DEPOSITOS ALUVIALES

Qal: Aluviones recientes
Qt: Terrazas aluviales

Qto Qag

DEPOSITOS PIROCLASTICOS Y GLACIOFLUVIALES

Qto: Incluye depósitos glaciofluviales y localmente flujos de lodo y delgadas capas de tefritas. Tobas.
Qag: Aglomerado compuesto por fragmentos redondeados y angulares de roca ígnea y metamórfica en matriz tobácea.

Qdp

DERRUBIOS DE PENDIENTE

T

SEDIMENTOS TERCIARIOS NO DIFERENCIADOS

Arenisca, conglomerado y lutita en el Valle del Magdalena. Localmente incluye terrazas antiguas.

Tsm

FORMACION MESA

Alternancia de lutitas y areniscas; arenas tobáceas y gravas con cantos de rocas volcánicas; lutitas rojas.

Td

PORFIDO DACITICO

Rocas hipoabisales predominantemente dacíticas, con variaciones granodioríticas.

Tadp Tadm Tadg Tad

ROCAS HIPOABISALES PORFIRITICAS PREDOMINANTEMENTE ANDESITA HORNBLENDICA

Tadp: Porfido de Puente Linda.
Tadm: Porfido de El Morro.
Tadg: Porfido de Guadalupe.
Tad: Porfido andesítico hornbléndico.

Tdp

DIQUE PEGMATITICO

Kcdm Kcdn Tcdh Tcdb Tcdf Tcdsi

INTRUSIVOS CUARZODIORITICOS

Kcdm: Intrusivo de La Miel, cuarzdiorita biotítica-hornbléndica con variaciones a granodiorita.
Kcdn: Stock de Norcasia, cuarzdiorita a tonalita biotítica inequigranular, grano grueso.
Tcdh: Intrusivos de El Hatillo, cuarzdiorita biotítica inequigranular, grano grueso.
Tcdb: Stock de La Bella, cuarzdiorita biotítica holocristalina inequigranular de grano grueso.
Tcdf: Intrusivo de Florencia, cuarzdiorita biotítica-hornbléndica de grano grueso con variaciones a granodiorita.
Tcdsi: Intrusivo de El Silencio, cuarzdiorita biotítica-hornbléndica de grano medio a grueso.

ehsi ehb ehm

AUREOLAS DE CONTACTO

ehsi: Esquistos hornfelsicos de El Silencio.
ehb: Esquistos hornfelsicos de La Bella.
ehm: Esquistos hornfelsicos de La Miel.

Tsh

GRUPO HONDA

Lutitas rojas con intercalaciones de areniscas; arenas y gravas con cantos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas y efusivas, lutitas y areniscas grises; arcillolitas y limolitas.

Tib

FORMACION HOYON

Conglomerados con cantos de cuarzo, rocas ígneas y metamórficas; lutitas color violeta; gravas y areniscas.

cma

CUARZOMONZONITA DE AQUITANIA

KTcds

BATOLITO DE SONSON

Cuarzdiorita y granodiorita con variaciones locales a granito y diorita.

Ksc

FORMACION CIMARRONA

Conglomerados con fragmentos de cuarzo y matriz arenosa-calárea; lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas.

KTs

FORMACION SECA

Lutitas rojas con intercalaciones de areniscas.

Ksla

NIVEL DE LUTITAS Y ARENISCAS

Lutitas de color gris oscuro con intercalaciones de areniscas y margas.

Ksh

FORMACION HONDITA

Calizas con fragmentos de cuarzo e intercalaciones de lutitas y margas.

Kib

HORIZONTE FOSILIFERO DE BERLIN

Lutitas negras, arcillolita y limolita localmente fosilíferas; incluye lentes de conglomerado con cantos de cuarzolitas y rocas metamórficas. Posiblemente incluye horizontes jurásicos.

ROCAS CON METAMORFISMO REGIONAL OCASIONALMENTE AFECTADAS POR METAMORFISMO DINAMICO Y/O TERMICO

bsd
mq m ev
es nf

bsd: Rocas metamórficas no diferenciadas de muy bajo grado, conservan la textura sedimentaria original.
m: Marmol y rocas con silicatos de calcio, con variación lateral a cuarcita.
mq: Cuarcita y cuarcita biotítica-feldespática, con transiciones locales a esquistos y neis cuarzo-feldespático.
ev: Esquistos verdes compuestos principalmente por albita, epidoto, clorita y actinolita.
es: Esquistos grafitosos, micáceos, cuarzo-feldespático y aluminicos; filitas.
ea: Anfibolita y esquistos anfibolíticos.
nf: Esquistos micáceos y neis cuarzo-feldespático-biotítico de grado medio a alto.

SIMBOLOS

- Localización aproximada de contacto.
- Localización de falla, flechas indican movimiento, L=levantado, H=hundido.
- Localización aproximada de falla.
- ? --- Falla probable o incierta.
- Falla cubierta.
- L --- Lineamiento fotogeológico.

ESCALA: 0 1 5 10 Km

NOTAS: - Modificado de Feininger et al (1970) y Barrero y Vesga (1976).
- Base topográfica del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

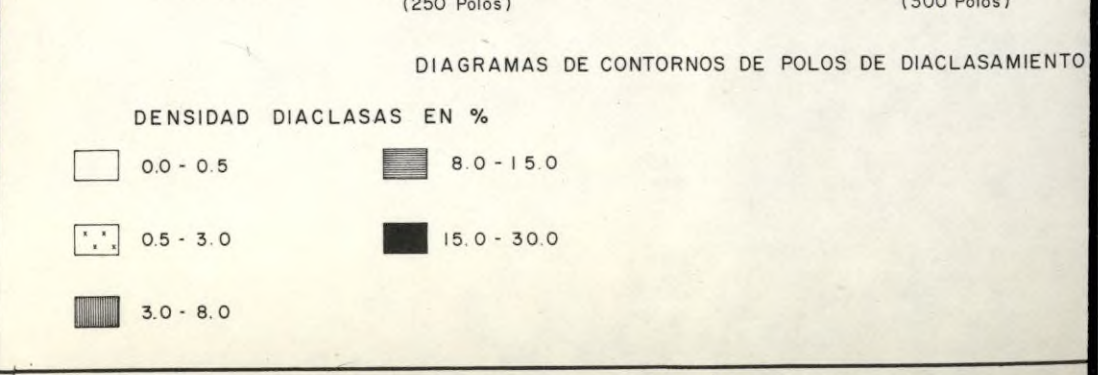
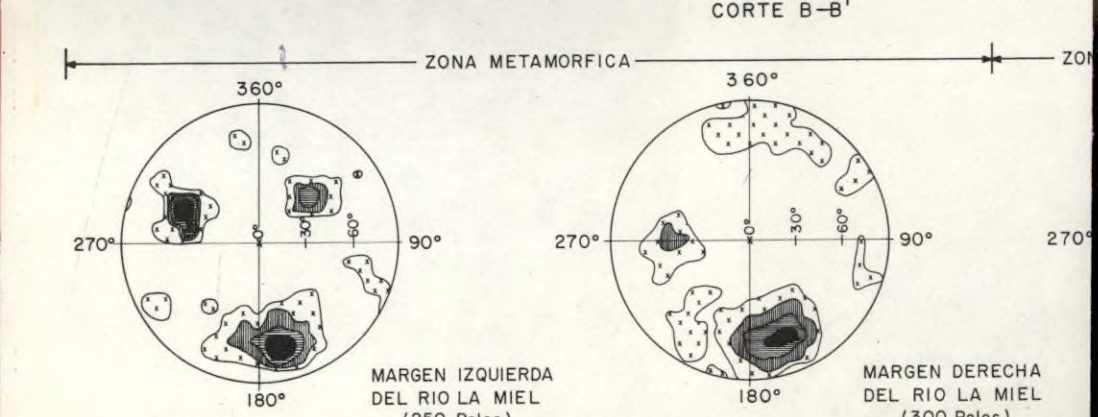
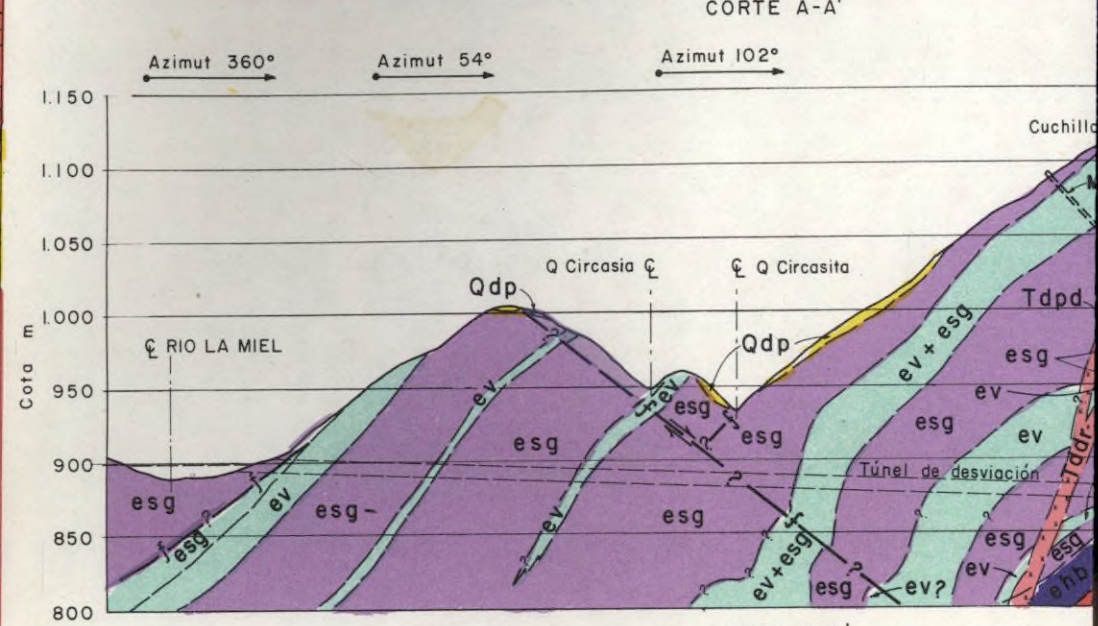
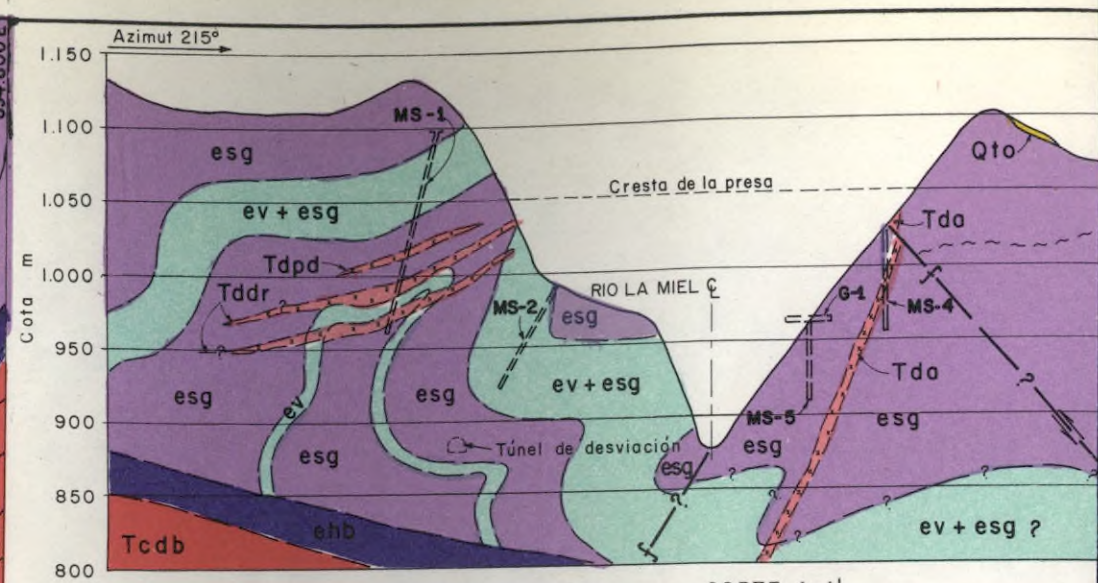
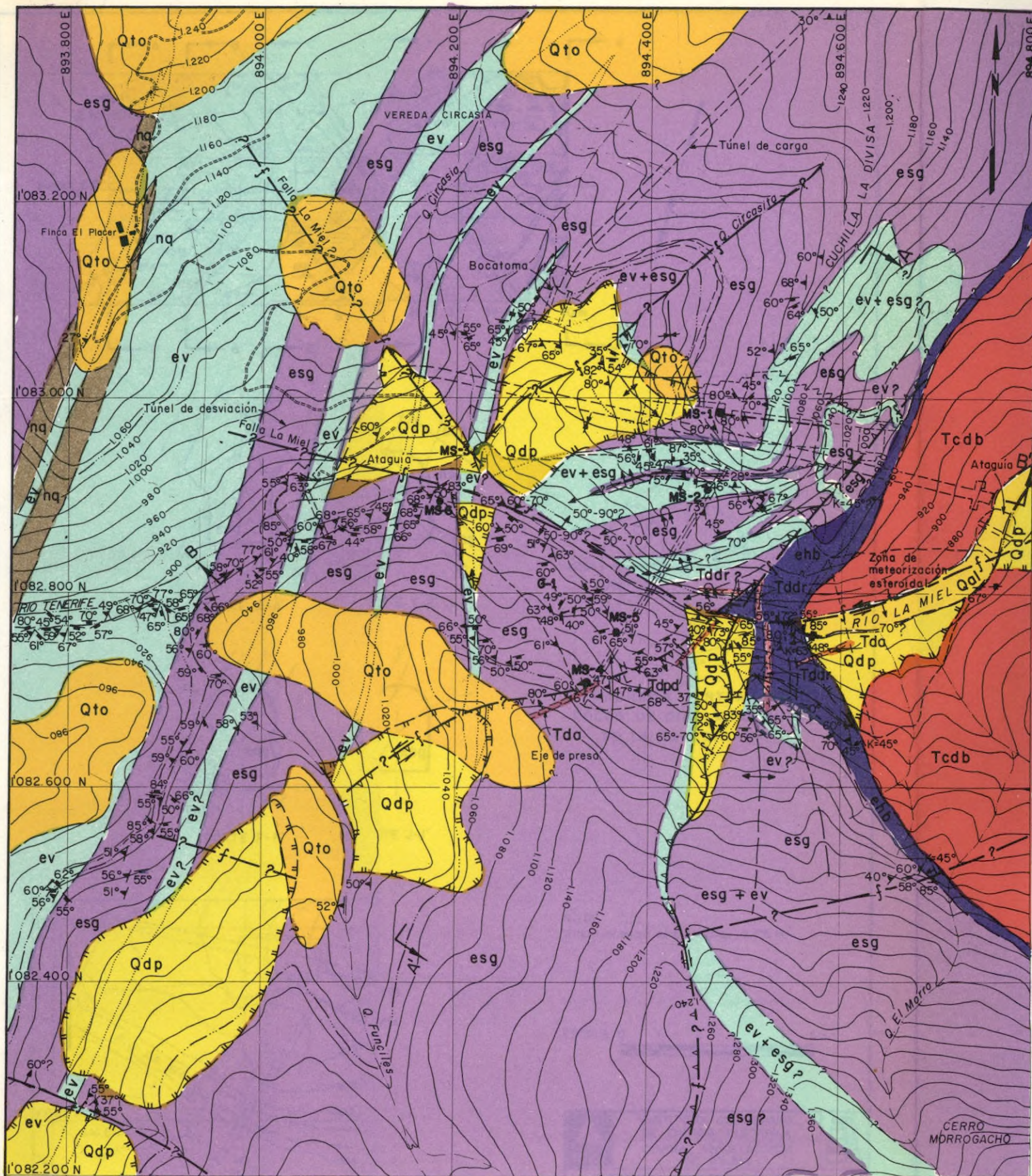
INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA
MAPA GEOLOGICO GENERAL
CONSORCIO RIO LA MIEL
INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLMBIA
FECHA: NOV. 1979
FIGURA: C-1

CUATERNARIO

TERCIARIO

CRETACEO

PALEOZOICO



CONVENCIONES

A - LITOLÓGICAS

DEPOSITOS CUATERNARIOS NO CONSOLIDADOS

Qdp

Derrubio de pendiente: bloques, cantos y fragmentos angulares de roca metamórfica e ígnea. En la mayoría de los casos presentan una fracción de limo-arcilla.

Qal

Depósitos aluviales: clastos de roca metamórfica e ígnea, redondeados o semiangulares, en proceso de transporte por acción directa de las corrientes de agua.

Qto

Depósitos piroclásticos: tobas de color amarillo a pardo compuestas por cenizas, lapilli y bombas volcánicas de deposición predominantemente eólica.

ROCAS INTRUSIVAS DEL TERCIARIO

Tda Tddr Tdps Tdd

Diques de composición variada, de aplítico y diorítico a pórfido-dacítico y dacítico.

ROCAS METAMÓRFICAS DEL TERCIARIO

enb

Aureola de contacto del stock de La Bella. Esquisto hornfelsico de gris verdoso oscuro a gris-azulado, masivo, de fractura concoide

Tcdb

Stock de La Bella: cuarzodiorita biotítica holocristalina de grano grueso, inequigranular.

ROCAS METAMÓRFICAS DEL PALEOZOICO

nq

Cuarcita y cuarcita biotítica-feldespática, con transiciones locales a esquisto cuarcítico.

ev

Esquisto verde compuesto principalmente por albita, epidota, clorita y actinolita.

esg

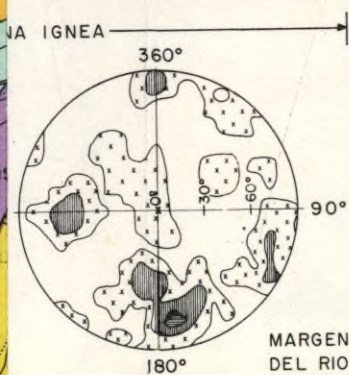
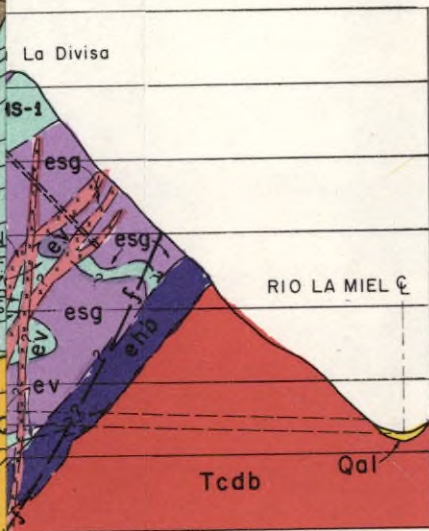
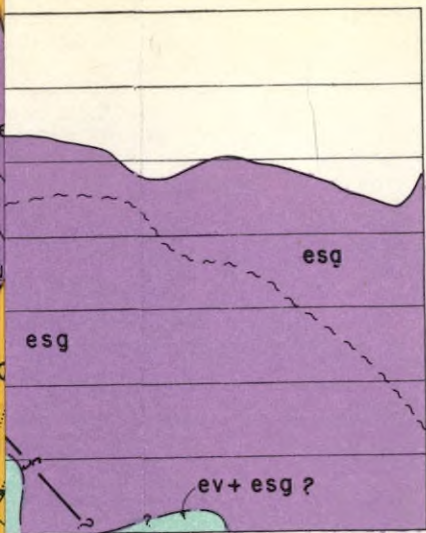
Esquisto gris compuesto por esquisto micáceo, gráfico, cuarcítico y feldespático.

Los esquistos verdes y grises de la cuchilla La Divisa y cerro Morrogacho, aguas abajo de la confluencia de la quebrada Circasia, son de textura néisica a migmatítica.

B - ESTRUCTURALES

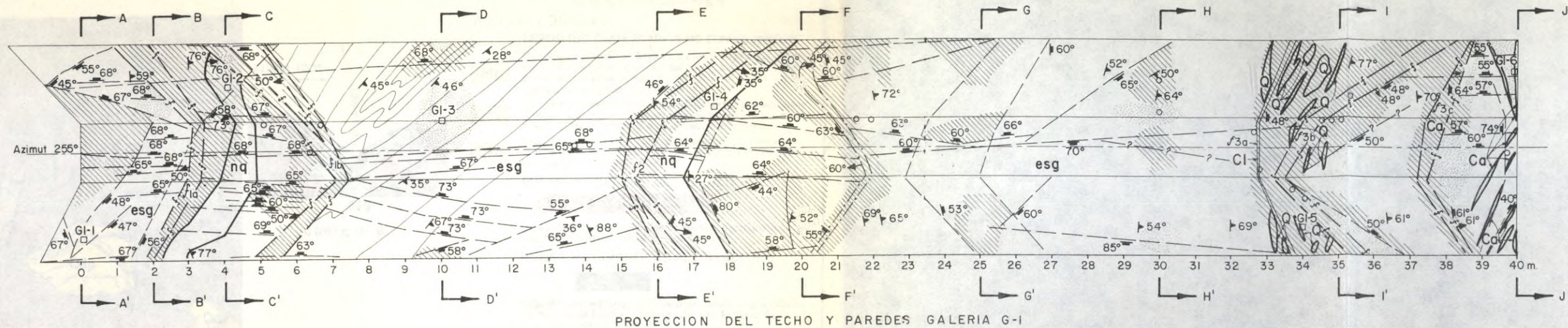
- Contacto geológico definido
- Contacto geológico inferido
- Contacto geológico probable
- Anticlinal
- Sinclinal
- Anticlinal invertido
- Sinclinal invertido y cabeceo en grados
- Falla normal-direccional (?) y buzamiento en grados
- Falla inversa y buzamiento en grados, mostrando posible componente horizontal
- Falla probable, generalmente cubierta por depósitos cuaternarios
- Contacto ígneo-metamórfico y buzamiento en grados
- Rumbo de foliación y buzamiento en grados
- Esquistosidad
- Diaclasa vertical y/o paravertical
- Diaclasa con inclinación en grados
- Dique con inclinación en grados
- Dique vertical
- Zona de derrumbe activo
- Zona de derrumbe inactivo (derrubio de pendiente generalmente recubierto por depósitos tobáceos)
- Localización de perforación y su número
- Límite de embalse y cauces de agua

ESCALA: 0 50 100 200 m

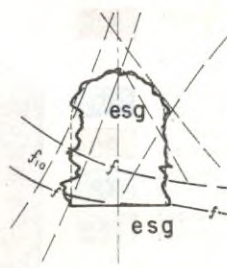


MARGEN DERECHA DEL RIO LA MIEL (130 Polos)

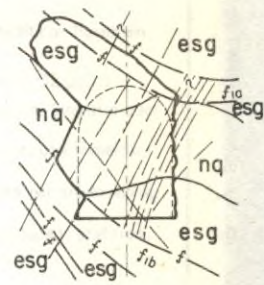
	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
	DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA	
GEOLOGIA DE LA ZONA DE PRESA		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA		FECHA NOV, 1979 FIGURA C-2



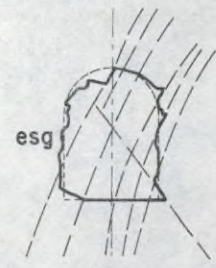
CORTE A-A'



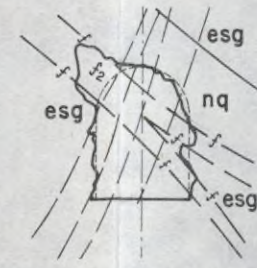
CORTE B-B'



CORTE C-C'



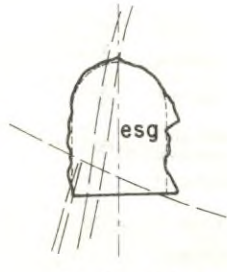
CORTE D-D'



CORTE E-E'



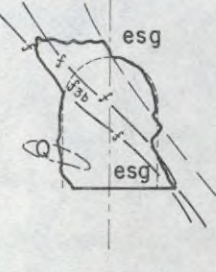
CORTE F-F'



CORTE G-G'



CORTE H-H'



CORTE I-I'

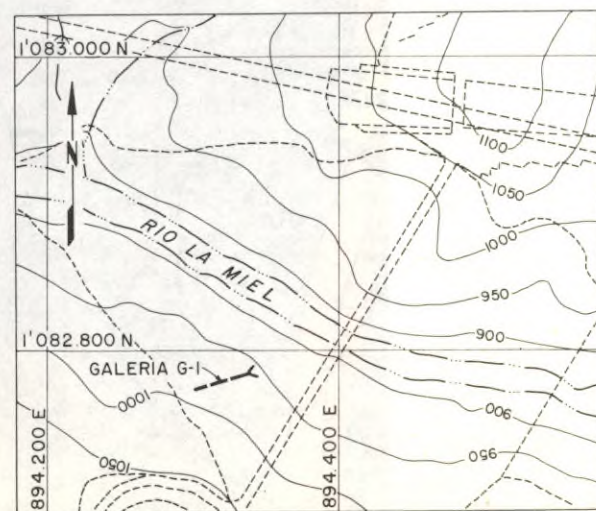


CORTE J-J'

SECCIONES TRANSVERSALES



DIAGRAMA PUNTUAL DE POLOS DE DIACLASAMIENTO EN LA GALERIA G-I



LOCALIZACION DE LA GALERIA

ESCALA: 0 50 100 200m

GALERIA G-I

Localización: Estribo derecho
 Coordenadas: 1°082.789 N
 894.344 E
 Cota de superficie: 962 metros
 Longitud: 40 metros
 Azimut: 255°
 Inclinación: Horizontal
 Objetivo: Calidad de la roca y estructura en el estribo derecho
 Litología: Esquisto gris (grafitoso-feldespático), cuarcita y zonas con vetas de cuarzo y calcita

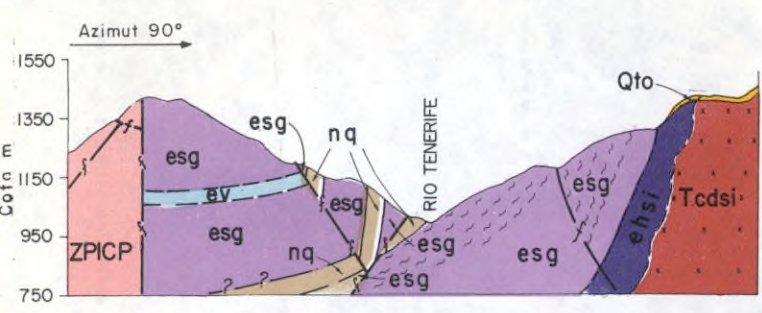
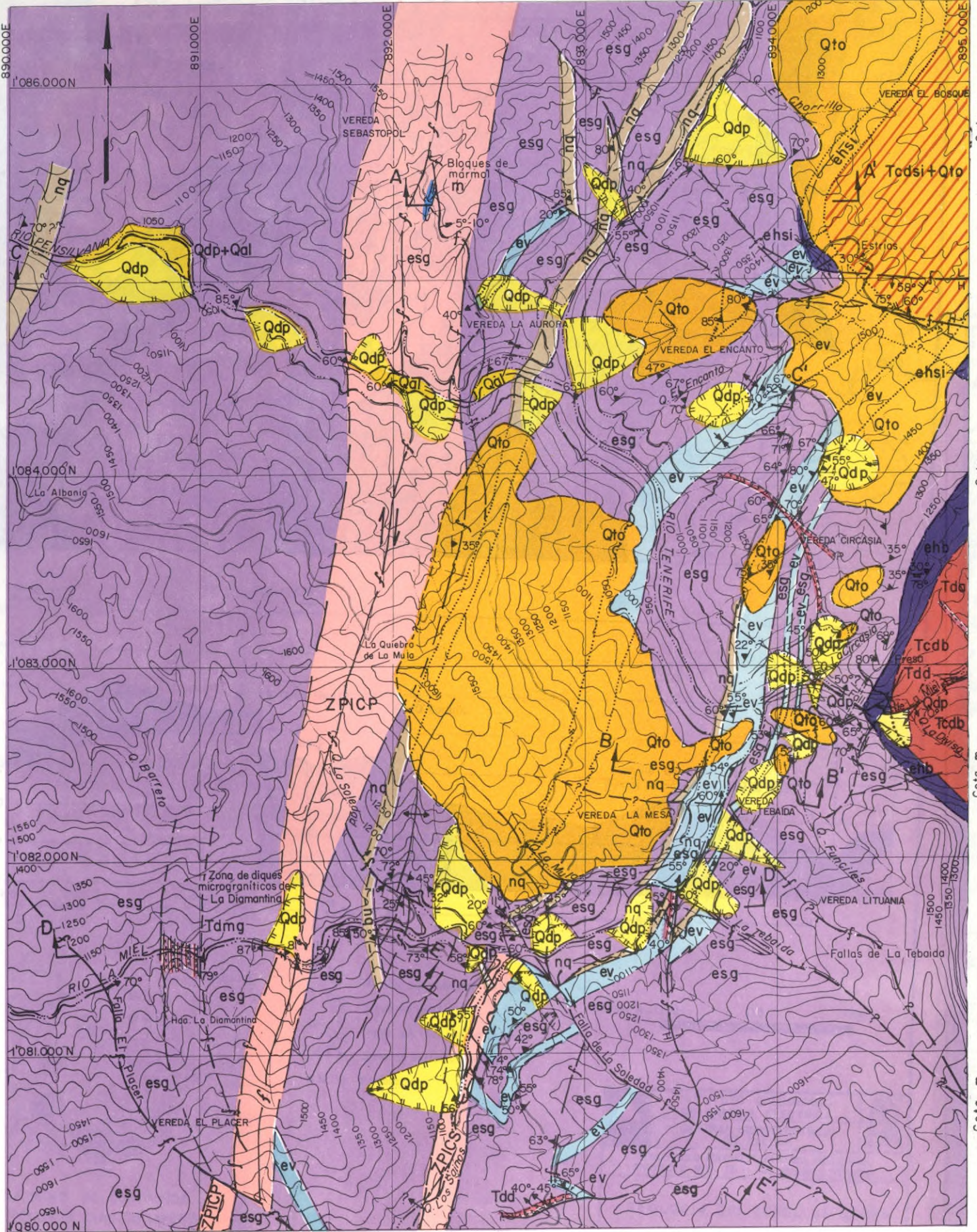
CONVENCIONES

- Diacnasa cerrada con superficies oxidadas.
- Diacnasa abierta, de superficie irregular, sin material de relleno. Abertura entre 1 y 5 centímetros.
- f- Diacnasa con zona de fracturación, milonitización y brechamiento. Espesor menor de 1 metro
- Contacto litológico.
- ▨ Zona de sobrexcautación.
- ▩ Zona de subexcautación.
- nq Esquisto muy cuarcítico a cuarcita.
- esg Esquisto gris (grafitoso-feldespático).
- Ca Diacnasa y vetas con calcita.
- Cl Zona de cloritización
- Q Nódulos e inyecciones de cuarzo.
- 60° Rumbo de diacnasa inclinada y buzamiento en grados.
- 52° Rumbo y buzamiento de foliación, en grados.
- o Zona de infiltración, de intensa a moderada.
- GI-1 Muestra de roca.

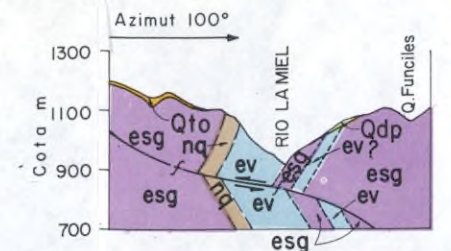
NOTA:
 Altura al techo de proyección: 2.25 m.

ESCALA: 0 1 2 5m

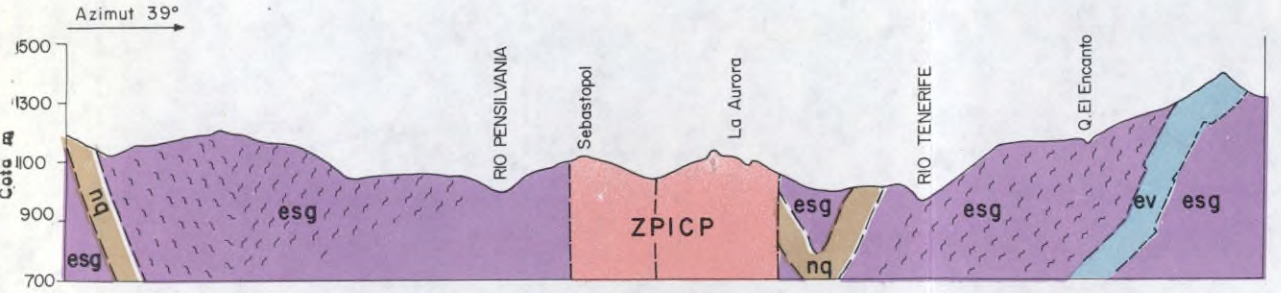
	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
	DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA	
GEOLOGIA DE LA GALERIA DE EXPLORACION (G-I)		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA		FECHA: NOV 1979 FIGURA: C-3



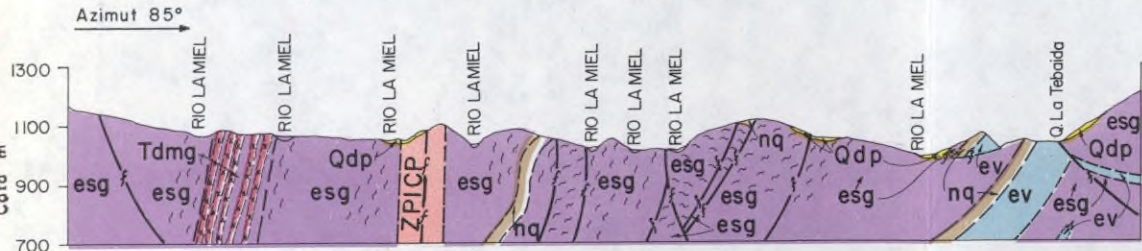
CORTE A-A'



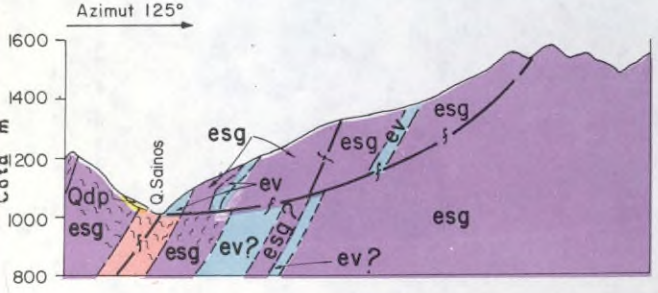
CORTE B-B'



CORTE C-C'



CORTE D-D'



CORTE E-E'

CONVENCIONES

A - LITOLÓGICAS

- DEPOSITOS CUATERNARIOS NO CONSOLIDADOS**
- Qdp** Derrubio de pendiente: bloques, cantos y fragmentos angulares de roca metamórfica e ígnea que cubren los laderos de las principales corrientes de agua. En la mayoría de los casos presentan una fracción de limo - arcilla.
 - Qal** Depósitos aluviales: clastos de roca metamórfica e ígnea, redondeados o semiangulares, en proceso de transporte por acción directa de las corrientes de agua, en aluviones y terrazas.
 - Qto** Depósitos piroclásticos: tobas de color amarillo a pardo, con puestas por cenizas, lapilli y bombas volcánicas de deposición predominantemente eólica.

- ROCAS INTRUSIVAS DEL TERCIARIO**
- Tda Tdmg Tdrr Tdps Tdd**

Diques de composición variada de aplítico, microgranítico y diorítico a pórfido-dacítico y dacítico.

- ROCAS METAMÓRFICAS DEL TERCIARIO**
- ehb ehsl**

Esquisto hornfésico de gris-verdoso oscuro a gris-azulado, masivo, de fractura concoide, del stock de La Bella y el intrusivo de El Silencio.

Tcdb Stock de La Bella: cuarzodiorita biotítica holocristalina de grano grueso, inequigranular.

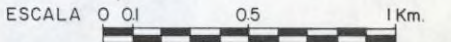
Tcdsi Intrusivo de El Silencio: cuarzodiorita biotítica-hornbléndica de grano medio a grueso.

ROCAS METAMÓRFICAS DEL PALEOZOICO

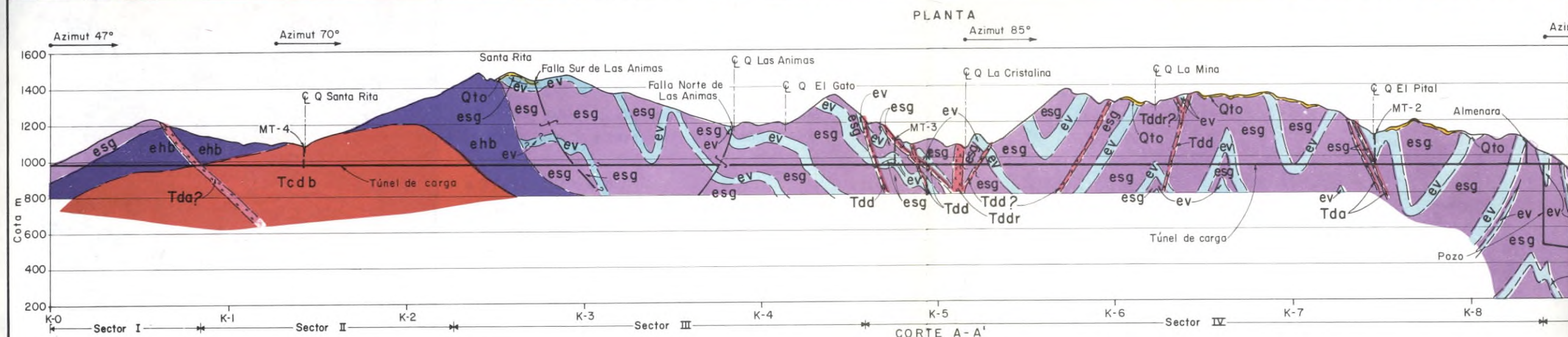
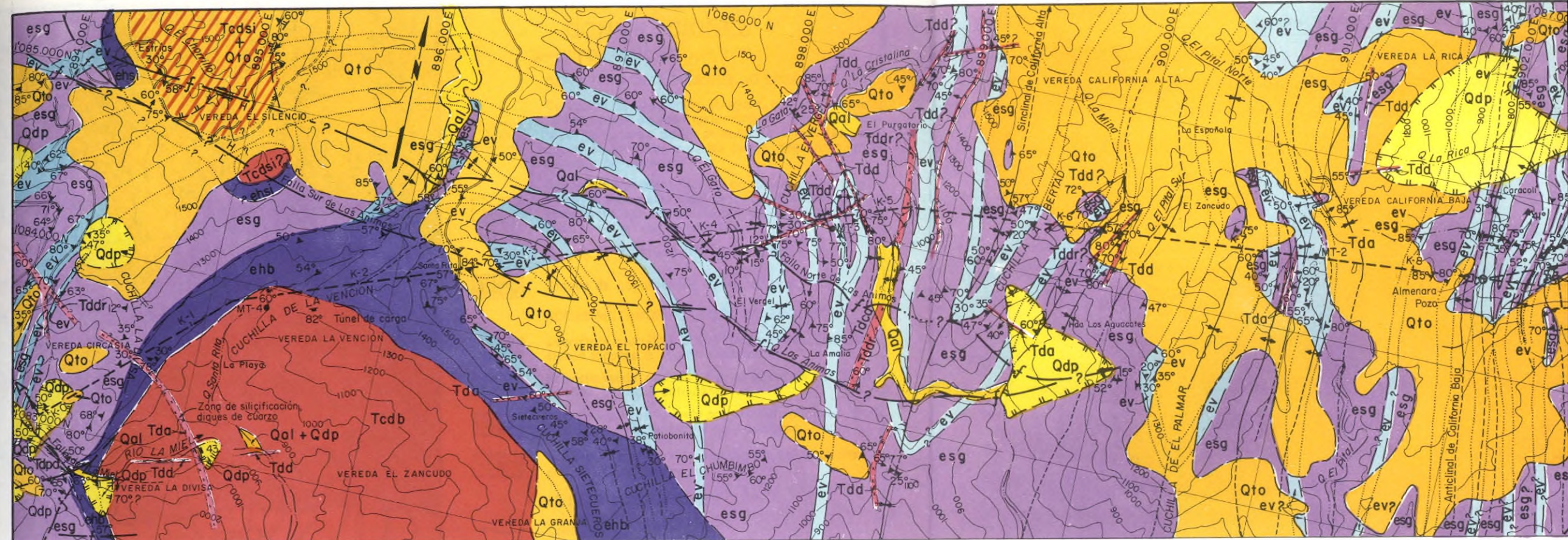
- m** Mármol con estructura bandeada y variación lateral a cuarcita y esquisto
- nq** Cuarcita y cuarcita biotítica-feldespática, con transiciones locales a esquisto cuarcítico.
- ev** Esquisto verde compuesto principalmente por albita, epidota, clorita y actinolita.
- esg** Esquisto gris compuesto por esquisto micáceo, grafitico, cuarcítico, feldespático y calcáreo.

B - ESTRUCTURALES

- Contacto geológico definido
- - - Contacto geológico inferido
- · - Contacto geológico probable
- ↗ Anticlinal
- ↘ Sinclinal
- H=f Falla direccional (Las flechas indican movimiento; L= levantado; H= hundido)
- f Falla normal y buzamiento en grados
- 60° 80° Rumbo y buzamiento de foliación
- Esquistosidad
- 55° 62° Rumbo y buzamiento de diaclasa
- Rumbo y buzamiento de dique
- Dique vertical
- ↕ Zona de derrumbe activo
- ~ Límite de embalse y cauces de agua
- ZPICP** Zona de posible influencia cataclástica de la falla Palestina
- ZPICS** Zona de posible influencia cataclástica de la falla Sainos



	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CALDAS	
	DESARROLLO HIDROELÉCTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TÉCNICA	
GEOLOGIA DE LA ZONA DE EMBALSE		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMIA		FECHA: NOV. 1979 FIGURA: C-4



CONVENCIONES

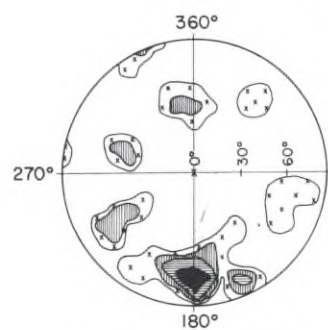
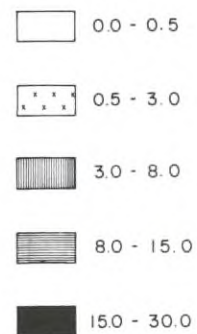


DIAGRAMA DE CONTORNOS DE POLOS DE DIACLASAMIENTO (45 Polos)

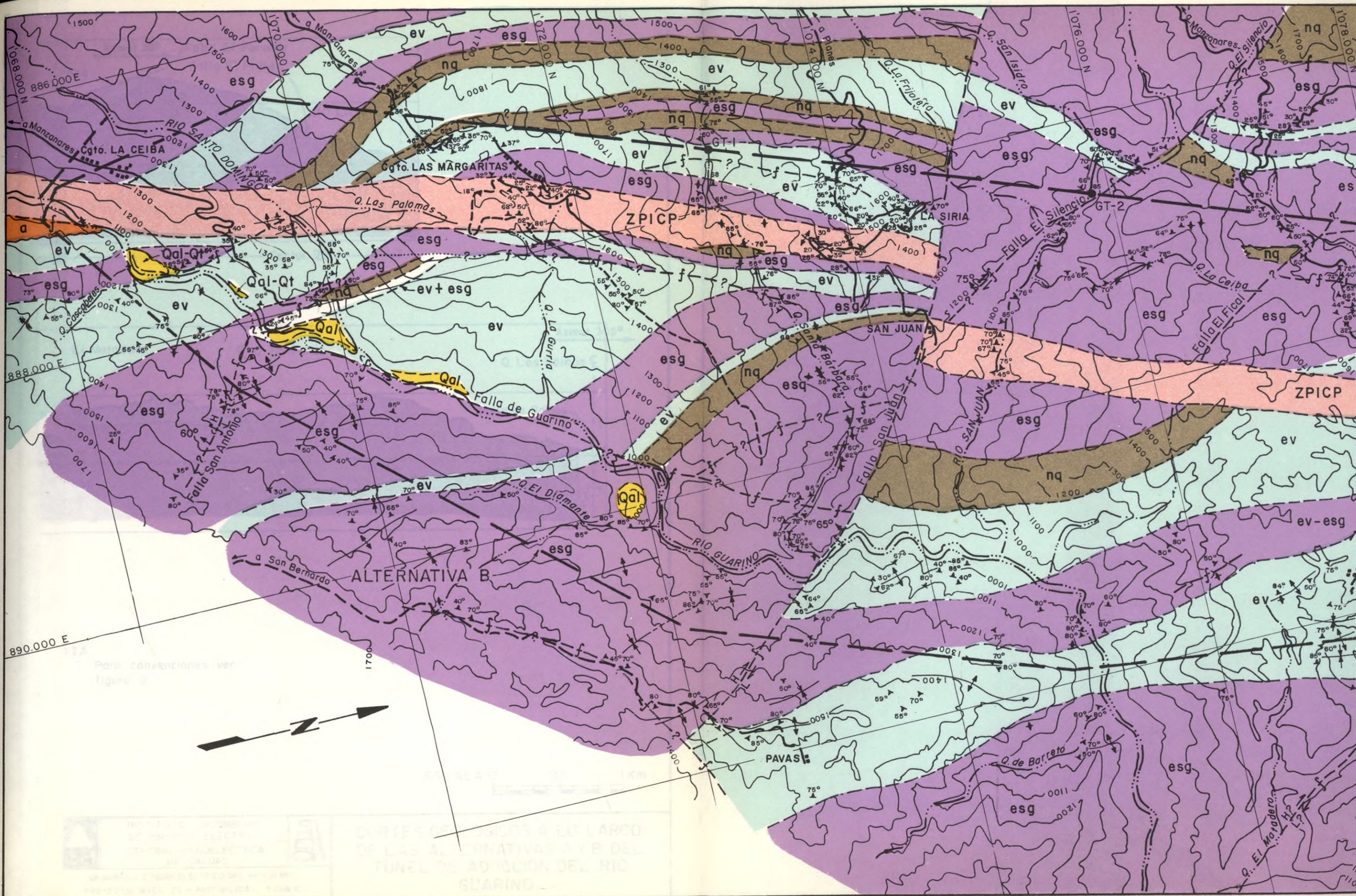
DENSIDAD DIACLASAS EN %

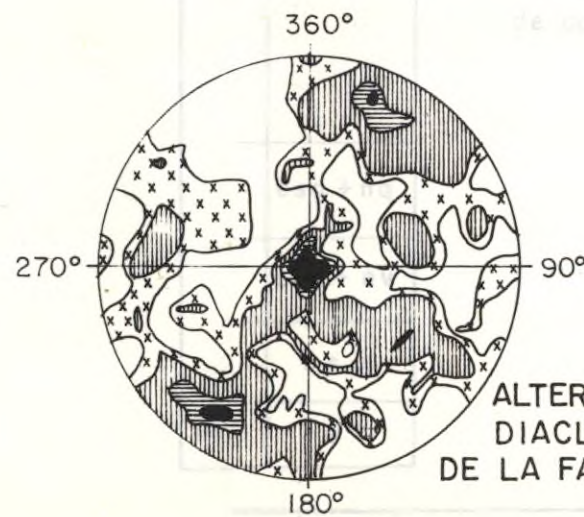
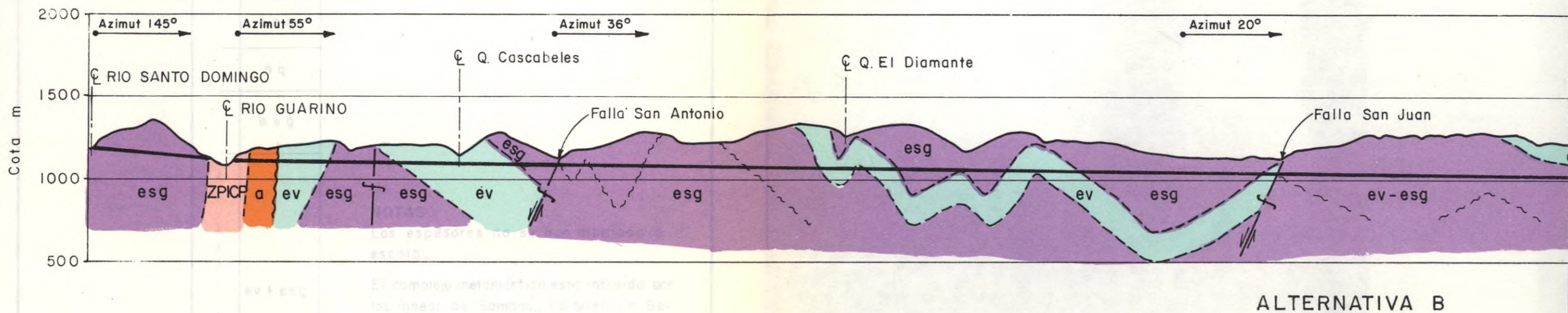
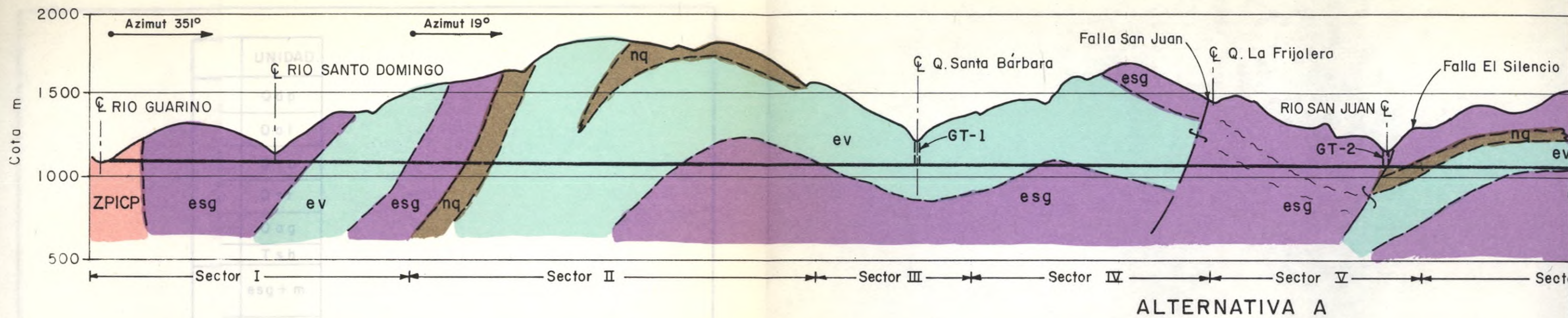


A - LITOLÓGICAS

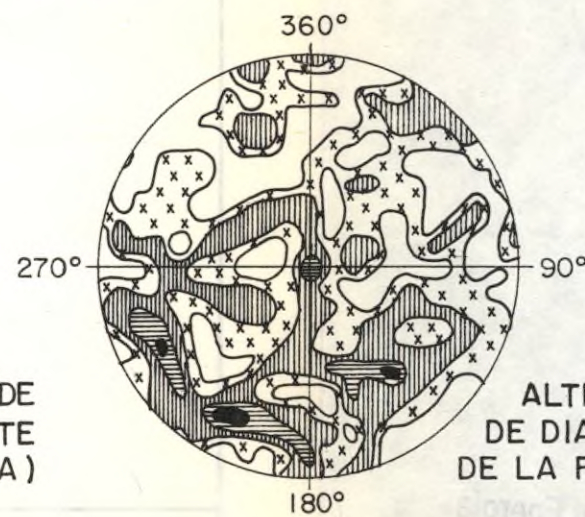
- Qdp** DEPOSITOS CUATERNARIOS NO CONSOLIDADOS
Derrubio de pendiente: bloques, cantos y fragmentos angulares de roca metamórfica e ígnea que cubren los laderos de las principales corrientes de agua. En la mayoría de los casos presentan una fracción de limo-arcilla.
- Qal** Depósitos aluviales: clastos de roca metamórfica e ígnea, redondeados o semiangulares, en proceso de transporte por acción directa de las corrientes de agua, en aluviones y terrazas.
- Qto** Depósitos piroclásticos: tobas de color amarillo a pardo compuestas por cenizas, lapilli y bombas volcánicas de deposición predominantemente eólica.
- Tsh** ROCAS SEDIMENTARIAS DEL TERCIARIO
Grupo Honda: lutitas rojas con intercalaciones de areniscas; arenas tobáceas y gravas con cantos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas y efusivas, lutitas y areniscas grises; arcillolitas y limolitas.
- Tda Tddr Tdpd Tdd** ROCAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS DEL TERCIARIO
Diques de composición variada de aplítico y diorítico a pórfido-dacítico y dacítico.

- ehb ehsl** Esquisto hornfésico de gris-verdoso oscuro a gris-azulado, masivo, de fragura concoide, de las aureolas de contacto del stock de La Bella y el intrusivo de El Silencio.
 - Tcdb** Stock de La Bella: cuarzdiorita biotítica holocristalina inequigranular de grano grueso.
 - Tcdsi** Intrusivo de El Silencio: cuarzdiorita biotítica-hornbléndica de grano medio a grueso.
 - ROCAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS DEL CRETACEO
 - Kcdm** Intrusivo de La Miel, cucrzdiorita biotítica hornbléndica con variaciones a granodiorita.
 - ehm** Esquisto hornfésico de La Miel.
 - ROCAS METAMORFICAS DEL PALEOZOICO
 - ev** Esquisto verde compuesto principalmente por albita, epidota, clorita y actinolita.
 - esg** Esquisto gris compuesto por esquisto micáceo, grafítico, cuarcítico, feldespático y calcáreo.
- B - ESTRUCTURALES**
- Contacto geológico definido
 - Contacto geológico inferido
 - - - Contacto geológico probable
 - ↕ Anticlinal
 - ↗ Sinclinal
 - ↖ Falla direccional (Las flechas indican movimiento; L= levantado, H= hundido)
 - ↗↘ Falla normal y buzamiento en grados
 - ↗ Falla probable
 - ↗ 50° Rumbo y buzamiento de foliación
 - Esquistosidad
 - ↗ 55° Rumbo y buzamiento de diaclasa





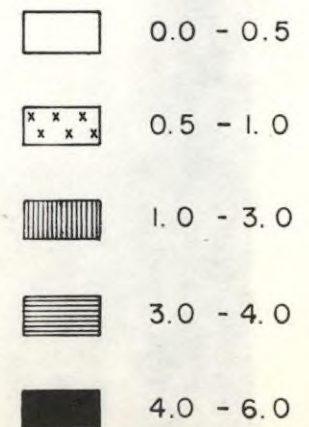
ALTERNATIVA A (MEDICION DE DIACLASAS AL OCCIDENTE DE LA FALLA DE PALESTINA) (202 POLOS)

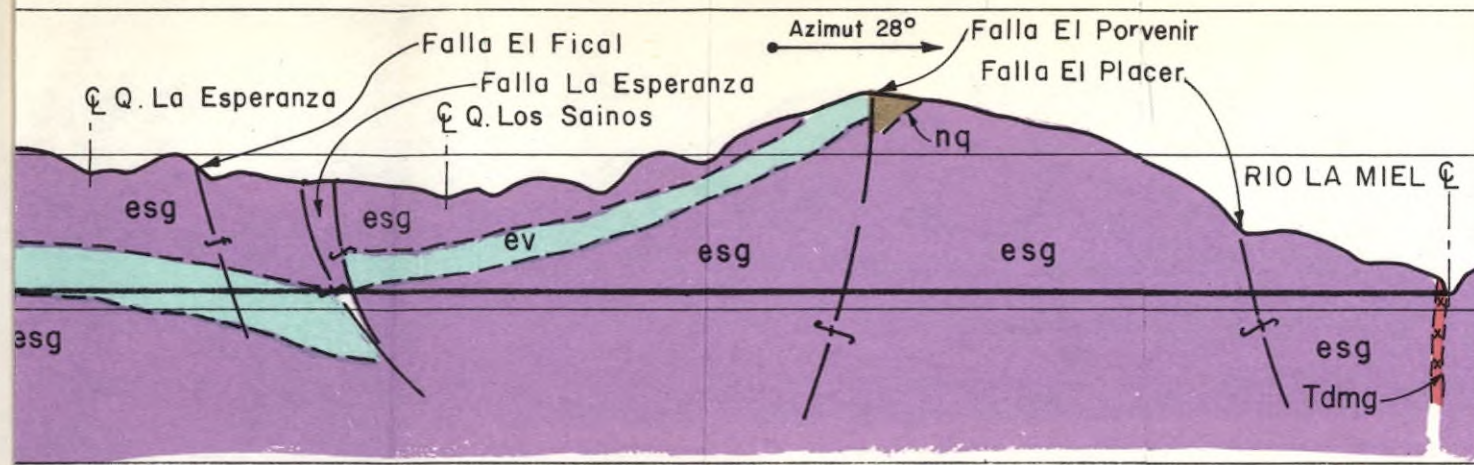


ALTERNATIVA B (MEDICION DE DIACLASAS AL ORIENTE DE LA FALLA DE PALESTINA) (165 POLOS)

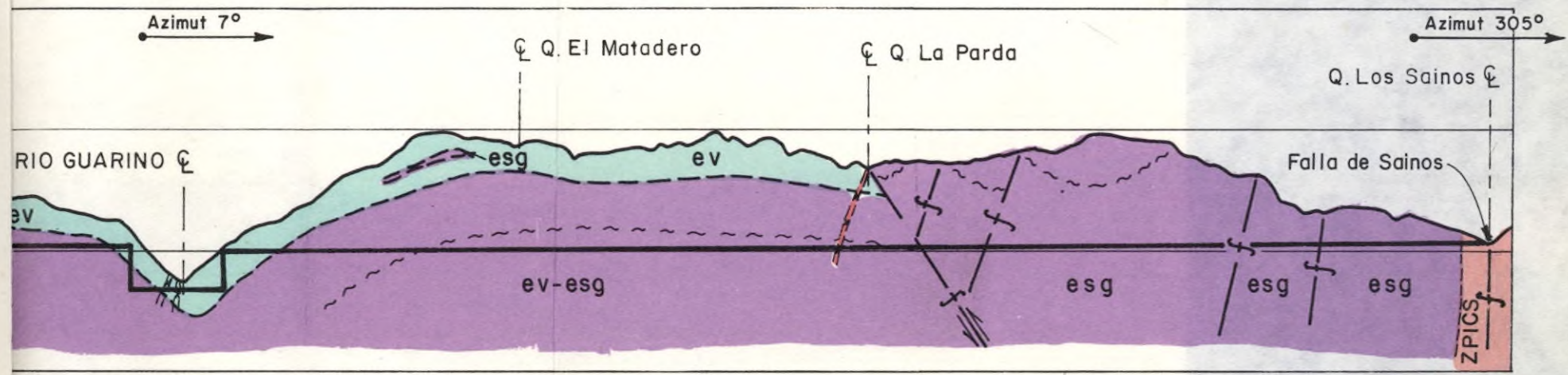
DIAGRAMAS DE CONTORNOS DE POLOS DE DIACLASAMIENTO (Por azimuth del buzamiento)

DENSIDAD DIACLASAS EN %

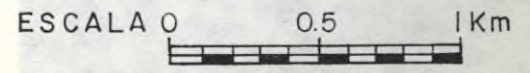






or VI ———— Sector VII ———— Sector VIII ————



NOTA:
Para convenciones ver
figura 9



	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
	CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA		

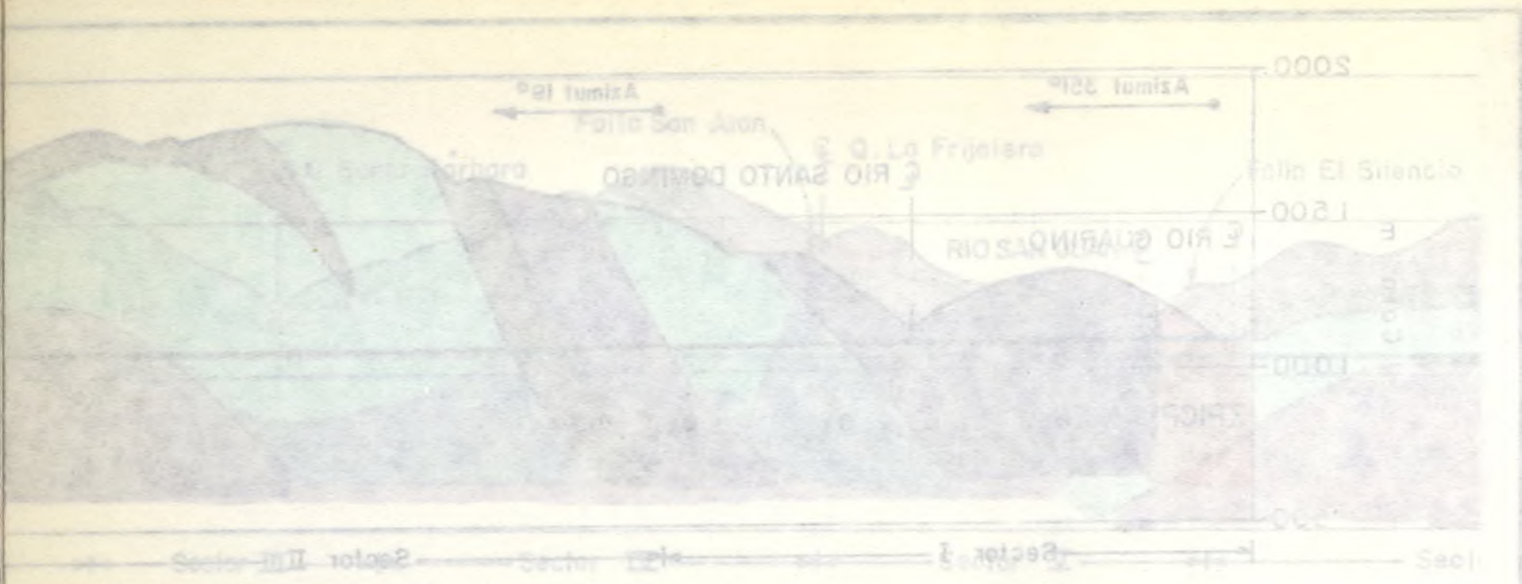
CORTES GEOLOGICOS A LO LARGO
DE LAS ALTERNATIVAS A Y B DEL
TUNEL DE ADUCCION DEL RIO
GUARINO

EDAD		ESPESOR Mts.	LITOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	0-50		Cantos, gravas y limos. Derrubios de pendiente.	
		0-15		Cantos, gravas, arenas y limos no consolidados.	
		0-25		Tobas sin cohesión, de color amarillo a pardo, de origen eólico.	
		0-30		Suelo residual, producto de meteorización de rocas ígneas y metamórficas.	
		0-40		Depositos piroclásticos de composición andesítica. Cantos angulares y redondeados en matriz tobácea en proceso de litificación.	
	TERCIARIO	> 50		Lutitas, arcillolitas, limolitas y areniscas; arenas y gravas con cantos de roca metamórfica e ígnea,	
PALEOZOICO	SUPERIOR ?	> 300		Esquisto gris (micáceo a cuarcítico feldespático) con mármol en zona intensamente disturbada.	
		40-160		Cuarcita transicional a esquisto verde cuarcítico.	
		240-470		Esquisto gris (cuarzo-micáceo).	
		90-200		Cuarcita con transiciones locales a esquisto cuarcítico y esquisto gris.	
		300-380		Esquisto gris (cuarzo-micáceo a grafitoso-cuarcítico-feldespático)	
	INFERIOR	CONJUNTO MEDIO	1000-1250		Horizontes, capas y/o lentes de esquisto verde duro, masivo en alternancia con esquisto gris (cuarzo-micáceo a grafitoso-feldespático). Bancos esporádicos de esquisto cuarcítico a cuarcita en la parte media-baja.
		CONJUNTO INFERIOR	260		Esquisto gris (grafitoso-feldespático) con lentes de cuarcita en los niveles superiores.
			210		Esquisto gris (grafitoso-feldespático) en alternancia con esquisto verde con bandas de feldespato (textura néisica).
			>400		Esquisto gris (grafitoso-feldespático) de textura néisica.
		PRECAMBRICO?	?		Anfibolita inequigranular como parte metamórfica dentro del cuerpo migmatítico.

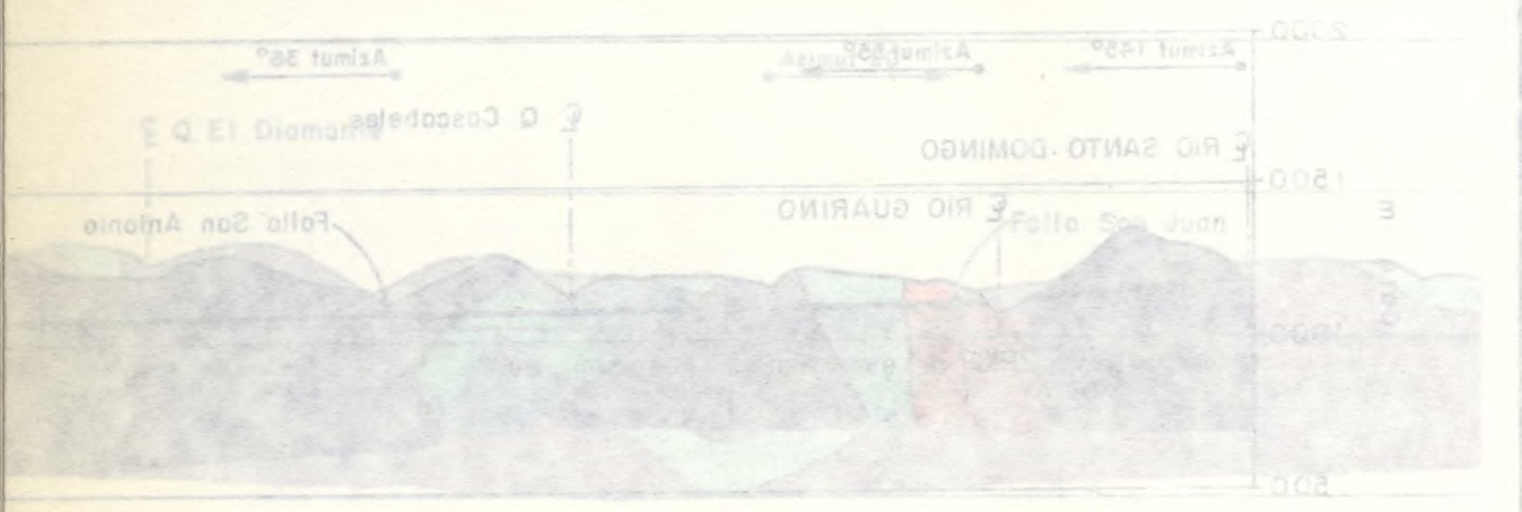


INSTITUTO COLOMBIANO
DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA
DE CALDAS

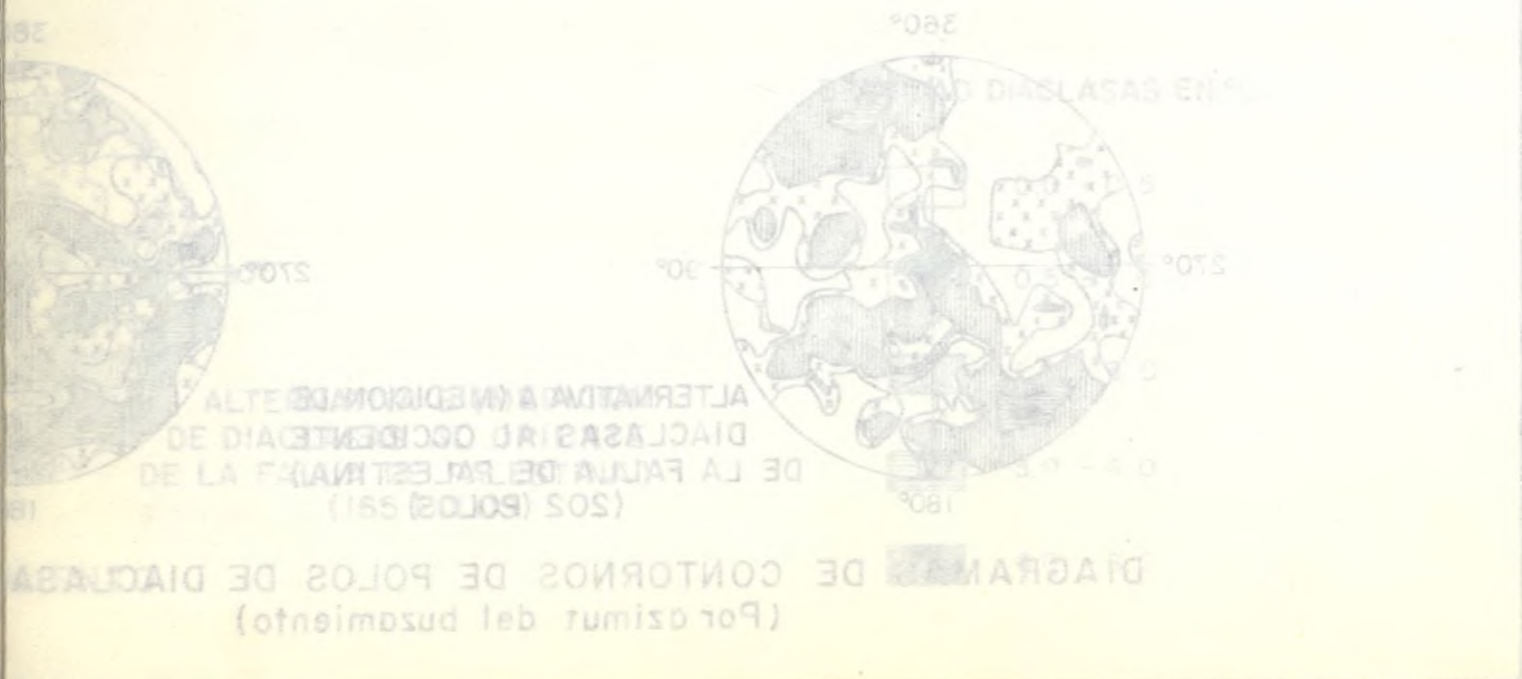
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD



ALTERNATIVA A



ALTERNATIVA B

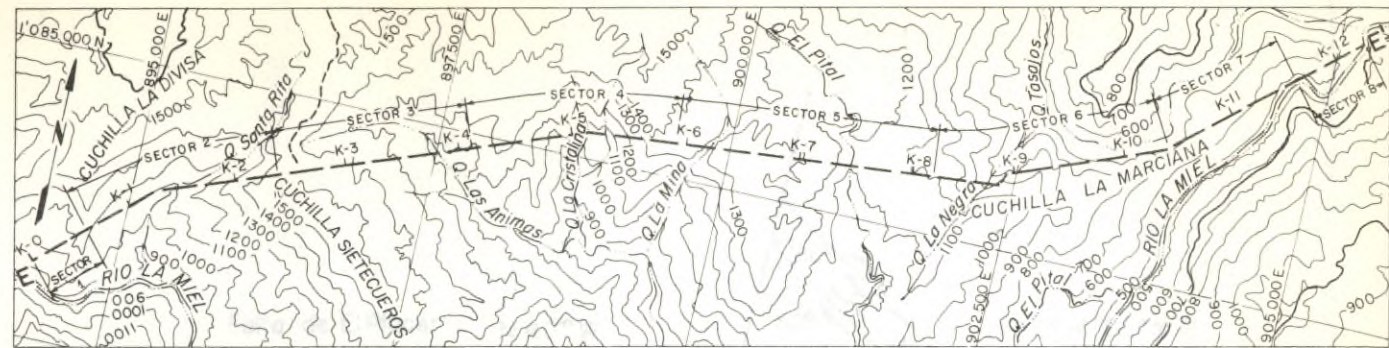


	UNIDAD
C C C C C L C	Qdp
	Qal
	Qto
	Qsr
	Qag
	Tsh
	esg + m
	nq
	esg
	nq
	esg
C C C C L C	ev + esg
	esg + nq
	esg + ev
	esg
PRI	a

NOTAS:
 Los espesores no se han dibujado a escala.
 El complejo metamórfico está intruído por los ígneos de Samaná, La Miel, La Bella, El Silencio, El Hatillo y diques de composición intermedia.



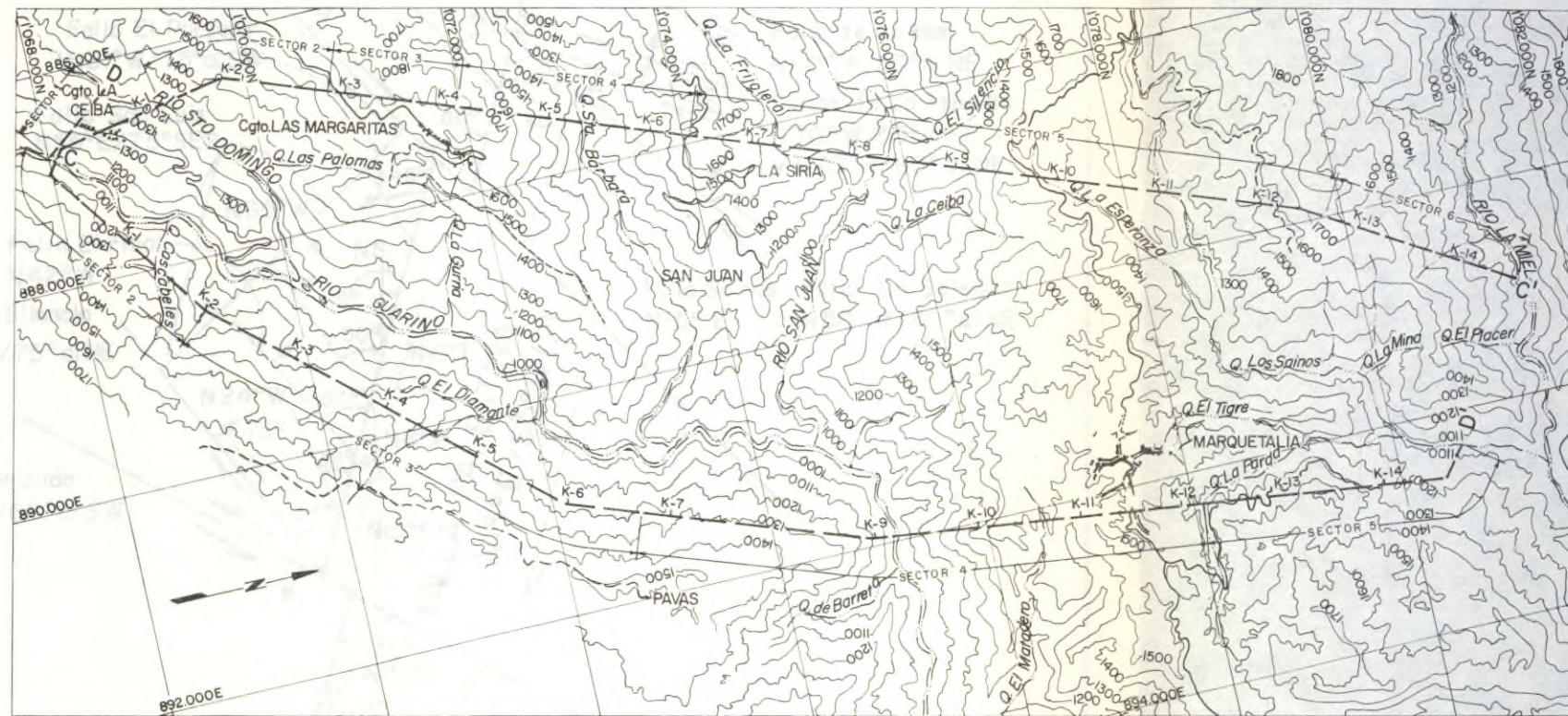
COLUMNA LITOLÓGICA DE LA ZONA DEL PROYECTO



PLANTA TUNEL DE CARGA



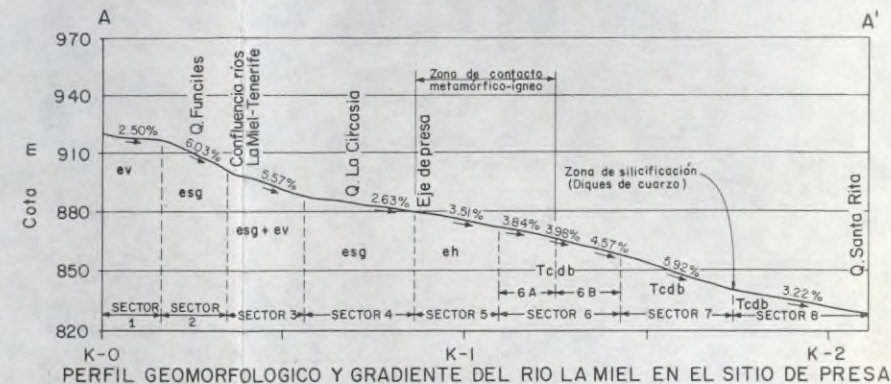
PERFIL GEOMORFOLOGICO DEL ALINEAMIENTO DEL TUNEL DE CARGA



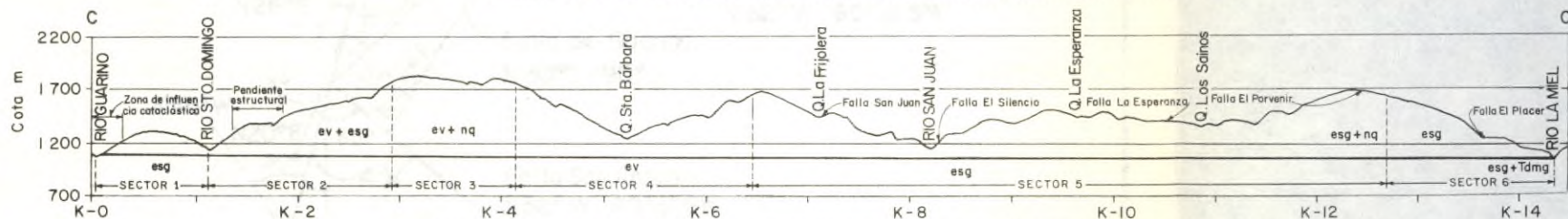
PLANTA DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA ADUCCION DEL RIO GUARINO



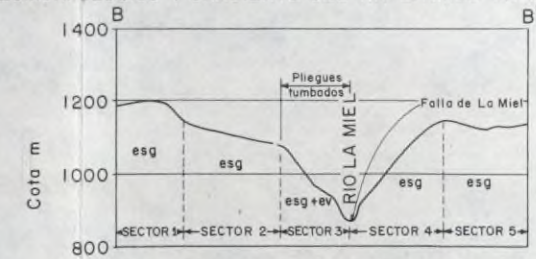
PLANTA SITIO DE PRESA



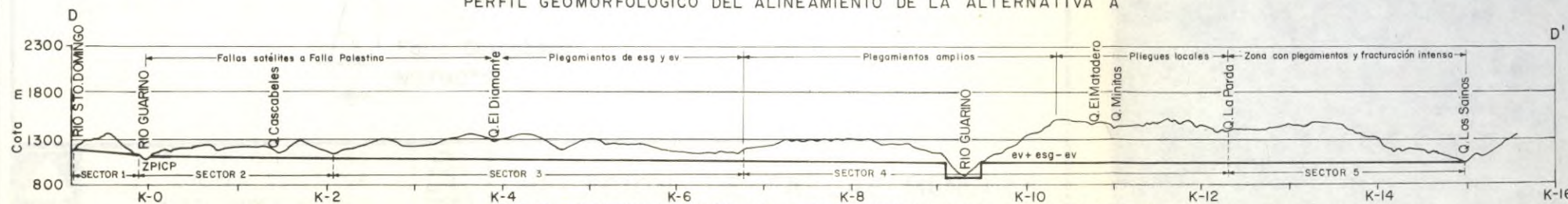
PERFIL GEOMORFOLOGICO Y GRADIENTE DEL RIO LA MIEL EN EL SITIO DE PRESA



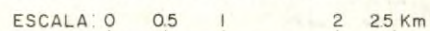
PERFIL GEOMORFOLOGICO DEL ALINEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA A



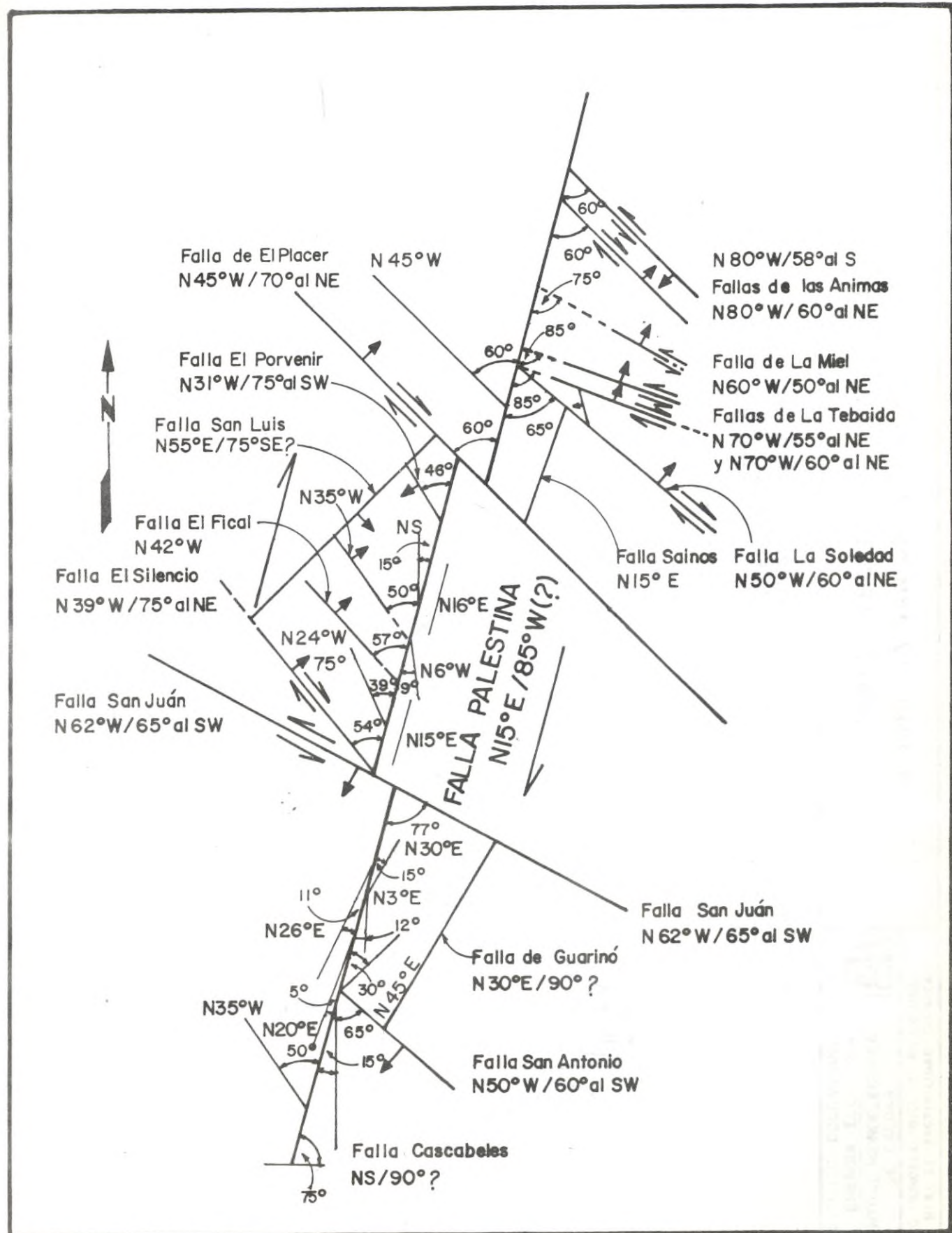
PERFIL GEOMORFOLOGICO DEL EJE DE PRESA



PERFIL GEOMORFOLOGICO DEL ALINEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA B



	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA CENTRAL HIDROELECTRICA DE CAJAS	
	DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA	
PERFILES GEOMORFOLOGICOS		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA		FECHA: NOV. 1979 FIGURA: C-9




INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
 PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

RELACION DE FALLAS MENORES CON LA FALLA PALESTINA

INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA

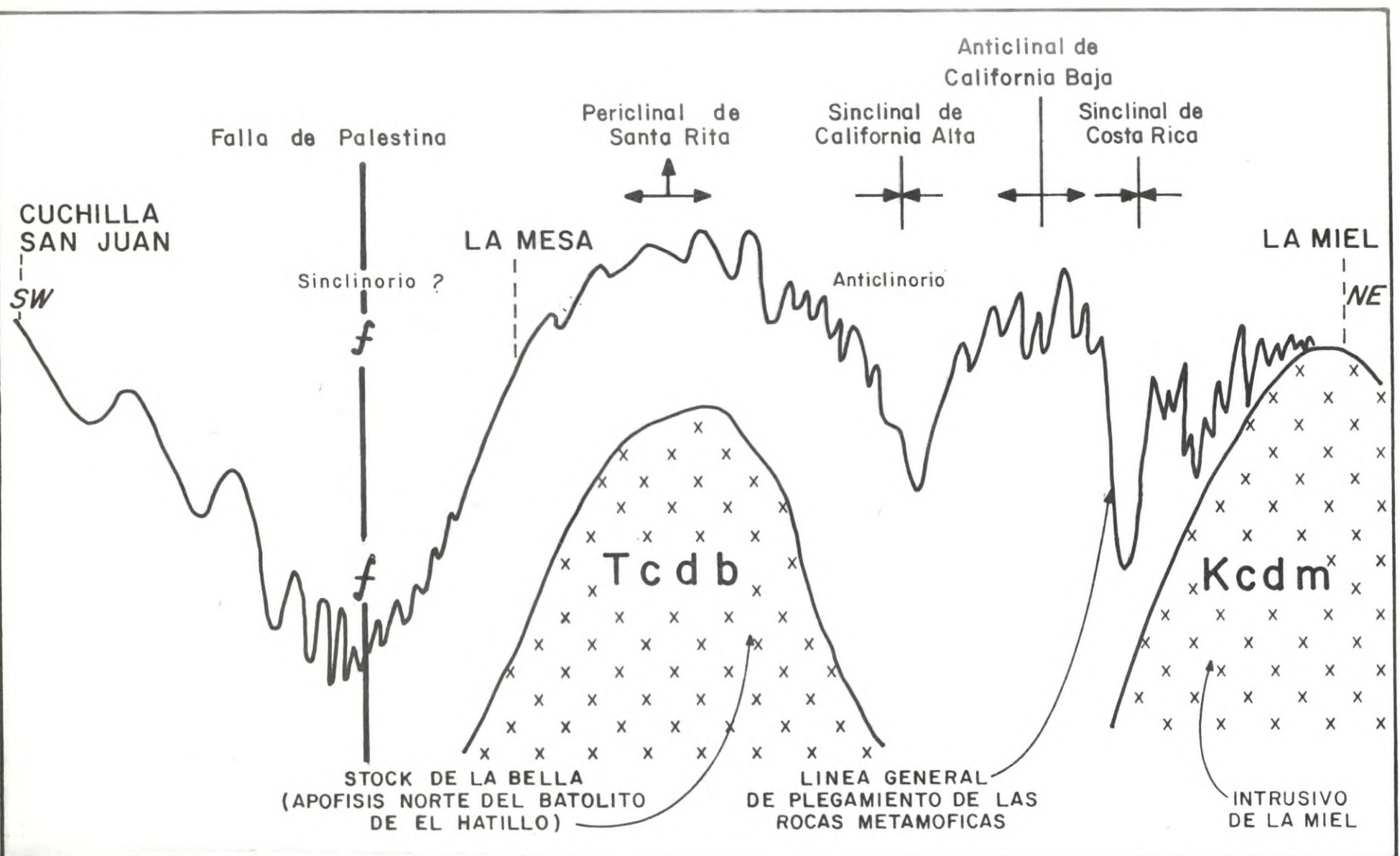




FIGURA C-11

	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
	CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA		

CORTE TECTONICO ESQUEMATICO
 CUCHILLA SAN JUAN - LA MESA - LA MIEL

INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA

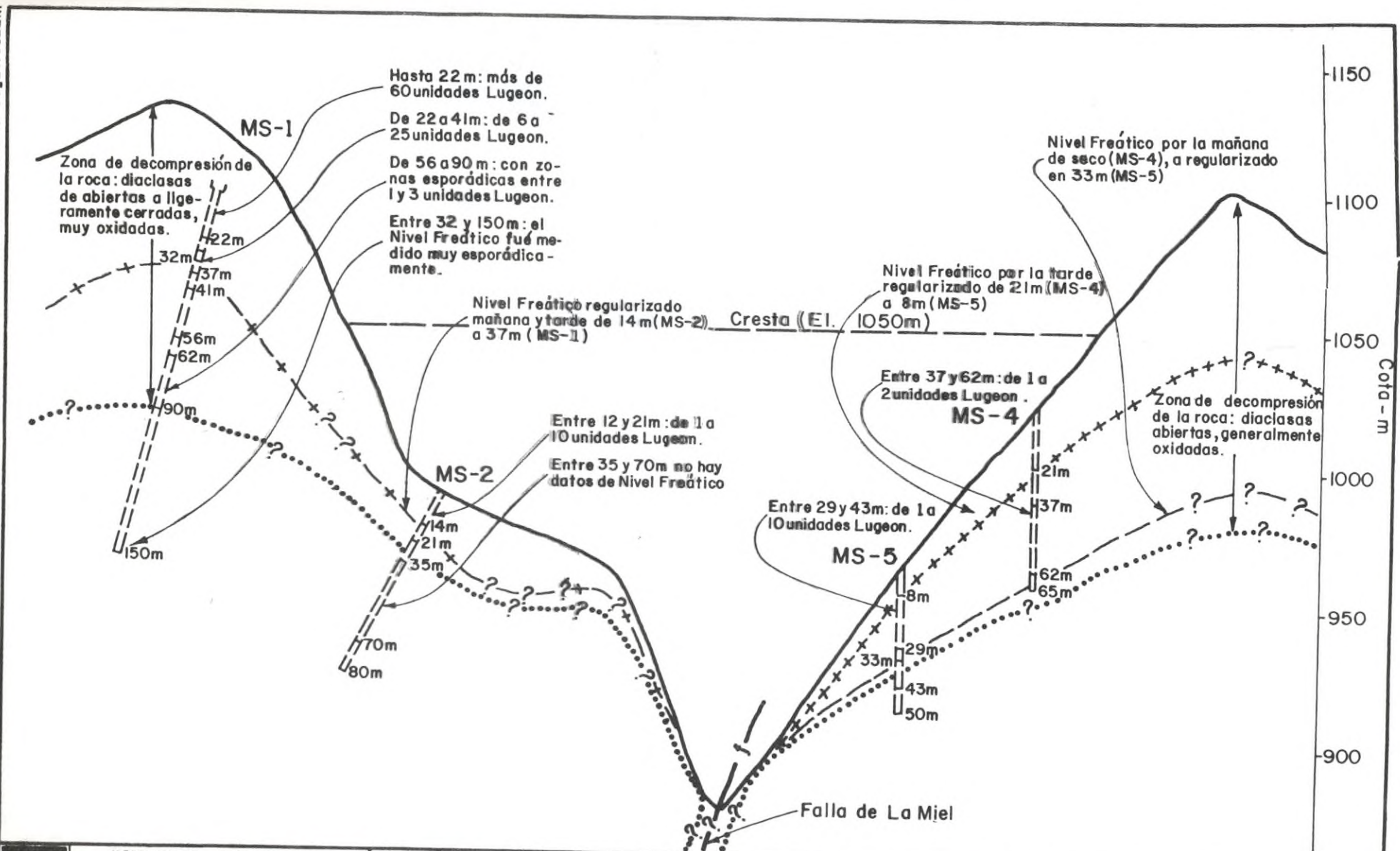
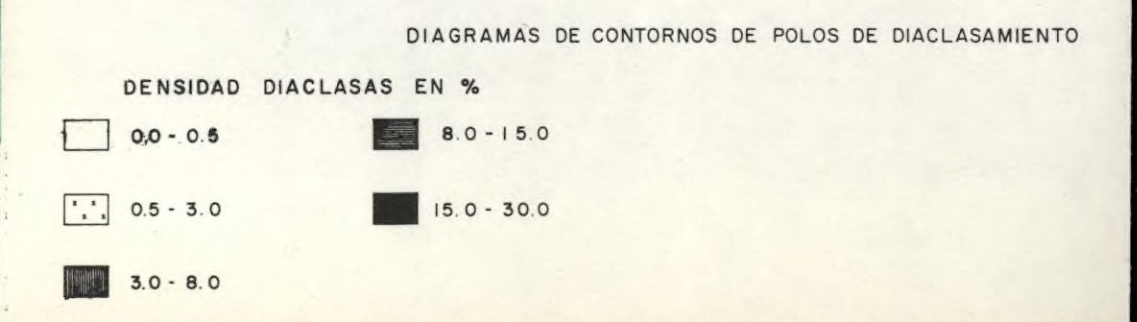
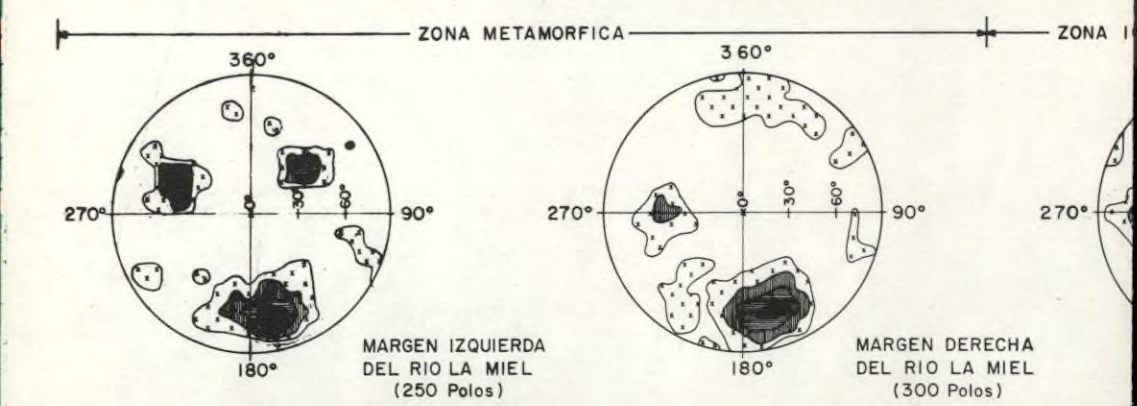
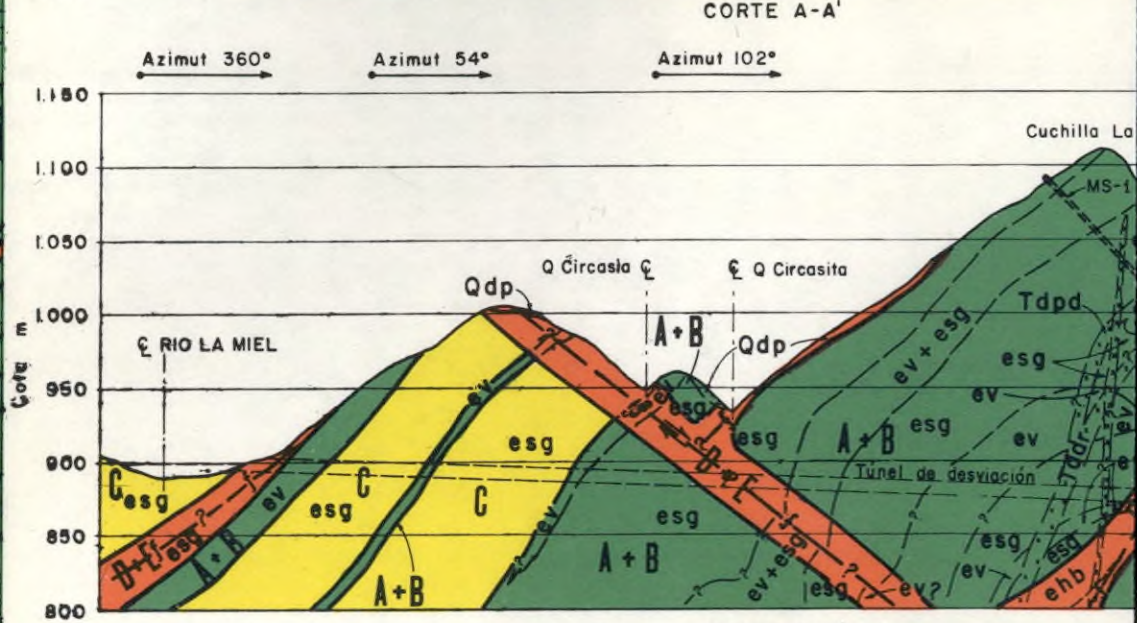
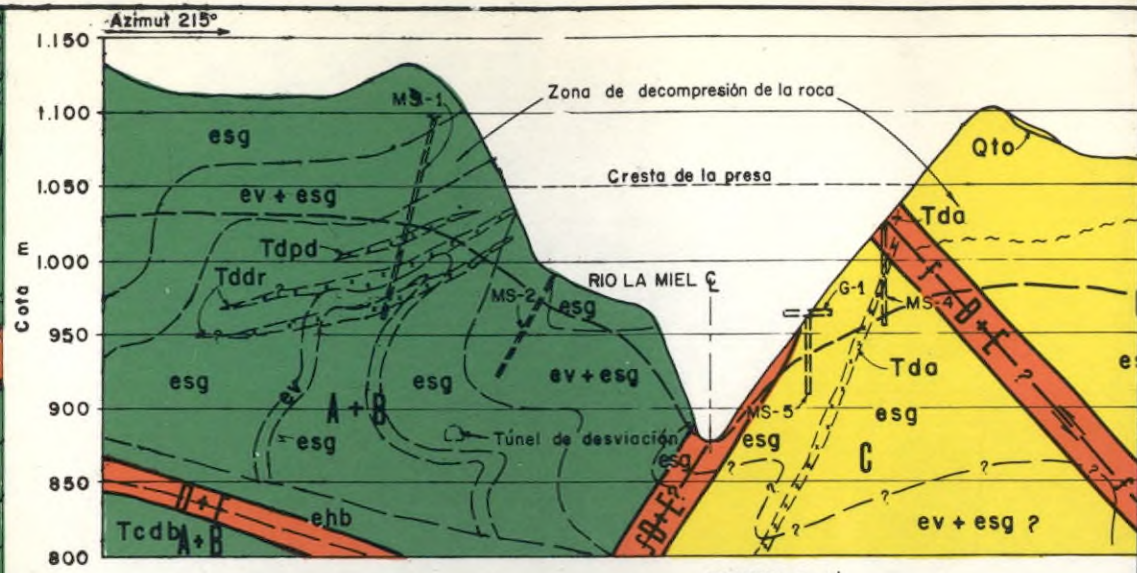
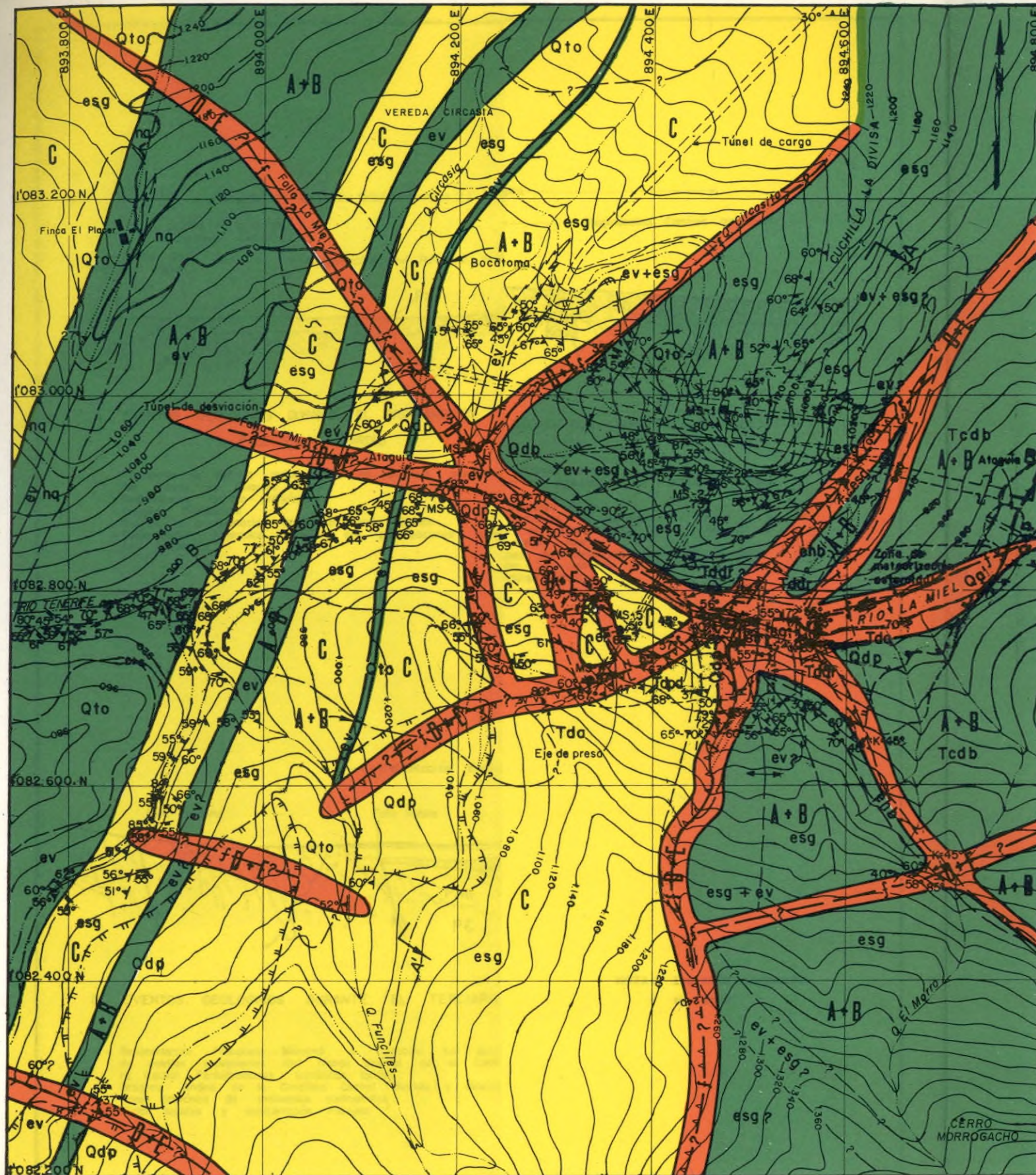


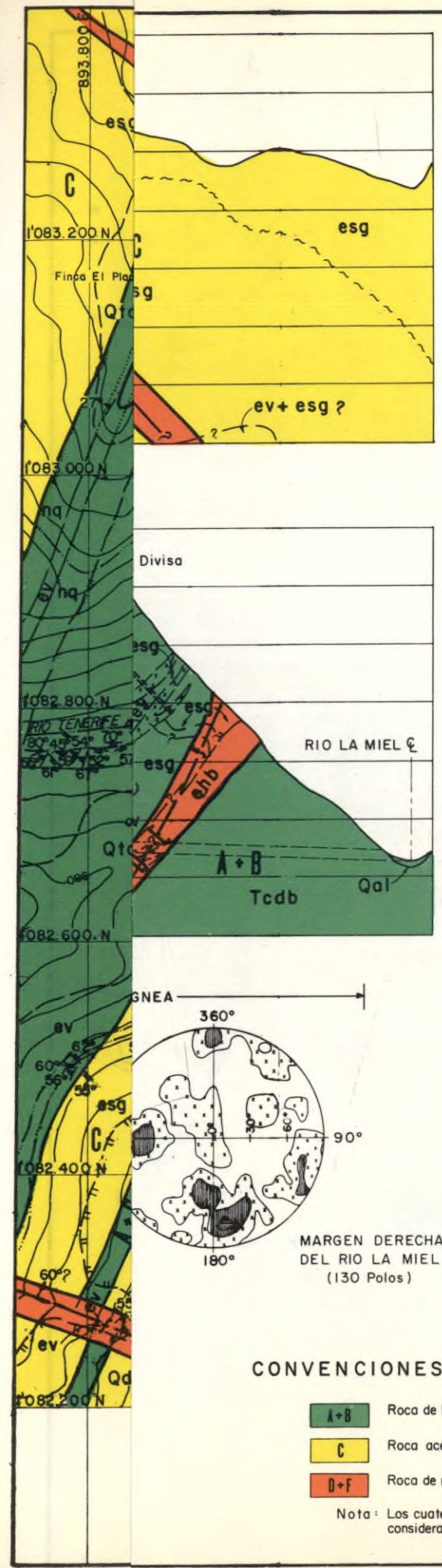
FIGURA C-12

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS

DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

ZONA MAXIMA ESTIMADA DE POSIBLE DECOMPRESION DE LA ROCA EN EL EJE DE PRESA

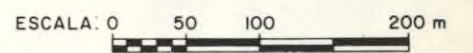




CONVENCIONES GEOLOGICAS

- A - LITOLOGICAS**
- DEPOSITOS CUATERNARIOS NO CONSOLIDADOS**
- Qdp** Derrubio de pendiente: bloques, canchales y fragmentos angulares de roca metamórfica e ígnea. En la mayoría de los casos presentan una fracción de limo-arcilla.
 - Qal** Depósitos aluviales: clastos de roca metamórfica e ígnea, redondeados o semiangulares, en proceso de transporte por acción directa de las corrientes de agua.
 - Qto** Depósitos piroclásticos: tobas de color amarillo a pardo compuestas por cenizas, lapilli y bombas volcánicas de deposición predominantemente eólica.
- ROCAS INTRUSIVAS DEL TERCIARIO**
- Tda Tddr Tdpc Tdd**
- Diques de composición variada, de aptítico y diorítico a pórfido-dacítico y dacítico.
- ROCAS METAMORFICAS DEL TERCIARIO**
- ehb** Aureola de contacto del stock de La Bella. Esquisto hornféisico de gris verdoso oscuro a gris-azulado, masivo, de fractura concoide
 - Tcdb** Stock de La Bella: cuarzdiorita biotítica holocristalina de grano grueso, inequigranular.
- ROCAS METAMORFICAS DEL PALEOZOICO**
- nq** Cuarzita y cuarcita biotítica-feldespática, con transiciones locales a esquisto cuarcítico.
 - ev** Esquisto verde compuesto principalmente por albita, epidota, clorita y actinolita.
 - esg** Esquisto gris compuesto por esquisto micáceo, grafitico, cuarcítico y feldespático.
- Los esquistos verdes y grises de la cuchilla La Divisa y cerro Morrogacha, aguas abajo de la confluencia de la quebrada Circasia, son de textura néisica a migmatítica.

- B - ESTRUCTURALES**
- Contacto geológico definido
 - - - Contacto geológico inferido
 - · - Contacto geológico probable
 - ↕ Anticlinal
 - ↘ Sinclinal
 - ↕ Anticlinal invertido
 - ↘ Sinclinal invertido y cabeceo en grados
 - ↘ Falla normal-direccional (?) y buzamiento en grados
 - ↘ Falla inversa y buzamiento en grados, mostrando posible componente horizontal
 - ↘ Falla probable, generalmente cubierta por depósitos cuaternarios
 - ↘ K=45° Contacto ígneo-metamórfico y buzamiento en grados
 - ↘ 60° Rumbo de foliación y buzamiento en grados
 - ~ ~ ~ Esquistosidad
 - ↖ Diaclasa vertical y/o paravertical
 - ↖ 55° Diaclasa con inclinación en grados
 - ↖ 62° Dique con inclinación en grados
 - ↖ Dique vertical
 - ↖ Zona de derrumbe activo
 - ↖ Zona de derrumbe inactivo (derrubio de pendiente generalmente recubierto por depósitos tobáceos)
 - MS-2 Localización de perforación y su número
 - Límite de embalse y cauces de agua

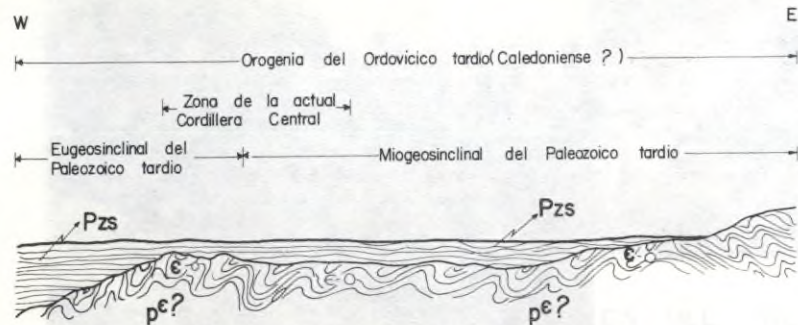


CONVENCIONES GEOTECNICAS

- A+B** Roca de buena a muy buena
- C** Roca aceptable
- D+F** Roca de mala a muy mala

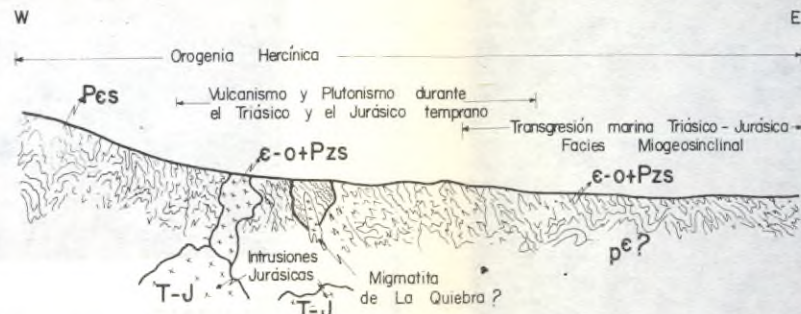
Nota: Los cuaternarios (Qto, Qal y Qdp) deben considerarse como de clase D+E

	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
	DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA	
MAPA GEOTECNICO DE LA ZONA DE PRESA		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES- GEOCOLOMBIA	FECHA NOV, 1979 FIGURA C-13	



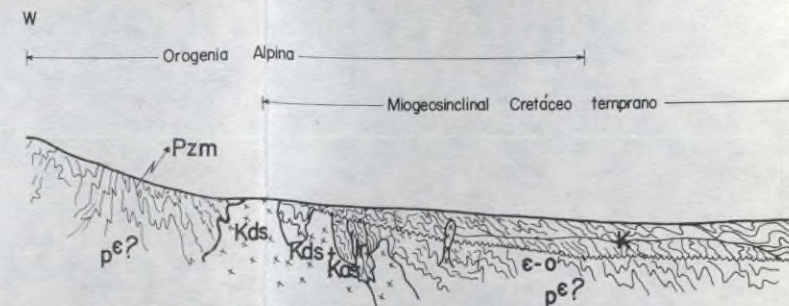
A. EVENTOS GEOLOGICOS DURANTE EL PRE-CAMBRICO Y EL PALEOZOICO TARDIO

- Transporte de detritos metamórficos pre-cámbricos provenientes del Escudo de Guayana.
- Sedimentación Cambro-Ordovícica.
- Orogenia Caledoniense.
- Erosión y peneplanación Ordovícico tardía - Silúrica.
- Sedimentación Paleozoica Superior, con perturbaciones tectónicas locales.



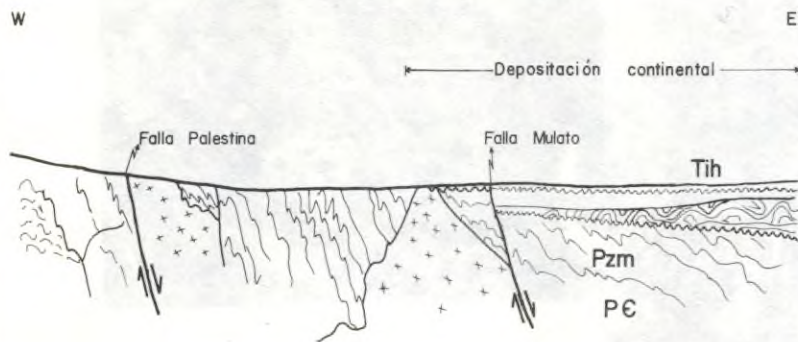
B. EVENTOS GEOLOGICOS DURANTE EL PALEOZOICO TARDIO Y EL JURASICO

- Orogenia Hercínica (Pérmico tardío - Triásico temprano) con metamorfismo regional.
- Formación (intrusión?) del Cuerpo Migmático de La Quebra y magmatismo dentro del complejo Metamórfico pre-existente durante el Pérmico y Triásico temprano (?).
- Magmatismo plutónico y volcánico durante el Triásico - Jurásico (fuera de la zona de estudio).
- Durante los eventos anteriores ocurrió erosión extensa que duró posiblemente hasta el Jurásico con transporte de detritos hacia el Oriente.



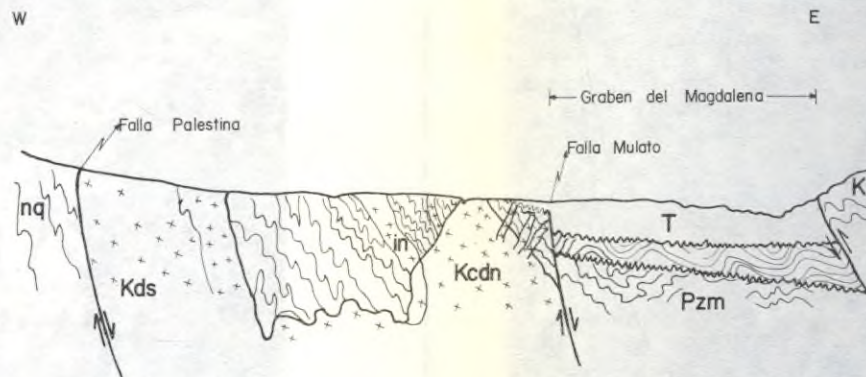
C. EVENTOS GEOLOGICOS DURANTE EL CRETACEO

- Continuación del proceso erosivo.
- Transgresión marina y deposición de sedimentos durante el Aptiano - Albiano.
- Orogenia Alpina (Cretáceo medio).
- Intrusión de los batolitos de Antioquia y Sonsón, y de los plutones satélites de Norcasia, La Miel y Samaná a la culminación del evento anterior.
- Intrusión de diques de composición intermedia a ácida a finales del Cretáceo (y comienzo del Terciario?).
- Peneplanación Cretácea tardía.



D. EVENTOS GEOLOGICOS DURANTE EL TERCIARIO

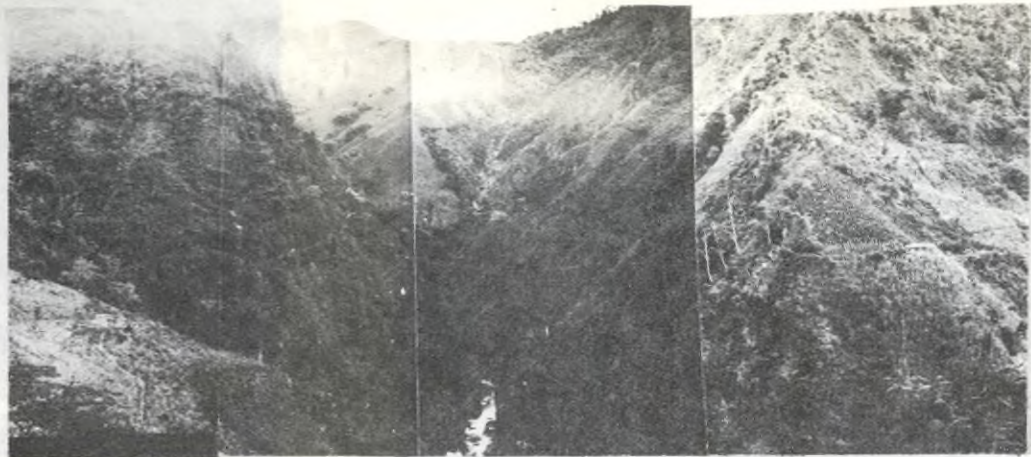
- Sedimentación Paleoceno - Mioceno a Oligoceno con aporte de detritos provenientes del flanco oriental de la Cordillera Central. Perturbaciones tectónicas locales.
- Orogenia Andina de la Cordillera Central (Mioceno) y deposiciones sincrónicas de sedimentos continentales.
- Hiatos locales y sedimentación Plioceno.



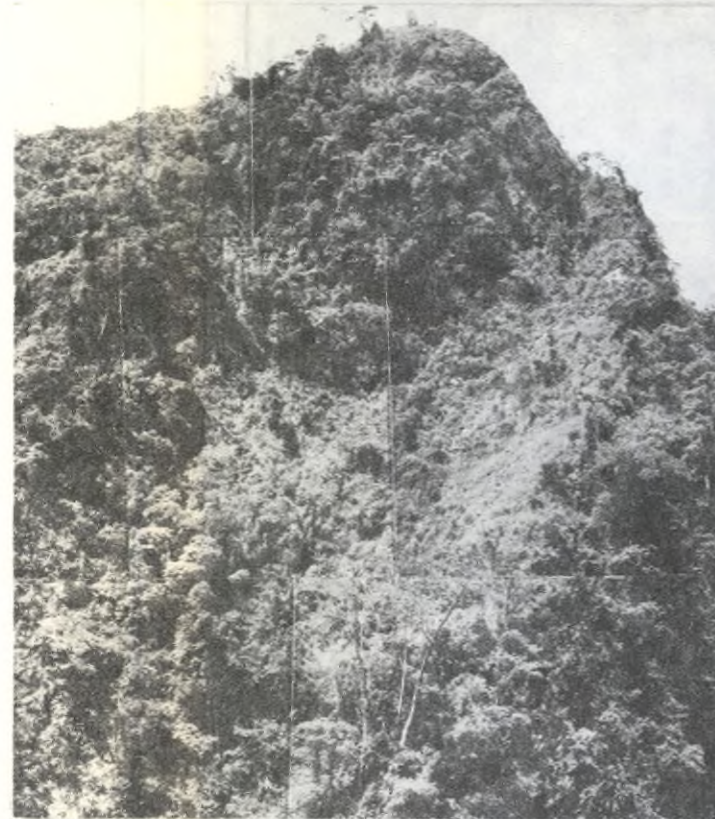
E. EVENTOS GEOLOGICOS RECIENTES

- Volcanismo pleistocénico.
- Deposition de lavas, tobas, aglomerados, material glacial, fluvio-glacial y fluvial.
- Erosión del flanco oriental de la Cordillera Central hasta exponer su zócalo cordillerano con rejuvenecimiento de ríos, formación de valles en V, etc., para configuración del paisaje geomorfológico actual.

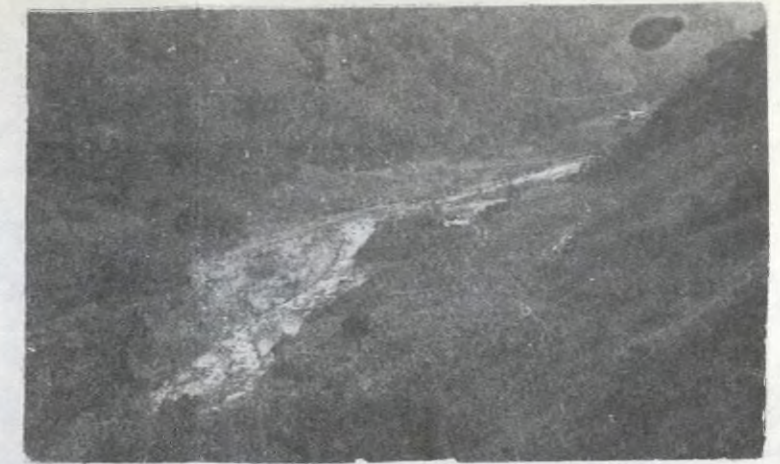
NOTA: Esquemas elaborados sin escala.



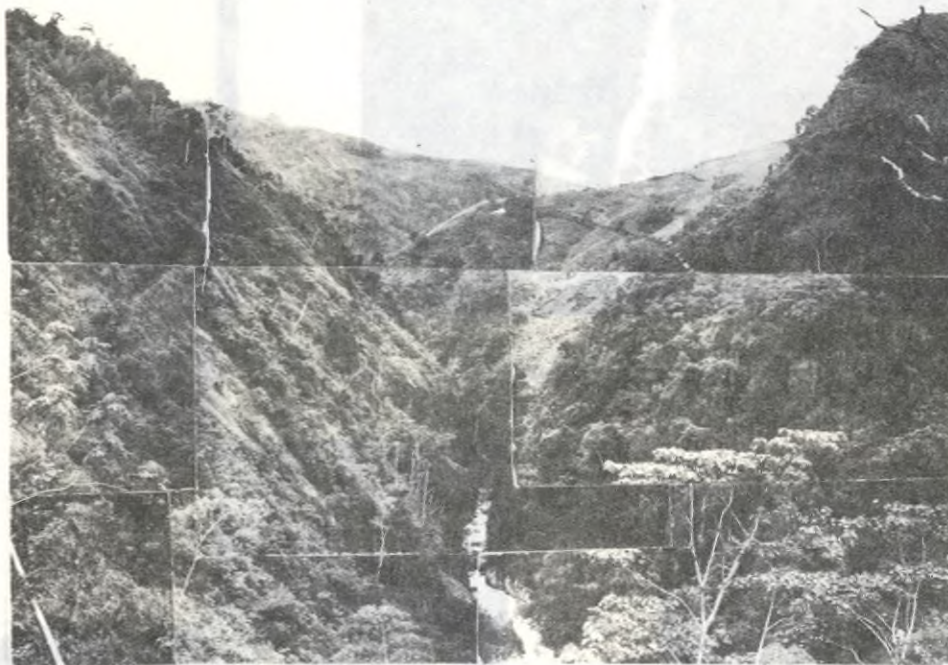
SITIO DE PRESA VISTO AGUAS ABAJO



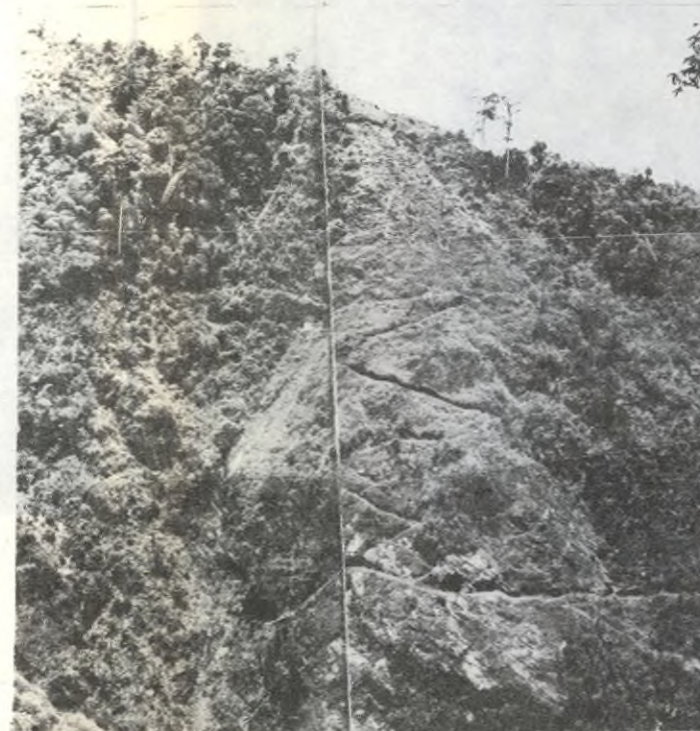
ESTRIBO IZQUIERDO DEL SITIO DE PRESA



PANORAMICA DEL VALLE DEL RIO GUARINO;
AL FONDO CONFLUENCIA CON EL RIO
SANTO DOMINGO



SITIO DE PRESA VISTO HACIA AGUAS ARRIBA



ESTRIBO DERECHO DEL SITIO DE PRESA

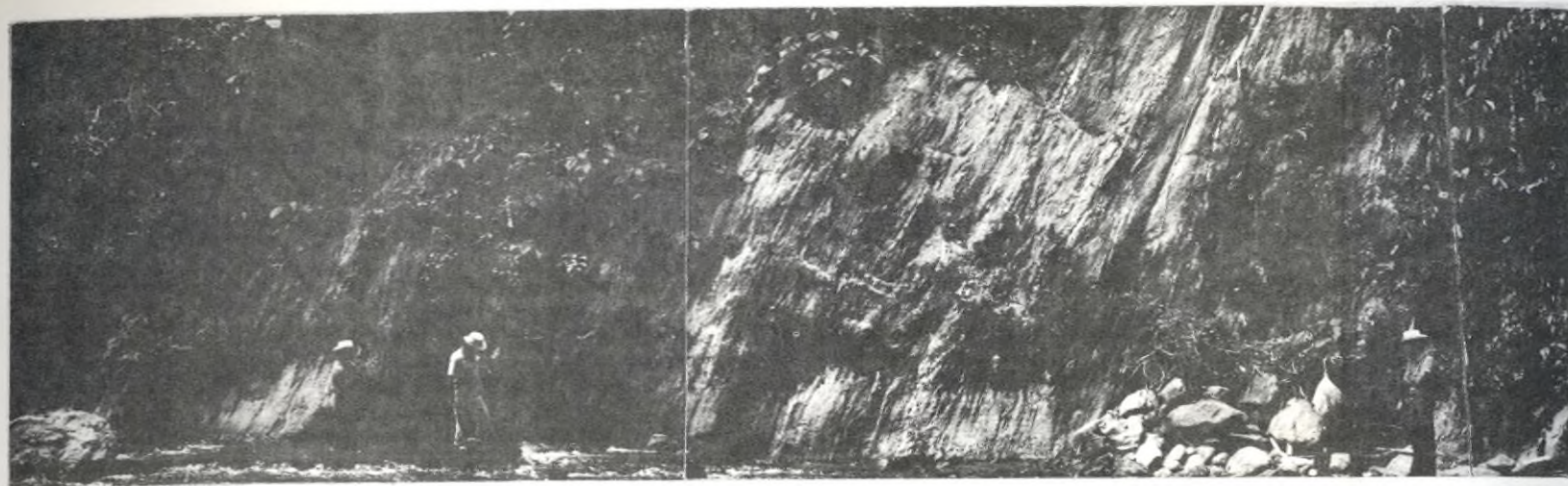


ANGOSTURA EN EL RIO GUARINO ,
DONDE SE PROYECTA EL SIFON
PARA LA ALTERNATIVA B



CONTACTO IGNEO - METAMORFICO POR LA MARGEN
IZQUIERDA DEL RIO LA MIEL AGUAS ABAJO
DEL EJE DE PRESA

MOSAICO FOTOGRAFICO



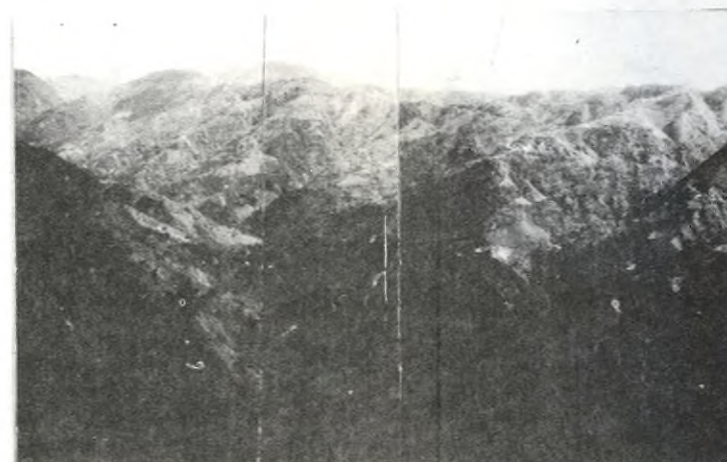
SITIO DEL PORTAL DE SALIDA DEL TUNEL DE GUARINO.
ALTERNATIVA A. RIO LA MIEL



VALLE DE LA QUEBRADA SAINOS



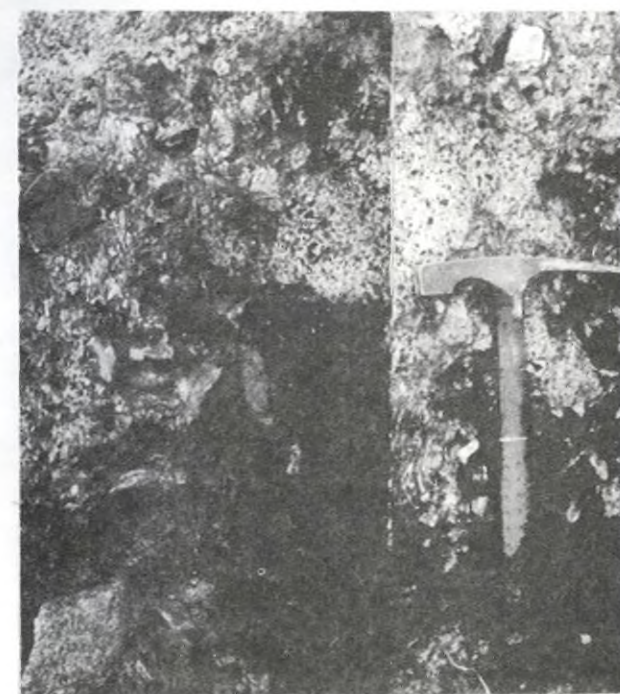
FALLA DE PALESTINA AL OCCIDENTE
DE MARQUETALIA



EXPRESION MORFOLOGICA DE LA FALLA
DE PALESTINA EN EMBALSE



AGLOMERADO EN LOS ALREDEDORES
DE MARQUETALIA



CATACLASIS EN ROCA META
AL NORTE DE CIRCA



SITIO

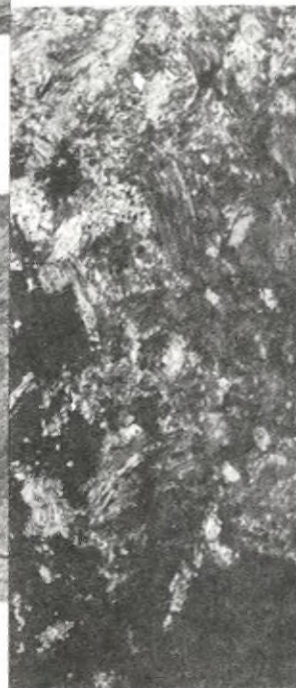


CASCADAS DE SANTA RITA



FALLA DE

DE MORFICA
ASIA



QUEBRADA LA NEGRA.
CASA DE MAQUINAS
SUBTERRANEA

MOSAICO FOTOGRAFICO

Ricardo Cayula
Desarrollo de
Calle 40, No. 10
Bogotá, Colombia

Don Ricardo

This
Tunnel for
at Ciudad
and also
visited
Tunnel
of the
lower
the road
alignm
visit
to the
in 1971

also
at 1971

at
A.
Za
2
4
11
1

A N E X O 1

INFORME DE CONSULTORES

Richard E. Goodman, Ph.D.

715 Arlington
Berkeley, Calif. 94707
524-5256 (Area 415)

April 14, 1979

Ricardo Cajiao
Consortio Rio La Miel
Calle 60, No. 5-53
Bogota, Colombia

Dear Ricardo,

This letter and attachments concerns the design of Guarino River Diversion Tunnel for Miel 2, as well as the spillway for the dam at Miel 2. I travelled to Colombia on February 27 and went to the field with you, Gugliermo Jimenez, and Ricardo Cortez on Wednesday, February 28, staying through March 2. We visited sites along both alternatives A and B of the Guarino River Diversion Tunnel scheme, inspecting rock exposures and gaining vistas of sections of the tunnel alignments. We also travelled by horse and foot along the lower stretches of the Alternative B. Particular interest was centered in the rock conditions associated with the Palestina Fault which lies near the alignment for Alternative A on the left bank of the Guarino River. The field visit included an excursion to the Miel 2 damsite to examine the left abutment in the neighborhood of the spillway cut alternative and to examine drilling in progress on hole SP ML. I returned to Berkeley on March 3.

The questions to be explored here are mainly related to the choice of alternative for the tunnel line and the expectable rock conditions, particularly as they relate to design.

Alternative A is preferred if the Palestina fault does not create enormous complications since it is about two kilometers shorter than alternative A. One could prefer the longer alignment if the proximity to the Palestina fault in the shorter alignment were to raise tunnelling costs. Therefore, the conditions in the environs of the fault are crucial to planning. Accordingly, I consider good, detailed exploration of the rock conditions in the Palestina fault zone and contiguous country rock to be the first priority in exploration. At least two moderately deep borings, possibly three, should penetrate to a minimum depth of 100 meters to record the rock and groundwater conditions in the zone adjacent to the Palestina Fault on the left bank near the tunnel line(A). One of these borings should reach tunnel grade. Additionally, borings are needed at other points along the line of the tunnel to provide information for rock classification as discussed later.

Based upon our examination of outcrops, the conditions in the zone adjacent to the Palestina fault, and the fault line itself, can be expected to vary greatly from moderately good to bad, proceeding from closely jointed rock to altered and highly fractured rock. Judgements from examination of road cuts are complicated by severe rock weathering at higher elevations. The geomorphology of the Miel region is one of rejuvenated erosion following uplift; points at high elevations reflect ancient, long continued weathering, whereas rock exposures at lower elevations are more recent. Whereas the rocks in the upland are thoroughly weathered, those at lower elevations generally appear moderately fresh, except at specific, isolated locales.

Examination of the outcrops in the zone mapped by Ricardo Cortez as the influence zone of the Palestina fault demonstrates that the mapping is reasonably accurate, the more so considering the limitations of exposure and the lack of good stratigraphic markers. The fault itself is not clear, lacking the pronounced topographic effects common to master faults of California. Within the fault zone, the road cuts display altered phyllites, quartz-rich mylonites, deformed mylonite with tight folding of such a scale that entire folds can be found in hand specimens, and irregular, non-continuous shear zones with pods of quartz. These features document that whether or not there is a fault in the usual sense, the zone contiguous to the mapped fault line is pervasively damaged and contains much rock of lower quality than the average of the rock mass outside of this zone.

Geological mapping was facilitated by recognizing a large number of petrologic units in hope that they would clarify the stratigraphy. As the rock formations seem to represent a metamorphosed sedimentary sequence, there is validity in this mode of operation. However, most of the units are indistinct from one another in a geotechnical sense. Therefore, I have elected to collect the map units into a smaller number of geotechnically meaningful categories, as follows.

- Rock Type 1 - Gneiss and gneissic schist (es qtz-ng; ng; ng grf)
- Rock Type 2 - Schists (es; es al; es qtz; es mic; es fil; and es fd)
- Rock Type 3 - Graphitic schists (es grf; es grf-qtz; es mic-grf; es qtz-grf)
- Rock Type 4 - Zone of crushed or closely jointed rock next to the Palestina Fault.

These units are shown on the cross section included with this report. The section has been drawn to equal vertical and horizontal scales and is based on the geological map of Ricardo Cortez, dated February 28, 1979. The section was drawn without the benefit of the extensive measurements of structural attitudes in the field. I will be able to improve this section somewhat if the record of field attitudes is provided. I was assisted in this work by one of my students, David Rogers. The topographic map showing the line of Alternative A used for preparing the section is returned with this report for your reference.

As listed on the geological section, tunnel line A pierces rock of type 1 for about 400 meters, rock of type 2 for 9520 meters, rock of type 3 for 4025 meters, and fault zone material for about 500 meters. The significance of this in terms of tunnel design, costs, and scheduling can be evaluated by attempting some sort of classification of the rock units which accounts for the differing properties of the rock units with regard to tunnel excavation, support and lining. The Geomechanics classification of Z. T. Bieniawski is appropriate for this purpose*.

*Z. T. Bieniawski (1976) "Rock mass classification in rock engineering," Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering (Balkema, Rotterdam), Vol. 1, pp 97-106

The Geomechanics Classification system of Bieniawski provides a general rock mass rating (RMR) increasing with rock quality from 0 to 100. It is based upon five universal parameters: strength of the rock; drill core quality; ground water conditions; joint and fracture spacing; joint characteristics. The orientation of joints relative to the tunneling provides a sixth parameter.

The strength of the rock can be evaluated using a laboratory compression test on prepared samples, or using the point load test on intact pieces of drill core. The rock mass rating increments corresponding to compressive strength values are listed in Table 1.

Drill core quality is rated according to the RQD ("Rock Quality Designation") introduced by Deere. Though widely used as a sole parameter for classification of rock quality, I believe it is preferable to combine the RQD measure with other parameters accounting for rock strength, joint character, and environmental factors, since the RQD alone ignores these features. The rock mass rating increments corresponding to five bands of RQD values are given in Table 2.

TABLE 1

ROCK MASS RATING INCREMENTS FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF THE ROCK

Point Load Index (MPa)	or	Unconfined Compressive Strength (psi)	Rating
>8		30,000	15
4 - 8		15,000 - 30,000	12
2 - 4		7,500 - 15,000	7
1 - 2		3,750 - 7,500	4
Don't use		1,500 - 3,750	2
Don't use		500 - 3,750	1
Don't use		<500	0

TABLE 2

ROCK MASS RATING INCREMENTS FOR DRILL CORE QUALITY

RQD	Rating
91% - 100%	20
76% - 90%	17
51% - 75%	13
25% - 50%	8
<25%	3

The spacing of joints is also evaluated from drill core, if available. It is assumed that the rock mass contains three sets of joints in general and the spacing entered in Table 3 to determine the rating increment should reflect that joint set considered to be most critical for the particular application. In this case it would be the joint set parallel to schistosity. If the rock mass has fewer sets of joints, the rating may be established more favorably than indicated in this table. The condition of joints is likewise examined with respect to the joint sets most likely to influence the work. In general, the descriptions of joint surface roughness and coating material should be weighted towards the smoothest and weakest joint set. Joint condition ratings are given in Table 4.

The Geomechanics Classification attempts to include a ground water rating term as given in Table 5. If an exploratory adit or pilot tunnel were available, measurements of water inflows or joint water pressures could be used to determine the rating increment directly. The drill core and drilling log can be used in lieu of such information to assign the rock to one of four categories from which the rating increment is assigned--completely dry, moist, water under moderate pressure, or severe water problems.

Since the orientation of the joints relative to the work can have an influence on the behavior of the rock, Bieniawski recommended adjusting the sum of the first five rating numbers to account for favorable or unfavorable orientations, according to Table 6. No points are subtracted for very favorable orientations of joints, and up to 12 points are deducted for unfavorable orientations of joints in tunnels. It is difficult to apply these corrections by universal charts as a given orientation may be favorable or unfavorable depending upon the ground water and joint conditions. Thus the application of Table 6 will require experience from tunneling in similar schists.

TABLE 3

INCREMENTS OF ROCK MASS RATING FOR SPACING OF
JOINTS OF MOST INFLUENTIAL SET

Joint Spacing (meters)	Rating
>3	30
1 - 3	25
0.3 - 1	20
.005 to .3	10
<.005	5

TABLE 4

ROCK MASS RATING INCREMENTS FOR JOINT CONDITION

Description	Rating
Very rough surfaces of limited extent; hard wall rock	25
Slightly rough surfaces; aperture less than 1 mm; hard wall rock	20
Slightly rough surfaces; aperture less than 1 mm; soft wall rock	12
Smooth surfaces, OR gouge filling 1 - 5 mm thick, OR aperture of 1 - 5 mm; joints extend more than several meters	6
Open joints filled with more than 5 mm of gouge, OR open more than 5 mm; joints extend more than several meters.	0

TABLE 5

INCREMENTS OF ROCK MASS RATING DUE TO GROUND WATER CONDITION

Inflow per 10 meter tunnel length (liters per minute)	OR	Joint water Pressure divided by major principal stress	OR	General Condition	Rating
None		0		Completely Dry	10
25		0.0 - 0.2		Moist	7
25 - 125		0.2 - 0.5		Water Under Moderate Pressure	4
125		0.5		Severe Water Problems	0

TABLE 6

ADJUSTMENT IN RMR FOR JOINT ORIENTATIONS

Assessment of Influence of Orientation on the Work	Rating increment for Tunnels
Very favorable	0
Favorable	-2
Fair	-5
Unfavorable	-10
Very unfavorable	-12

The overall rock mass ratio is the sum of the six increments, selected from Tables 1 through 6. The total ratio earns the rock mass one of the descriptive names given in Table 7.

TABLE 7

GEOMECHANICS CLASSIFICATION OF ROCK MASSES

Class	Description of Rock Mass	RMR
		Sum of rating increments from Tables 1 - 6
I	Very good rock	81 - 100
II	Good rock	61 - 80
III	Fair rock	41 - 60
IV	Poor rock	21 - 40
V	Very poor rock	0 - 20

Lauffer* recognized that the stand-up time of the rock in a tunnel depends upon both the rock condition and the "active span"; the latter is defined as the minimum of the tunnel width and the unsupported length at the face. Lauffer's chart relating log of active span to log of stand-up time was calibrated by Bieniawski (1976) in terms of the Geomechanics Classification, as shown in Figure 1. The lower and upper curves delimit the range of prediction for the active span length that should fail after the given time. Contours of rock mass rating between these limiting curves separate fields. Thus, given the rock mass rating and the active span, Figure 1 offers a prediction of the time to failure. The chart is based upon the set of points summarizing South African practice, which I am told is somewhat less conservative than Austrian experience.

*Lauffer, H. (1958) "Gebirgsklassiferung fur den Stollenbau" Geologie und Bauwesen, Vol. 24, pp. 46-51.

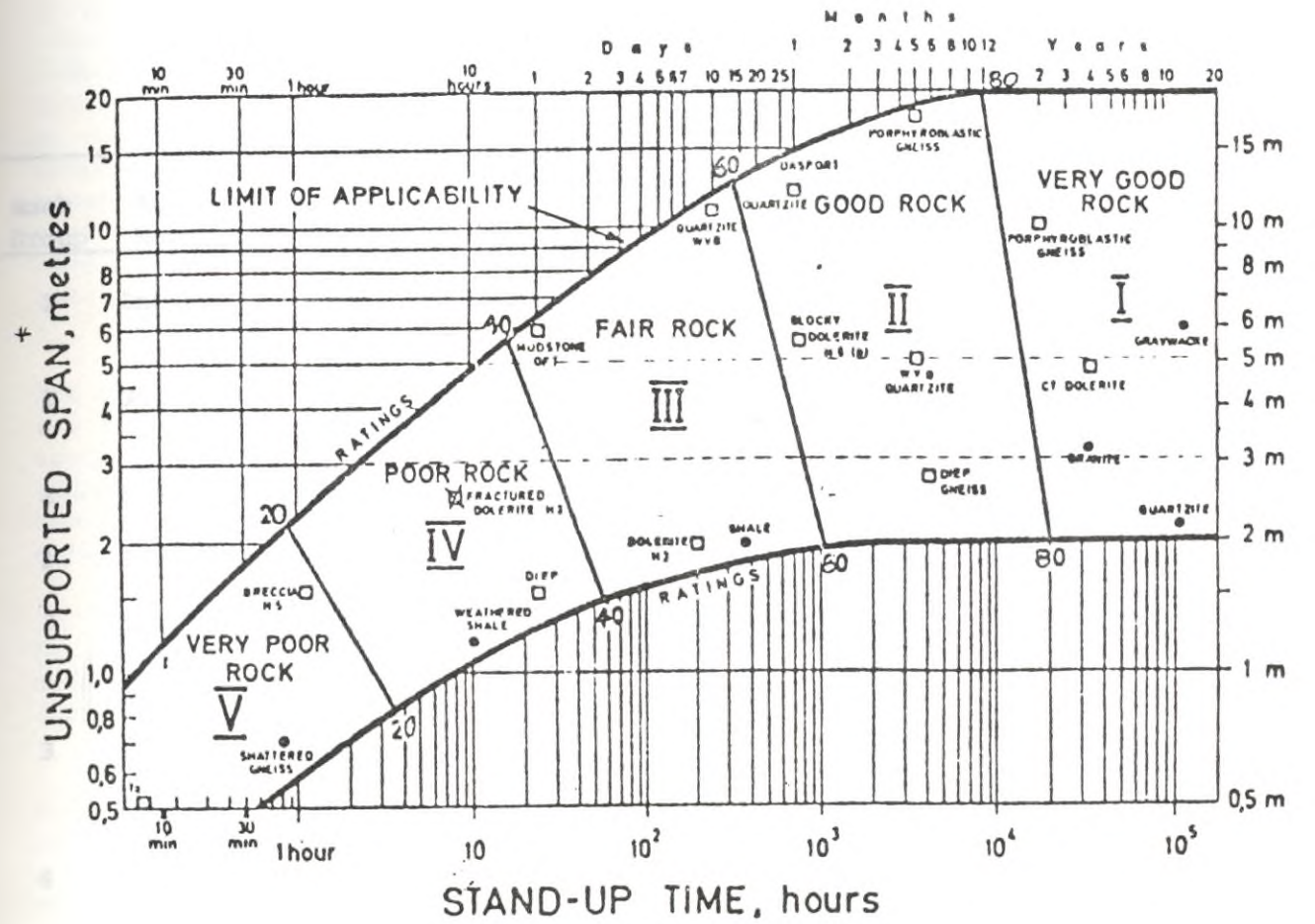


Figure 1 Geomechanics Classification of Rock Masses Applied to Predicting the Stand-up Time in Tunnelling. After Bieniawski (1976)

For the Guarino tunnel, I have made assumptions for the parameters required for application of the above classification as described in Table 8 below.

TABLE 8

ROCK MASS CLASSIFICATION FOR GUARINO DIVERSION

Rock Group	Rock Names	Rock Condition	Rock Mass Rating Increments					Orientation	Rating	Description
			q_u	RQD	Joint Spacing	Joint Condition	Water			
1	Gneiss	Sound	15	20	25	25	4	-5	84	Very Good
1	Gneiss	Closely Fractured	15	13	15	25	4	-5	67	Good
2	Schist	Fresh	12	17	20	20	4	-5	68	Good
2	Schist	Weathered	7	13	15	12	4	-5	46	Fair
3	Graphitic Schist	Fresh	7	13	20	12	4	-5	51	Fair
3	Graphitic Schist	Weathered	6	8	10	9	4	-5	32	Poor
4	Faulted Schist	Altered and broken	4	3	10	6	0	-5	18	Poor to very poor

As an illustration of how rock classification can be used to infer tunneling conditions, consider a tunnel of 3 meters unsupported span. The latter is the distance to the face from the previously supported section, or the tunnel width, whichever is less. If the length of time in which the tunnel can remain open without support is less than one day, only rapidly applied shotcrete could provide adequate support during construction. On the other hand, if the stand-up time is in the range of one day to one week, resin anchored rock bolts or expansion shell rock bolts could be used, the former preferable for the shorter stand-up time. For stand-up time of one week to three months, support would be required but it could be of a passive variety, e.g., unstressed steel sets or grouted reinforcing bars. For stand-up time of three months to one year, the rock could be driven unsupported but must be lined. Finally, if the stand-up time is more than about twenty years, lining may not be required at all, assuming that seams and scourable members are protected with local shotcrete, or a "light" lining. On this basis, we can use Figure 1 to estimate the rock mass ratings corresponding to the division between classes of supports. For the 3 meter unsupported span, we will need shotcrete exclusively for rocks with a rating less than 39, rock bolts for rocks from 39 to 50, grouted re-bars or steel sets for rocks rating 50 to 67, unsupported but lightly lined for rocks with ratings 67 to 92, and unsupported and unlined if the rating is greater than 92.

For a 5 meter unsupported span, the divisions between support classes are slightly greater -- 42, 56, 68, and 92.

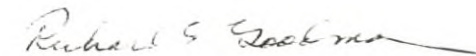
The above exercise is not to be swallowed literally. It is useful, however, in showing how the rock conditions within the tunnel accord with experience in other tunnel projects, represented by the points in Figure 1. Based upon the numbers deduced above, it seems that graphitic schist will require quick support that can be provided only by shotcrete when the rock is encountered in a faulted or weathered condition. On the other hand, the classification suggests that fresh graphitic schist and weathered schist of other classes can be supported with tensioned rock bolts (or shotcrete if desired). Fresh schist and closely fractured gneiss should require only passive supports like steel sets or grouted reinforcing bars and sound gneiss can be tunneled without support. The classification suggests that a lining will be prudent throughout the tunnel.

In summary, the question of appraising rock conditions for Guarino tunnel has been addressed in the following way. A cross section was drawn to determine the lengths of tunneling in different geotechnical rock groups. Each group was assigned a rating based upon experiences in other tunnels. Finally, for an assumed tunnel size, the categories of supports were estimated. As specific information about rock condition is developed by drill holes, the rock mass ratings and the estimates of support requirements accordingly can be revised.

Based upon the geological section shown for alternative A, I believe it would be unnecessary to consider alternative B at this time. If the borings show considerably worse rock conditions adjacent to the Palestina fault, it would then be desirable to begin detailed exploration of alternative B.

On the question of the spillway for Miel 2 dam, the visit to the spillway site confirmed that the rock forming the narrow ridge is sound and strong. Only a modest rock cut is required to develop the appropriate elevation for an open cut spillway. It seems an ideal location for an open cut. Further analysis must await the completion of all exploration in this area. However, core from hole SPM1 confirms that the rock contains very strong migmatitic gneiss. There is some calcite mineralization, some pyrite, and occasional limonite along small faults and joints. The RQD is usually greater than 90%. Weathering extends only to a depth of about 13 meters. The rock is not schistose but there is a gneissic banding structure, dipping about 45 degrees (approximately across the core which was drilled in a hole inclined 45 degrees into the hill). A joint orientation analysis should be made for the rock in the core and outcrops near the site of the open cut.

Very sincerely,



Richard E. Goodman

REG:ja

Introduction

I visited the Miel - 2 project during July 25 to 27, 1979, accompanied by Ricardo de Espriella, and Ricardo Cortez, and subsequently by personnel of ICEL, and CHEC as well as others from Consorcio. The purposes of this visit were to review the progress of site exploration, with particular reference to the power tunnel and powerhouse, the dam site, the Guarino tunnel diversion, and the tectonics of the reservoir area. Concern had been voiced about the possibility of expensive tunneling for the Guarino diversion, and a choice was to be made between Alternatives A and B for this work. The conditions for excavation of a spillway on the left bank at Miel - 2 dam site required clarification. And the adequacy of the site selected for the powerhouse, underground, was to be resolved. Also, geologists had discovered fault offsets in Tertiary tuffs in the reservoir area and raised the question of earthquake hazards for the project. During this brief trip, we inspected cuts for a new road along alternative B of Guarino Diversion, which had not been accessible previously, and we examined drill core from boreholes along the tunnel line, the dam site, and the Guarino Tunnel line (Alternative A). I also collected samples for testing, which I carried back to Berkeley in my luggage. This report discusses first the general project geology, as revealed by the detailed geological exploration; then there is a discussion of previous experiences with tunnelling in schists. Finally, the specific questions relating to layout and design are addressed. The results of laboratory testing will be presented as part of the section on project geology.

Figure 1 shows the group which visited the Miel Project at this time. It was remarkably clear weather, which contributed to effective use of the limited time in the field (Figure 2)



Figure 1



Figure 2

Nevado del Ruiz

Project Geology and properties of the rocks

EXPLORATION

Field mapping, logging of outcrops and exposures, and subsurface exploration have provided a good picture of the range of rock types and a fair understanding of the detailed structure and site geology features for the project. The bedrock contains four types of rocks: green schist, rich in chlorite, and without mica; grey schist, with quartz and calcite and often with graphite forming a strong schistosity; granitic intrusions, consisting of dikes and small plutons; and overlying tuffs and tuffaceous sediments (Tertiary). The grey and green schist alternate, sometimes over a "wavelength" of less than a meter, but usually considerably larger. The drill holes convey a clear picture of the variations from one type to another, as the color and fracturing differences between these two classes of rocks are so clear and vividly represented in the core samples that the logging can be relied upon to be accurate and complete. The quality of drilling, with virtually 100% recovery, and the efficiency of the storage and record keeping are admirable and combine to give a sure basis for drawing conclusions about the geological conditions.

There is no doubt that the grey schist is an inferior unit as compared with the green schist. The schistosity surfaces in the grey schist are formed by oriented graphite crystals, imparting low friction. The RQD is lower not only because the schistosity is more regularly opened by jointing, but because crossing joints are more frequent. Further, field exposures demonstrate that the clay gouge developed on shear zones in the grey schist are composed of graphitic clay, which demonstrates plasticity

and low shearing strength at the natural water content. Equivalent gouge zones in the green schist either do not exist, or were not seen.

Figure 3a shows an inclined drill hole being drilled (MT1) along the line of the power tunnel. The core retrieved at a depth of 190 m. is shown in Figure 3b.



Figure 3a

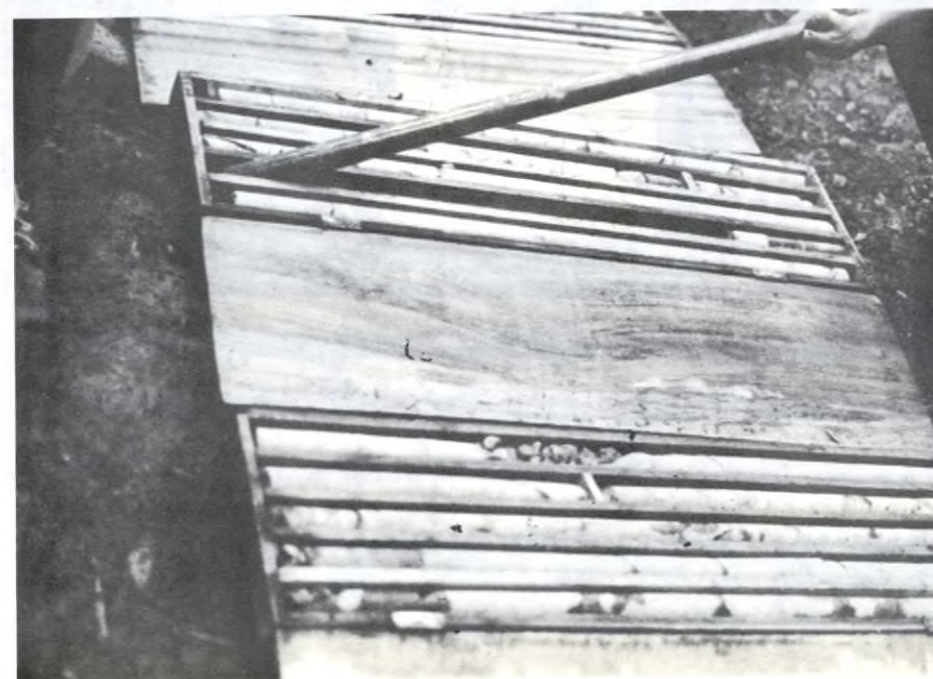


Figure 3b

The drill hole MT1 penetrated alternations of grey and green schist. Especially in the latter, there were many lengths of drilling where core had to be broken intentionally to fit it into the core box (as in Figure 3b). The conditions for excavation of an underground powerhouse should be such that the rock is essentially self-supporting, because it is not feasible to provide artificial support for rooms with spans of the size necessary to accommodate power turbines. Apparently, the rock mass contains large volumes of rock of the requisite quality.

Drill hole MT2 penetrated green schist almost exclusively. Figure 4a shows NX core from this hole. MT3 passes through both green schist and grey schist, with some zones of highly fractured grey schist. Figure 4b shows grey schist from this hole, with closely spaced joints parallel to schistosity and a few joints in other orientations. Grey schist and green schist are contrasted in Figure 4c, where both were penetrated in the same core run.



Figure 4a

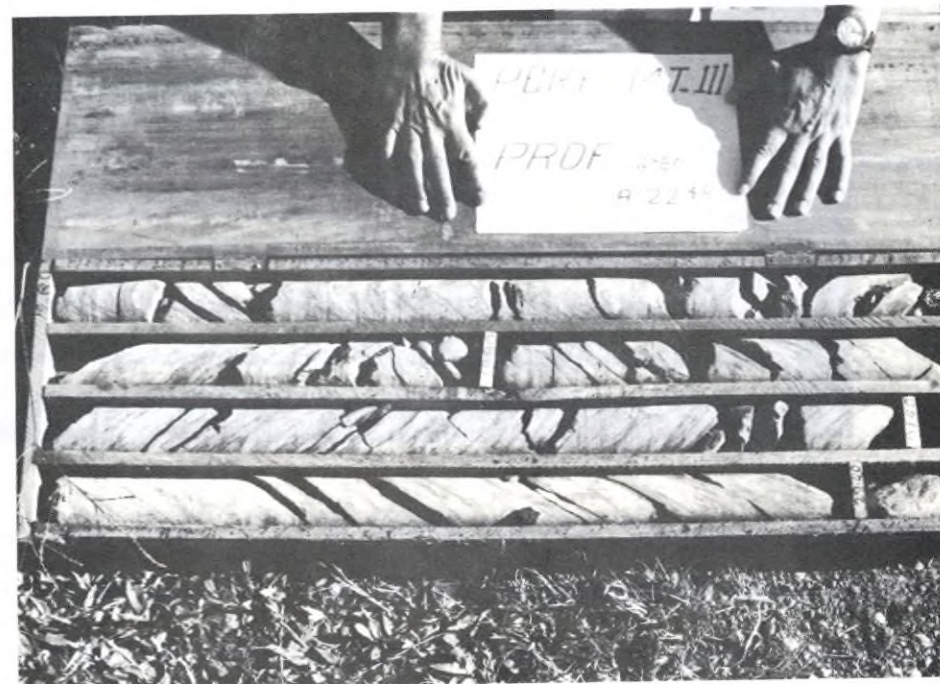


Figure 4b



Figure 4c

Drill hole MT⁴ is all in diorite of a small pluton. This is almost perfect rock, with little or no sign of any alteration, few fractures, and uniform lithology. (Figure 4d)



Figure 4d

Drill hole MS1 is sited at the proposed spillway cut on the left abutment. The rock is generally very good (Figure 5a) with a regular alternation of grey and green schist (the latter shown in Figure 5a). Joints are more frequent in the core than in the MT drill holes. They are occasionally regularly spaced 30 to 50 cm apart. These joints are rough and are partly healed with pyrite and calcite. (They belong to set J1 discussed later in regard to the design of the spillway excavation.) Strongly refolded grey schist is shown in Figure 5b. Refolding, expressed by folding of the schistosity, is often demonstrated in the grey schist.

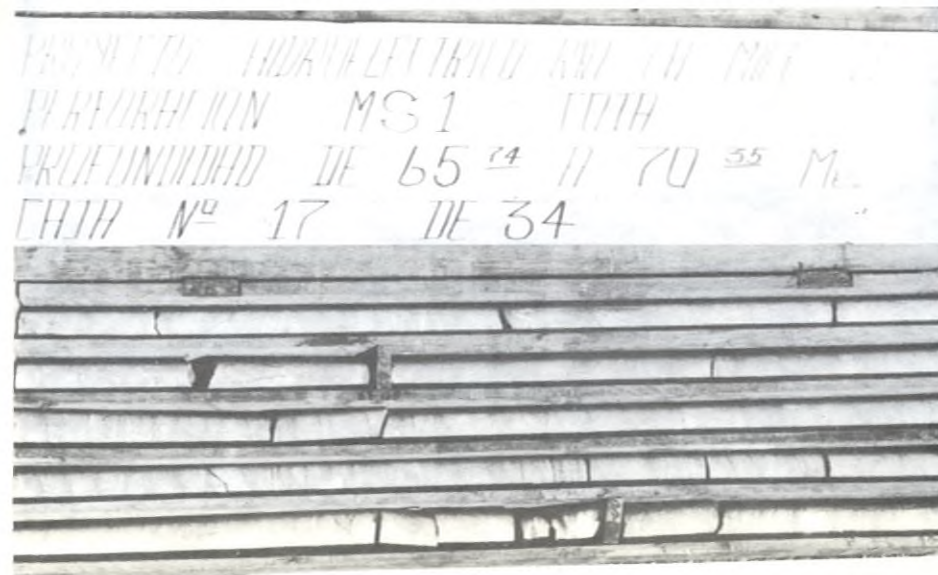


Figure 5a

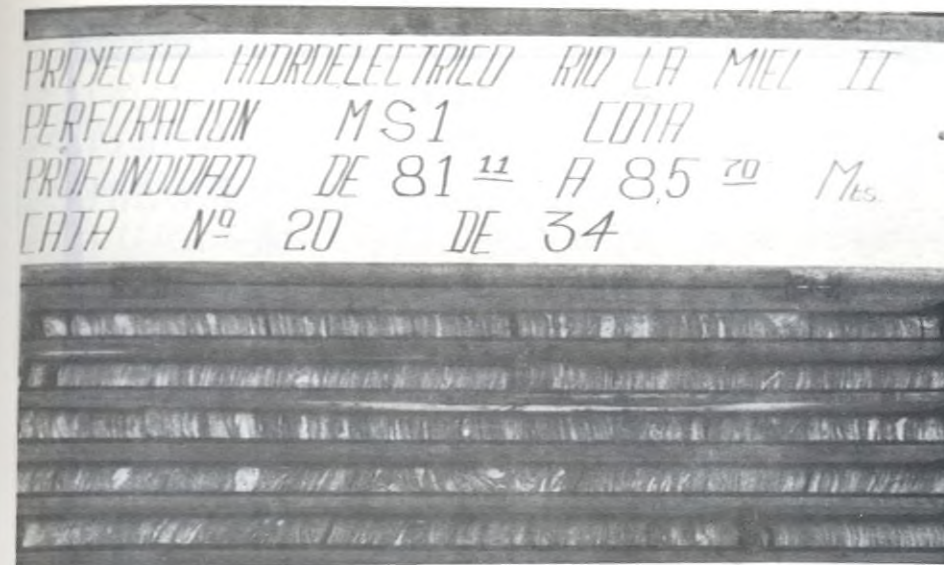


Figure 5b

There is some possibility that a fault underlies the river at the dam site. as evidenced by a brecciated, crushed, and calcite-seam-rich zone in the core of MS3 at depth 31.5 to 35. m. (Figure 5c). MS6 may not have gone deeply enough to cross this zone; it shows a crushed zone at the very bottom (depth range 38.4 to 40. m.). Good quality grey schist was found under the right abutment in drill hole MS4. Typical refolded grey schist from this borehole is shown in Figure 5d.



Figure 5c



Figure 5d

Similar results were encountered in exploration along the line of Alternative A for the Guarino Diversion Tunnel. One of the two holes penetrated green schist of superior quality - - hole G11. Figure 6a shows core from this hole with green schist displaying regularly spaced joints parallel to schistosity but healed with calcite. A refolded grey schist zone is also shown in this picture.



Figure 6a

Only two holes were drilled along the Guarino line and one of these passed through a serious fault zone from depth 55. to 75. m. (GT 2). As shown in Figure 6b, the rock encountered in the core barrel was closely fractured, in places crushed, and separated along schistosity. This rock is grey schist and gave birth to sandy, graphitic clay gouge. Gouge zones of this quality, but hopefully not of comparable thickness, are expectable in schists. As observed in the Washington and New York tunnel experiences (discussed later) foliation shear zones, i.e. shear zones parallel to the schistosity, are frequent and significant in schists. In general, it seems that the quality of the grey schist along the line of the Guarino tunnel is not as good as that penetrated in the MT and MS drill holes. However, the rock is not uniformly bad.

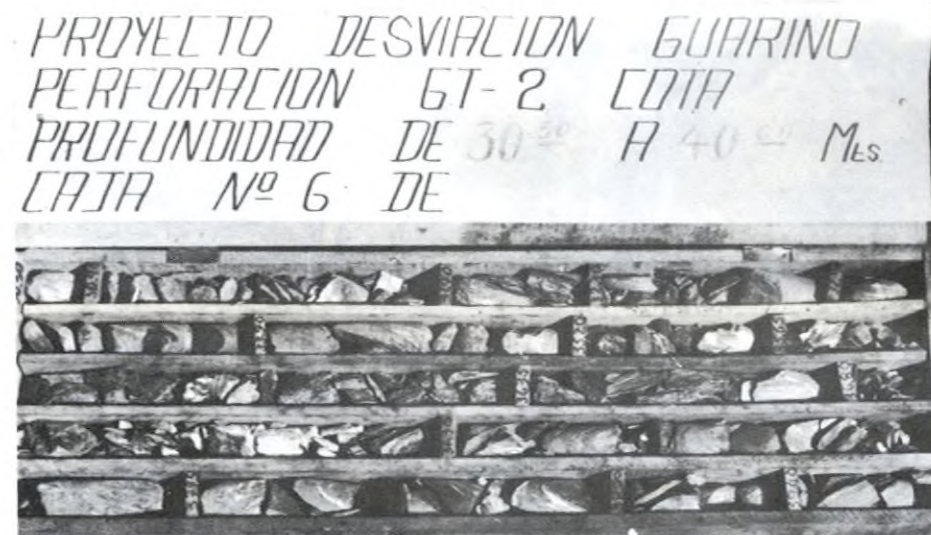


Figure 6b

Figure 7a shows an outcrop of graphitic grey schist, highly deformed, along the zone believed to represent the trace of the Palestina Fault. Discontinuous folded quartz stringers are preserved hinges of folds. A graphitic clay gouge from this

location was tested at Berkeley for Atterberg Limits. Unfortunately the laboratory preparation required removal of quartz particles from the gouge and this may have upset the natural structure. The results show a relatively low plasticity while the sample appeared to be highly plastic when handled at its field moisture content. Table 1 gives the results of the Atterberg Limit testing. This material does not appear to be expansive. Figure 7b shows a seam of graphitic clay along a foliation shear in grey schist on the new road that runs along Alternative B of Guarino Tunnel.



Figure 7a



Figure 7b

Table 1

Atterberg Limits Tests on a
Sample of Graphitic Clay Gouge
(near Rio Pennsylvania and
Rio Tenerife confluence)

A dark, plastic clay sample with fragments of crushed quartz. The sample was air-dried at 20° C and 50% room humidity; then ground to the no. 40 sieve size using a rubber tipped pestle and mortar. The chunks were then ground using a metal roller on a metal tray.

The results of the Atterberg limits test were:

Liquid Limit: 31.6%

Plastic Limit = 18%

Plasticity Index = 13.6%

Northwest of Miel 2 damsite, along the road from Samana to El Silencio, a thick blanket of Tertiary tuff is offset in a number of places by normal faults. Figures 8a, 8b, and 8c show three occurrences. Slickensides in the tuff, and displacement of soil horizons describe the orientation of the movement and the recency of the faulting. It was not absolutely certain to me that these features could not be described by cracking associated with landslide movements. However this appeared to be an unlikely explanation. Unless proved to the contrary, it must be assumed that the region is one of active seismicity and active faulting.



Figure 8a

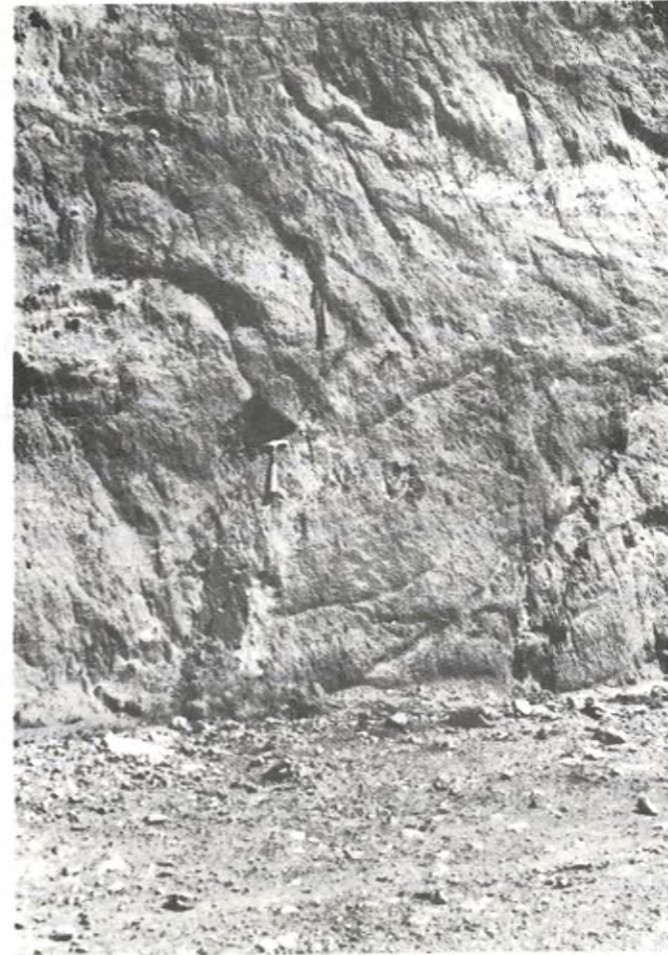


Figure 8b



Figure 8c

In the above figures, the hammer points indicate the surface of slip. Slickensides are shown in Figure 8c.

PHYSICAL PROPERTIES OF SCHISTS

Samples were taken to permit laboratory testing of the schist. As shown later, there is little precedent for large engineering works in chloritic and graphitic schists. Strength tests of the rock and its discontinuities, and determinations of the elastic modulus values for these rocks will permit comparisons to be made with projects in other types of rocks which display similar values of strength. Also, the effect of water on the properties was unknown. Samples were taken as listed below:

Table 2 Samples Obtained for Tests

<u>rock type</u>	<u>drill hole</u>	<u>depth</u>	<u>description of core and purpose</u>
graphite schist	MT 1	20.5 m.	highly polished graphitic surfaces along schistosity, oriented 60 degrees with core axis. For direct shear testing on the schistosity
green schist	MT 2	31.3 m.	intact core, with schistosity perpendicular to the axis of the core. Contains two parallel calcite-healed joints at 20 degrees with core axis.
graphite schist	MT 3	22.0 m.	core contains an open, rough joint developed along schistosity and parallel traces along schistosity all at 42 degrees with the core axis. Intended for triaxial compression testing.

The core from MT 2, a green schist, was cut into a length equal to twice the diameter (2.150 inches) and prepared with a grinder to achieve parallel, smooth ends. It was then saturated by immersion in a jar under vacuum for one day and tested in a screw-powered testing machine. The modulus of deformation, that is the slope of the stress strain curve on first loading, was 3,377,000. psi (23, 300. MPa). The rock failed at a compressive stress of 12,800 psi (88.3 MPa).

Another piece of core was subjected to a Brazillian test (Splitting

tension test) by loading it across a diametral plane in the same compression testing machine. It split neatly into two pieces at a compressive force of 8,260 pounds. The length was 1.935 inches, and diameter 2.150 inches. This gives a splitting tension strength of 1,265 psi (8.7 MPa).

The tensile specimen was so oriented that one of the calcite-healed seams was oriented in the direction of maximum tensile stress. It did not seem to influence the failure, however. But in the case of the compression specimen, an inclined seam furnished the locus of at least part of the failure surface. Had this seam not intercepted the end caps of the specimen, the compressive strength would no doubt have been somewhat lower.

The core from MT 3, with an open joint parallel to schistosity, was trimmed in a diamond saw and polished to have smooth, parallel ends. For this purpose, the open joint was held tightly closed with tape. The tape was then removed and the specimen was jacketed with bicycle inner tubing and placed under an all round pressure of 500 psi. The axial load was then increased until peak load was experienced, interpreted as sliding on the initially open joint. To prevent destruction of the specimen, the pressure was then raised to 1000 psi, and the axial load increased further, producing a second peak. This pattern was repeated with confining pressures of 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, and 5000 psi. The Mohr circles corresponding to each stage of this "multistage" triaxial test is shown on Figure 9. Since the joint controlling sliding has a known orientation, one point can be established on each circle through which the criterion of failure can be drawn. Upon opening the chamber and removing the jacket, it was discovered that the initially open joint had not slid at all

but rather another, parallel joint had opened and controlled all the movements. Slickensides and wear points on this initially closed joint, parallel to schistosity, proved that it was the one involved in shearing. The reason why the initially open joint did not slide was connected with the existence of one small step on the surface which created a hurdle for shear necessitating some breakage through the rock. It proved easier for the rock to fail by developing a new joint parallel to schistosity than to overcome the interlock along an existing joint... The known orientation of the controlling feature is entered into Figure 9 graphically by constructing a line inclined 42 degrees with vertical from the left side of each Mohr's circle. The piercing points of these inclined lines on their respective Mohr's circles define points along the shear strength locus for sliding on schistosity. This locus is well fit by a straight line at 17 degrees and an intercept of 850 psi. The latter should be discounted as it is most probably highly scale dependent. The figure "17 degrees" can be accepted as the friction angle for the schistosity. (This is similar to the values obtained by simple tilting tests conducted at the core shed on a number of smooth joints in graphite schist).

The slopes of the initial loading curves from the multi-stage triaxial test provide values for the modulus of deformation of the graphite schist. Because of the open joint, it can be expected that this value will be considerably lower than for the intact specimen of green schist and, furthermore, that with higher pressures, and resulting joint closure, the modulus of deformation would increase and approach that of the green schist. This was observed as indicated by the values of modulus of deformation

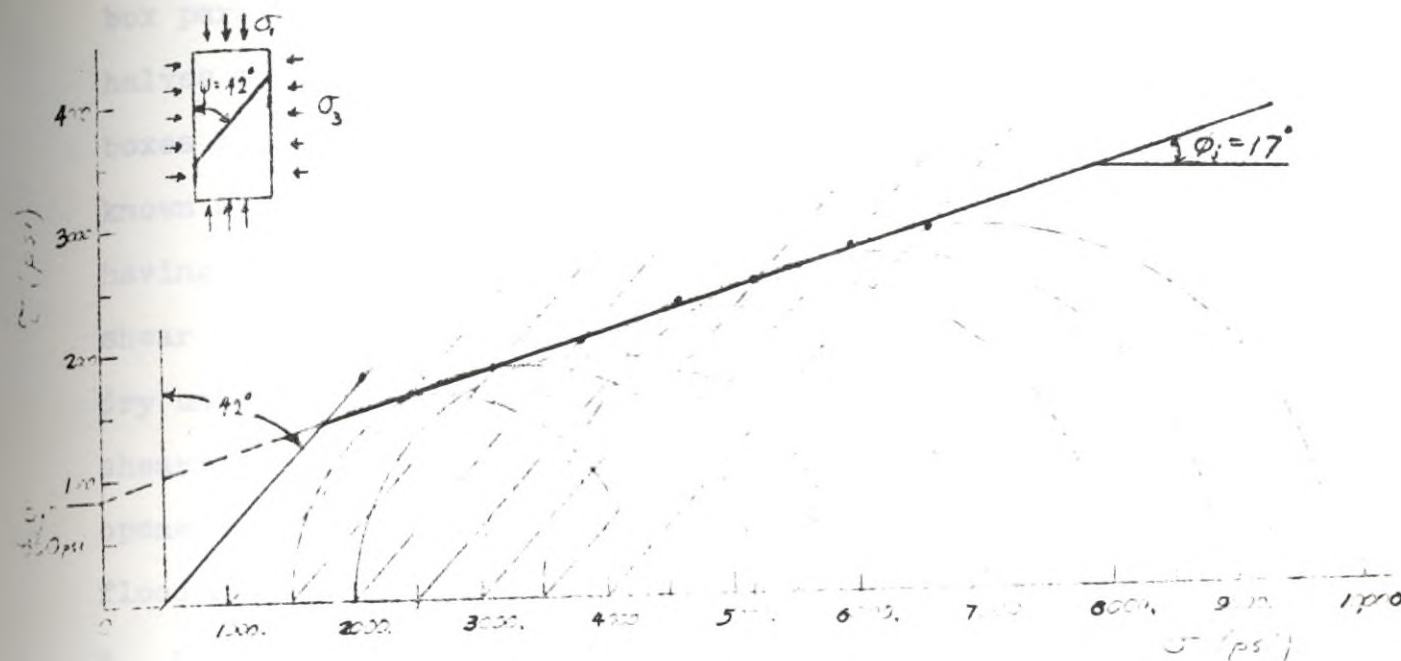


Figure 9 Mohr circles and shear strength locus for a multistage test on a jointed grey schist specimen. The first stage circle developed the joint and therefore is not part of the locus for sliding on the joint.

as follows: 1,800,000 psi for confining pressure of 500 psi; 2,153,000 psi for a confining pressure of 1,000. psi; 2,226,000 psi for confining pressure of 1,500. psi; and 2,819,000 psi for a confining pressure of 2,000 psi. (The green schist specimen had a modulus of deformation in unconfined compression of 3,377,000. psi)

Because of the difficulties in specimen preparation and seating with an open joint at 42 degrees inside the triaxial cell, a direct shear test was also conducted as a check. This also provided a measurement of the effect of water on friction.

The direct shear test was prepared by sawing the specimen of core from MT 1 to develop a flat joint oriented in the shear box parallel to the direction of shear load. The upper and lower halves of the specimen were fixed inside upper and lower shear boxes by means of sulfur (concrete cylinder capping compound known as "cylcap" - - a mixture of sulfur and ground fire clay, having a compressive strength of 8,000. psi.) Three direct shear tests were done on this specimen. First, it was sheared dry under a normal pressure of 950. psi. This yielded a shear strength of 360 psi. Subsequently, the shear box was opened and the specimen was resealed; then the shear box was flooded with tap water and the test was recommenced, first at a normal pressure of 950 psi and finally with a normal pressure of 1950 psi. The shear stress peaks from the two test stages with water on the shear plane yielded shear strengths of 310 psi and 535 psi. Analysis of these data yield the following values for the angle of sliding friction: dry - - 16 degrees; wet - - 12 degrees. Not too much can be made of values with so few data points, except to conclude that the order of magnitude obtained in the triaxial test is reasonable and to note the moderate to small effect of wetting. No tests were conducted with graphitic clay gouge on the shear surfaces or as a thick filling between the shear surfaces. This could be done.

The results from all tests are summarized in Table 3.

Table 3 Results of Tests

	<u>grey schist</u>	<u>green schist</u>
E (psi)	1,800,000	3,377,000.
q_u (psi)	estimate 7,000.	12,800.
phi - - dry	16 - 17 degrees	not tested
phi - - wet	12 degrees	not tested

Tunnelling in Schists

There has been vast experience tunnelling in schists. But a review of the literature shows that this has been almost entirely in mica schist. The experience with underground caverns in schist is less well documented but there have been a number; again, little or no experience record is known to me or my associates (Brekke, Korbin and our students) in graphite schists. The following is a summary of some pertinent case histories dealing with underground construction in schist.

BELLADONNE TUNNEL, Arc Isere, France

Purpose: water conveyance

Dimensions: 5.9 m. diam; max. depth 2000 m.

Geology: predominantly medium strength mica schist; relatively massive except for local shear zones, 10 - 50 m. thick, which are composed of shattered rock with little or no cohesion. Minor water.

Reference: Personal communication from G. Korbin who visited with Chambery of Electricite de France.

General experience: Tunnel boring machine (TBM) full face; good progress in massive schist (16.3 m./day); very poor progress in shear zones (0.85 m./day). the machine head was blocked in a major shear.

Type of support: largely unsupported during driving, except for steel sets with forepoles in crossing shear zones. Fully lined (concrete)

ARLBERG TUNNEL, Austria

Purpose: road transport

Dimensions: 90 - 103 meters sq. area horseshoe; max. depth 800 m.

Geology: mica schist with zones of mylonite; friction angle (ϕ) = 15 - 20 degrees dry, 11 - 12 degrees wet. Cohesion 5 - 10 Kg/cm². Relatively massive aside from zones of weak mylonite. Minor water inflow. Tunnel axis parallel to strike of schistosity.

Reference: M. John (1977) in Field Meas. in Rock Mech Zurich, p. 639 and same author in Rock Mech Supplement 5, 1976, p. 157.

General experience: Full faced drill and blast to top heading and bench tunnelling in difficult sections. Medium to large ground squeeze, up to 0.7 m. closure; effectively controlled using the New Austrian Tunnelling Method (NATM); the maximum strains were in the directions normal to schistosity, resulting in asymmetric closure. Average progress was 200 m./month.

Support: during construction used untensioned rock bolts, wire mesh, and shotcrete (NATM); light weight, yieldable steel sets were used in sections with high squeeze. The final support was with an unreinforced concrete liner.

BERGVATTNET HYDRO-SCHEME, Sweden

Purpose: tailrace tunnel

Dimensions: 6.5 m. span; 4.5 m. high; depth below ground of 50 m.

Geology: apparently this tunnel passed through a 15 m. length of sheared schist which included graphite coated joint surfaces. RQD was 10% the geological details are not clear. One joint set was spaced 5 to 30 cm.

Reference: mentioned by Cecil, O.S. (1970) in his Illinois Phd Thesis

General experience: drill and blast; wedge-shaped roof fall.

Support: Rock bolts, wire mesh, and two applications of shotcrete

FREJUS TUNNEL, French Italian border

Purpose: road transport

Dimensions: span 10 m., height 8 m. (horeshoe); 1700 m. max. depth

Geology: predominantly medium strength mica schist; largely massive, dry.

Reference: G. Korbin, personal communication (site visit)

General: Full face drill and blast; medium squeezing problems with 20 - 30 cm. closure/ The initial support system (steel sets and shotcrete) failed due to high stiffness. Bolts and mesh were successful.

Support: Rock bolts and wire mesh during construction; concrete liner

KUROOSFOSSEN II, Norway

Purpose: powerhouse

Span: 8.4 m.; height 12.2 m.

Geology: micaceous slate with nearly horizontal bedding

Reference: Norske Kraftverken (1954) p. 73

General experience: Drill and blast, with smooth wall blasting; little difficulty in excavating; shafts are unlined except at entrance to machine hall.

Support: roof supported with a concrete arch 30 cm. thick; the walls are unlined.

LA BATHIE, France

Purpose: powerhouse

Span, 24.6 m.; height 33.8 m.; length 124 m.; located at base of valley side.

Geology: grey mica schist containing quartz augen; massive aside from one minor shear; the chamber axis is perpendicular to the strike of the schistosity; largely dry.

Reference: Leeds, Hill, and Jewett, personal communication

General experience: top heading and bench excavation; an obliquely striking shear did not appear to influence the excavation greatly.

Support: a concrete barrel-arch cast against the rock in the roof (33 cm. thick at the crown); walls supported by concrete columns, rock bolts, and gunite.

UNDERGROUND OPENINGS IN WASHINGTON D.C. AND NEW YORK - General experien

Purposes: rail transport and hydro.

Dimensions: width 3 to 21 m; depth of cover 24 to 244 m.

Geology: primarily mica-quartz schist, or mica-feldspar quartz schist 3 to 4 joints sets well-developed, generally planar (waviness of 2 to 10 degrees) and sometimes filled with up to 1/4 inch of clay. \emptyset residual of clay filling is 22 to 35 degrees. Some joints are healed with calcite or quartz. Foliation shear zones are 0.5 to 1.5 m. thick and occur in swarms spaced over 3 to 15 meters. Foliation shears are accompanied by a more widely spaced conjugate set. Gouge from schistosity shear zones ("foliation shears") have $\emptyset = 8 - 13$ degrees. Shears are most troublesome when the foliation is planar. Gouge material is often dry.

Reference: Cording and Mahar (1974) R.E.T.C. Proc., Vol 1, p. 107

General experience: Drill and blast and full faced TBM. Discontinuities and, in particular, shears striking within 25 degrees of the axis of the tunnel cause the most difficulties as they form long wedges. Deep wedges formed in the crown are often delimited by steeply dipping shears striking subparallel to the schistosity together with a conjugate shear.

Support: steel sets and lagging, with spacing and weight depending on ground conditions, have been most used support in the past. Usually concrete lined for permanent support

VERBANO, Switzerland

Purpose: powerhouse

Dimensions: span, 20 m.; height 24.7 m., length 81.7 m.

Geology: mica-schist; schistosity nearly perpendicular to the length of the opening; Dip 45 degrees. A set of shear zones strike perpendicular to the schistosity with spacing of the order of 20 meters.

Reference: a series of publications of Maggia Kraft Work, A.G. appearing in the library of Leeds, Hill, and Jewett, S.F.

General experience: drill and blast methods; the intersection of transverse shears with the schistosity resulted in a large rock fall at one end of the station.

Support: unreinforced concrete arch, 75 cm. thick; walls supported by concrete columns, anchored to the walls; these columns support the arch

DUPONT CIRCLE STATION, Washington, D.C.

Purpose: rapid transit station

Dimensions: 18 m. span; 12 m. height; 11 m. cover with only 9 m. of rock

Geology: schist, RQD greater than 70%. Shear zones with width of 0.5 to 2. meters. Other planar continuous joints, often slicken-sided, caused the rock to be very blocky and seamy. Joints strike parallel to the axis of the tunnel and dip 70 degrees.

Reference: Cording et al (197.) in Field Measurements in Rock Mech pp. 485 - 508 (Balkema, Amsterdam)

General experience: a pilot tunnel was followed by a 5 stage drill and blast excavation. Tendency for large blocks to loosen and slide or separate. Some fallout of wedges occurred before bolts could be installed.

Supports: rock bolts during construction; steel ribs and shotcrete for permanent support

SAN FIORANO, Italy

Purpose: powerhouse

Dimensions: 20 m. span, 65 m. high, 210 m. deep.

Geology: quartzite, feldspar, phyllites with abundant mica and chlorite. Schistose. q_u 83. MPa parallel to schistosity and 44. MPa perpendicular to schistosity. RQD 97%

Reference: Martinetti (197.) in Field Measurements in Rock Mech p. 508. (Balkema, Amsterdam)

General experience: 3 stage drill and blast excavation. roof deflection was 5 cm; wall deflection was 3.5 cm max.

Support: Tie rods and cables, with support pressure of 5.5 psi average over the walls. The opening was so high that reinforced concrete braces were used at mid-height across the opening; a concrete arch used in the ceiling.

MICA PROJECT, British Columbia

Purpose: powerhouse

Dimensions: span, 18.2 m., height 45.7 m.

Geology: mica schist in the walls and granitic gneiss in the crown. schistosity strikes 45 degrees to the axis, dipping 45 degrees. Unconfined compressive strength 70 MPa max parallel to schistosity and 1.4 MPa in oblique orientation.

Reference: Meidal and Dodds, in Underground Rock Chambers (ASCE) (1971) p. 203

General experience:

Support:

LAKE MEAD, Nevada

Purpose: underground pumping station

Dimensions: 6.7 m. span; 13.8 m. high; length 37 m., depth 67 m.

Geology: Hard quartz, biotite schist, chlorite biotite schist, and granite gneiss. Scattered irregular fractures weakly developed; schistosity and numerous joints. Schistosity parallel to chamber axis, dipping 65 degrees. Most joints and fractures had been healed by miner.

Reference: Dising and Erickson, in Underground Rock Chambers, 1971, (ASCE) p 381

General experience: excavated by drill and blast; no problems reported

Support: rock bolts and 4 inches of shotcrete applied 2 meters from heading.

MORROW POINT, Colorado

Purpose: powerhouse

Dimensions: span 17.3 m., height 30 - 42 m., depth 120 m.

Geology: micaceous quartzite and mica-schist. $q_u = 43 - 115$ MPa. Two shear zones intersect chamber; bedding strikes perpendicular to chamber axis and dips 15 - 60 degrees.

Reference: Brown et al (1971) J. Soil Mech and F. D., ASCE V 97, SMI, p. 119

General experience: large rock wall movement occurred due to slide of a block on a shear zone and delimited by other fractures. The block was not entirely free to move into the opening as it included some of the rock beyond the chamber. Had the opening been longer, it might have failed completely. Early detection by monitoring permitted effective remedial action using anchors, rock bolts, and drainage tunnels

Supports: rock bolts

MANHATTAN SEWER TUNNEL (New York)

Purpose: sewer

Dimensions: diameter 3.4 m., length 2.7 km; diam. 2.6 m. for 3.4 km.
Depth 9 to 55 m.

Manhattan schist, blocky and seamy in some sections, crossed by quartzitic seams.

Reference:

McCusker and Dielt (1974) RETC Proc., p 265

General experience: excavated by full face TBM with good results; average progress 4.5 feet per day. There is a section of the tunnel just 2 m. beneath a subway station.

In the light of this experience, the Miel project tunnels do not seem to present insuperable obstacles, even the Guarino tunnel. Frequent seams and occasional rock wedges can be expected but they have been handled successfully in other projects. The very low friction angle measured for surfaces in the graphite schist does not appear to be unprecedented. Heavy pressure and squeeze in the points of a tunnel that define radii perpendicular to the schistosity have been noted in several examples. This was also pointed out in my report of August 10, 1978.

One point that should be appreciated when comparing the geological conditions of the Miel Project with published cases in mica schist is the following. The Manhattan schist and other typical mica schists contain smooth schistosity planes with occasional kinks or crenulations. Because of these departures from planarity, the possibility of large wedges moving into an excavation is reduced. However, small wedges, bounded by very smooth surfaces, can and do apply load to supports and occasionally cause rock falls. There have been accidents due to the fall out of these wedges. The only case history involving the movement of an enormous wedge in schist is the Morrow Point Powerhouse. In contrast, the schists of the Miel project have been refolded, so that planar surfaces do not have continuity. Not all the schists are refolded, and there is every reason to expect movement of small wedges as in the Washington Metro case history. However, folds, kinks, and faults interrupt the continuity of the schistosity planes, thereby contributing a strengthening effect to the rock mass. As long as the rock is retained in the roof of a tunnel without loosening, the interlocks will continue to function and there should be reasonable tunneling conditions. If, through careless, late, or inattentive support practices, the rock mass is allowed to loosen, the interlocks will be lost and the rock mass will squeeze severely. This must not be allowed to happen. In my view, the use of shotcrete, retained by unstressed rock bolts and mesh, with resin capsules to assure quick anchorage, will provide adequate support for the Guarino Diversion tunnel.

The greatest hazard to tunneling arises from the shear zones, which can be expected to parallel the foliation. When

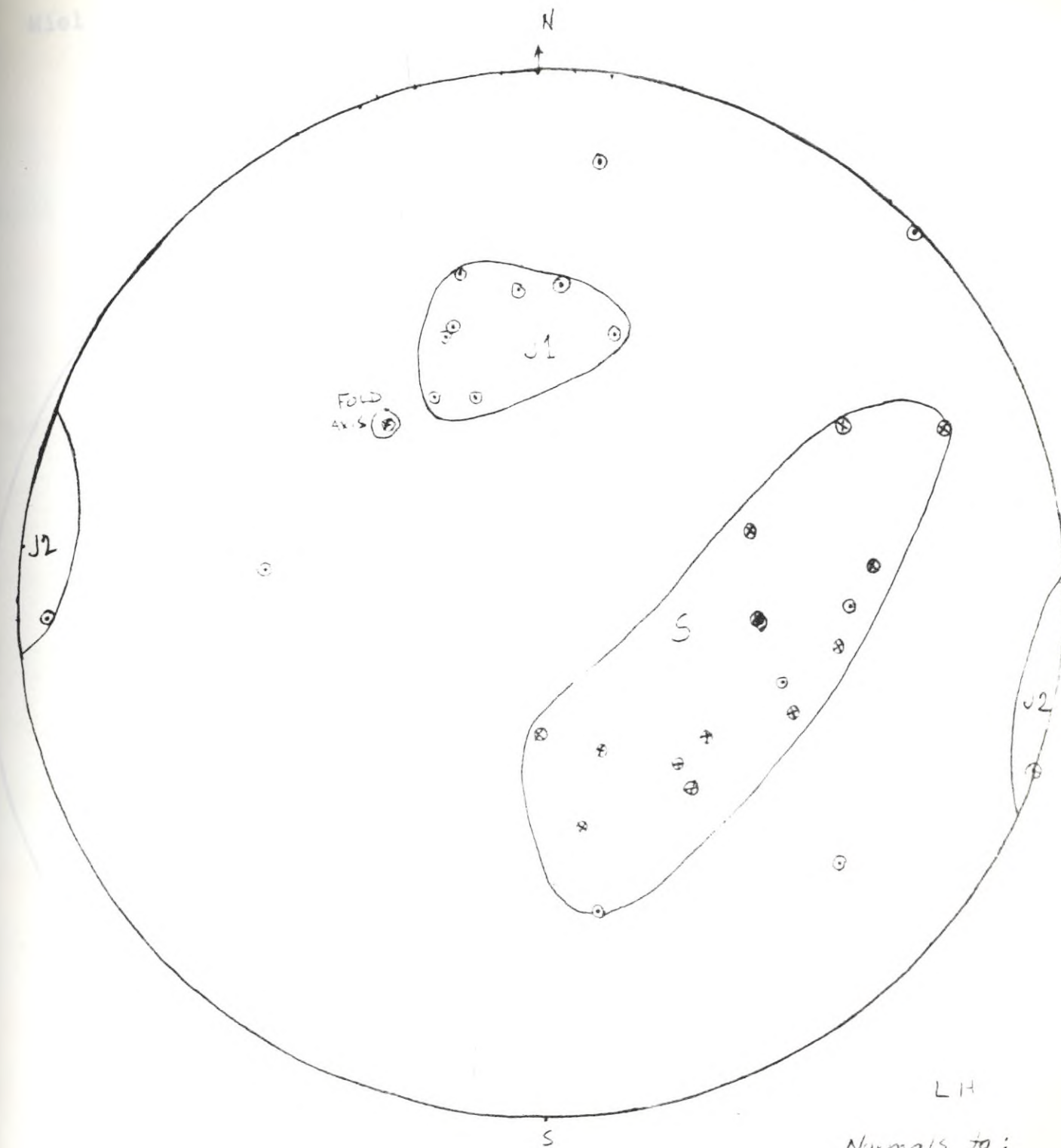
the tunnel driving direction makes a small angle with the planes of schistosity, a shear will lie close to the tunnel for a relatively long stretch (as compared to the case of a tunnel driven across the schistosity). The most favorable direction for tunneling is therefore oblique or perpendicular to the schistosity. Since the schistosity has been folded, as described later, it is particularly useful to establish the direction of the fold axis in the region of each tunnel. It would be best to avoid driving a tunnel parallel to the fold axis. In the vicinity of the spillway excavation, as shown later the axis of refolding plunges 42 degrees to the N. 42 West. If this were also true at the upstream part of the Guarino tunnel, the Alternative A would be preferred to Alternative B because the latter drives NW, S.E. in its first 6 km.

The Spillway Excavation at Miel 2 Damsite

The geological mapping in the vicinity of the dam site provided a number of measurements of strike and dip on schistosity and jointing. Those closest to the spillway site that were plotted on the geologic map showing field stations near the dam site, January 1979, were plotted on a lower hemisphere conformal stereographic projection Figure 10. There is no assurance that the sampling has been sufficiently complete and it will be necessary to update the observations and conclusions of this date as more data come in. Figure 10 shows that the joints are clustered into three sets: one which strikes roughly East West and dips 40 to 65 degrees to the south; a second, less populated set which strikes about N 10 E, and is close to vertical; and a third set developed

parallel to schistosity. The poles (normals) to schistosity planes are distributed along a great circle girdle. This is shown clearly by Figure 11, a replot of only the schistosity poles. The spread of values along the great circle covers 90 degrees, while the spread of values perpendicular to the great circle covers about 32 degrees. This type of pole distribution is typical of folded regions. The normal to the great circle is the axis of folding. As shown on Figure 11, the fold axis is found to plunge 42 degrees to the N 42 W (Azimuth = 318 degrees). This direction should be present in the rock mass as a preferred orientation of lineations. Since the fold axis represents the line of intersection of any two schistosity surfaces, it has the same significance in slope stability analysis as any line of intersection (see Methods of Geological Engineering). It can be anticipated that one direction of possible sliding of blocks will be along the direction of the fold axis, that is hinges of folds sliding along the troughs. Figure 12 is a plot of all dip vectors (\hat{D}), intersection vectors (\hat{I}) and normal vectors (\hat{n}) for the two joint sets and the schistosity. The direction of the strike of the spillway cuts has been plotted and two great circles have been drawn dipping 50 degrees. Most of the line elements fall within these great circles. This establishes the general security of a spillway excavation with overall cut slopes equal to 50 degrees with horizontal. Any flatter slope will daylight lines of intersection and dip vectors. If the cut is made with benches, there may be isolated loss of bench as wedges and slabs fall. However, there can be no large slope failure.

Miel

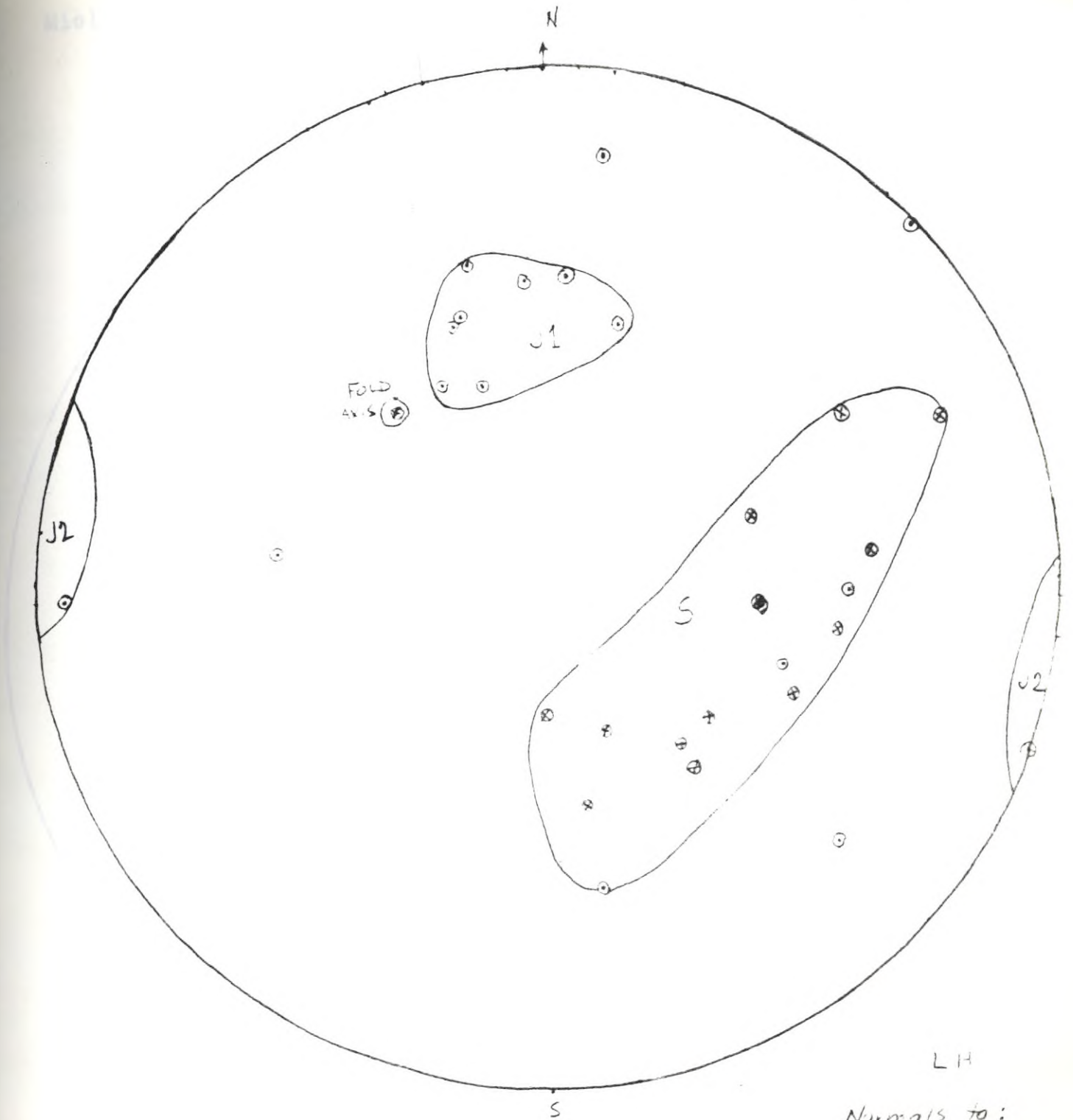


LH
 Normals to:
 ⊗ Schistosity
 ○ Joints

MIEL 2 SPILLWAY

Discontinuity
System

Figure 10

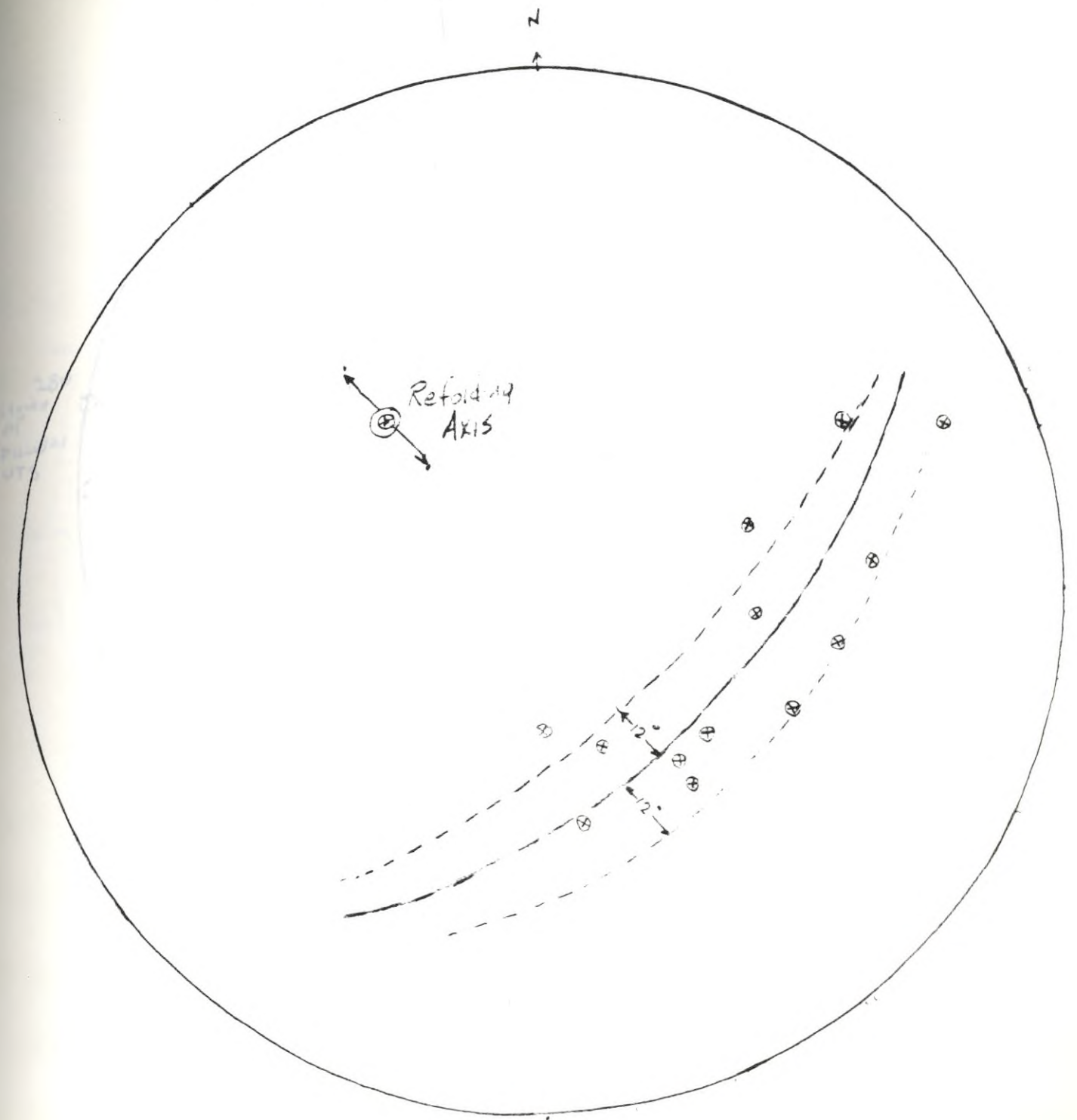


LH
 Normals to:
 ⊗ Schistosity
 ○ Joints

MIEL 2 SPILLWAY

Discontinuity System

Figure 10



MIEL 2 SPILLWAY

Normals to Schistosity

- L.H.
- ⊗ schistosity
- ⊗ Axis of Refolding
plunge 42° to 47°W

Figure 11

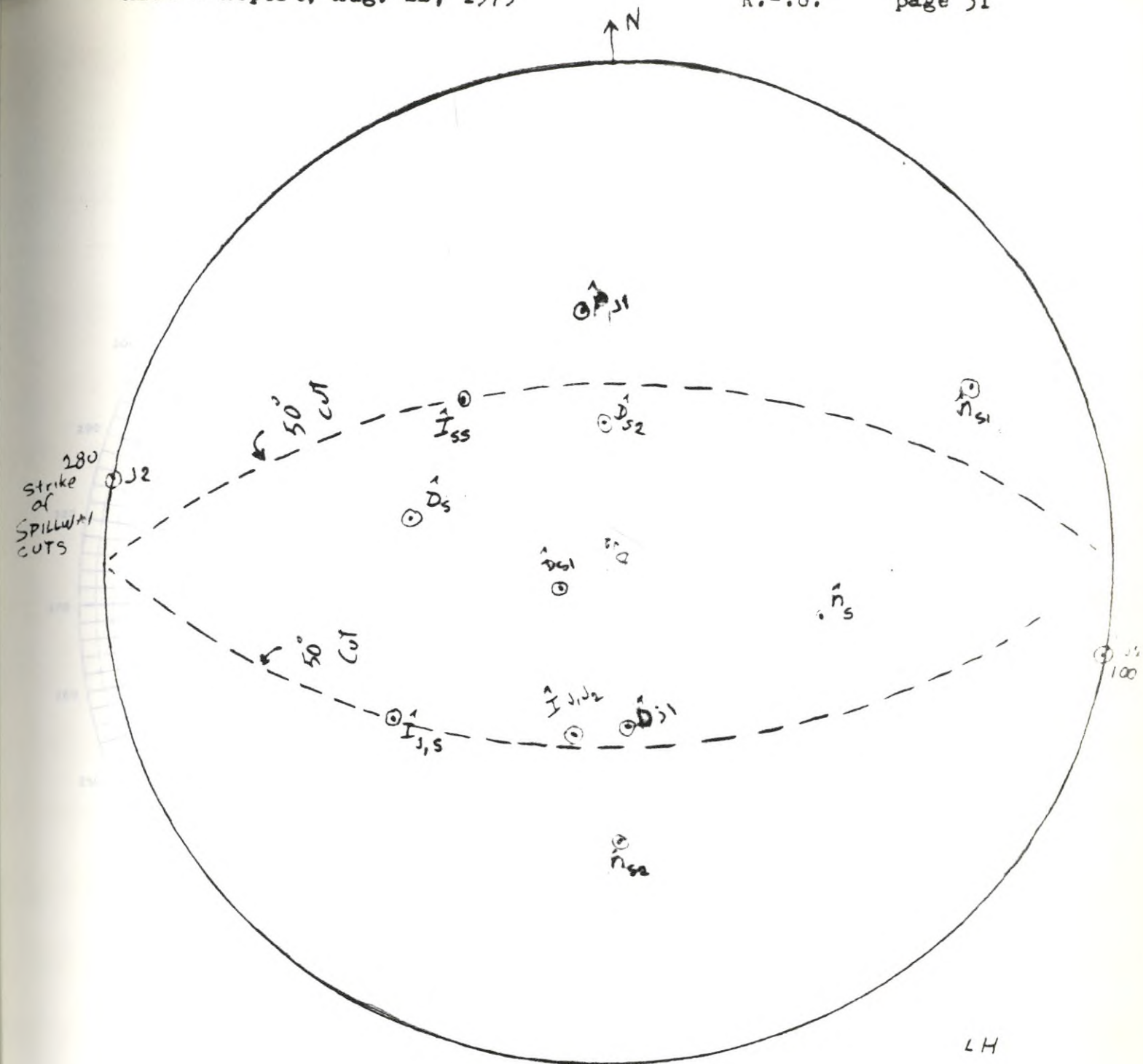
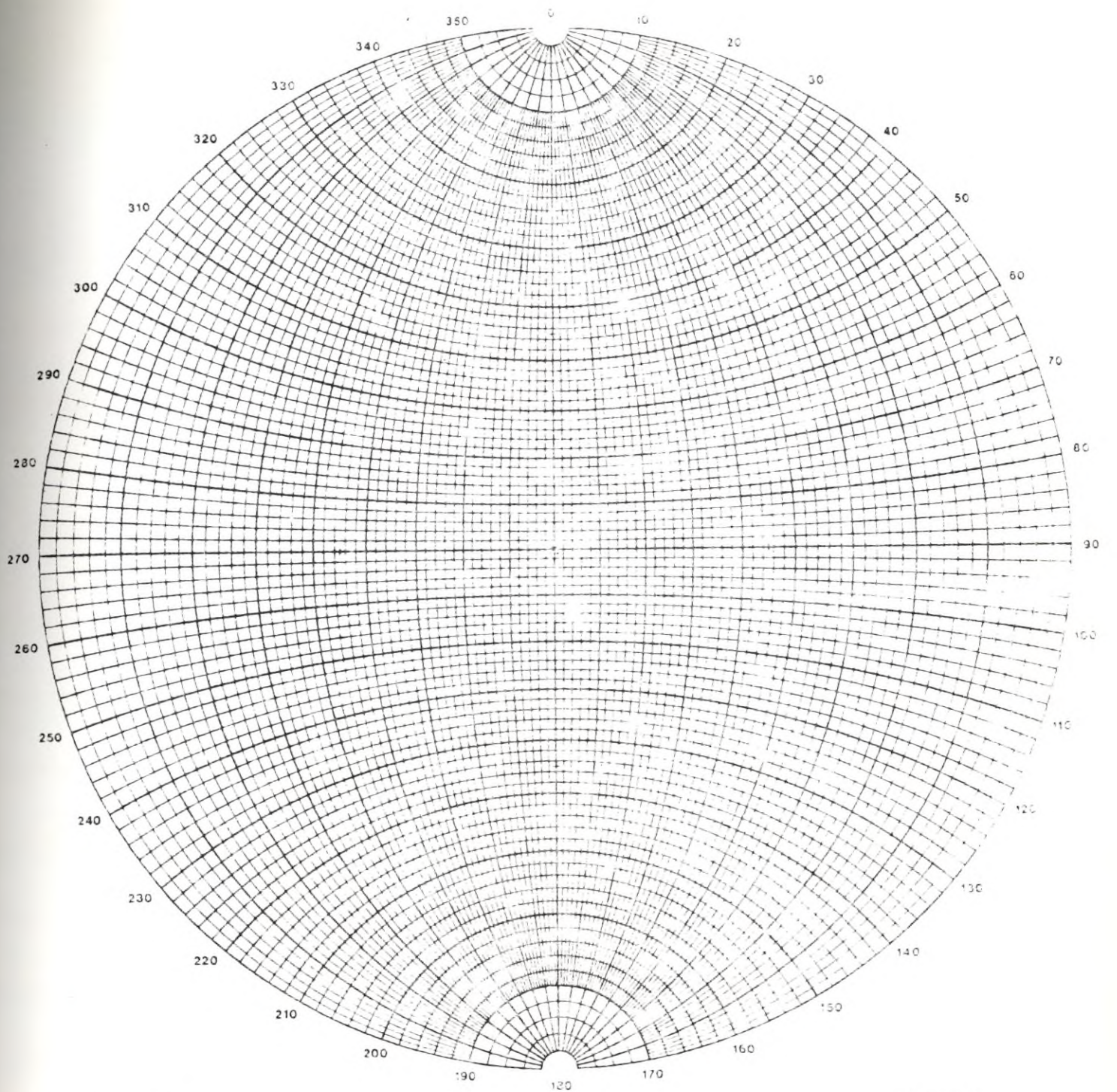


Figure 12

SPILLWAY CUT
Kinematic Analysis

\hat{D} = dip vector
 \hat{n} = normal vector
 I = Intersection vector

Subscripts
 S_1, S_2 extreme members of schistosity set
 J_1, J_2 joints schistosity orientation



Computed by Dr. Smith - Imperial College

Figure 3 - Station -

Table 4 Orientations of Discontinuities
 Measured on the Geologic Map of Miel 2 Dam site
 Showing Locations of Field Stations, Jan, 1979

The plunge and bearing angles given are for the normals to the measured planes.

<u>Schistosity:</u>		<u>Joints</u>	
<u>Plunge</u>	<u>Bearing</u>	<u>Plunge</u>	<u>Bearing</u>
23	61	3	268
25	85	28	4
40	142	42	332
45	96	34	276
55	159	15	132
61	180	38	110
34	115	27	170
30	100	29	92
45	141	44	340
45	72	45	97
45	130	29	356
10	68	0	46
42	170	33	342
		46	342
		10	8
		25	3
		0	110
		35	116
		25	346

The use of schist for rock fill

On August 10, I spent two hours with J. Barry Cooke, at his office, to discuss the use of concrete faced rock fill dams according to contemporary practise and, in particular, to discuss precedents for use of schist as embankment material. The only case history where a rock close to schist was used is the Kangaroo Creek dam, 60 meters high, built for the City of Adelaide, South Australia. It was finished in 1969. The rock tended to break up and become impermeable when rolled and the absorption of water was high. However, a construction procedure was developed which permitted the material to be used satisfactorily. The rock is not ^{really} schist, though it was called a sericite schist. I think we would use the term phyllite for such a material. But it would be constructed of micaceous minerals, oriented to provide a strong foliation. The embankment was built with 3 foot lifts, and compacted with a 10 ton vibratory roller. It was possible to use rocks as large as the layer thickness and to achieve satisfactory horizontal permeability by dumping new rock on top of the advancing lift, rather than on the surface of the previous lift. The bulldozer then pushes the rock pile off the edge of the 3 foot lift onto the surface of the previous lift. As the material falls, the large blocks drop to the bottom and the smaller particles fill in the spaces between them. Thus, the lift is stratified, with pervious, interlocked rocks on the bottom and small rock tightly compacted by the roller at the top. The layer density is 120 pounds per cubic foot in the lower part and 130 pounds per cubic foot in the upper part. Had a construction procedure been allowed which saw rock fill dumped onto the surface of the previous

lift, compaction would have been difficult, the permeability would have been impeded, and the surfaces of the lifts would have been uneven. This case history was written up in the Proc. of the Twelfth Congress on Large Dams, Q. 44, R 33, Vol 1, p 645. (Author R.J. Good). The maximum settlement was 125 mm. in the center, downstream, and 48 mm. on the abutments.

Table 5 is a list of rock fill dams with concrete face (supplied by Barry Cooke, and previously sent to Mr. Cajiao). There have been a number of dams over 150 meters high and now, I have been informed by Mr Cooke, the U.S. Bureau of Reclamation is contemplating using a concrete-faced rock fill for the Auburn Dam (200 meters high). The concrete face will be exposed on the upstream face in the upper 130 meters, and will be buried in the cofferdam in the lower 70 meters. The embankment is zoned so that it can almost exist as a dam without the concrete face. Areia, Brazil, is another very interesting case history. The owner is Copel, Curitiba Brazil, and the engineer is Milder-Kaiser. You should try to get a set of drawings for this structure. I have appended a draft on concrete face rock filled dams prepared for publication by ICOLD by Barry Cooke, 17 January, 1979. It notes the features of current design and, of great interest to the Miel Project, reports the earthquake resistance as high. The Cogoti Dam, Chile, 75 m high, "resisted the major 7 April 1943 earthquake with 1.4 foot settlement and no face cracks and no increase in leakage".

TABLE 5

**PARTIAL LIST OF ROCKFILL DAMS WITH CONCRETE FACING
(OVER 60 METERS HIGH)**

by J. Barry Cooke

Name	Height m	Location and Year Completed	Slopes		Rock Placing Method
			US	DS	
Dix River	84	Kentucky 1925	1.2	1.4	Dumped, Sluiced
Salt Springs	100	California 1931	1.4	1.4	Dumped, Some Sluicing
Dogswell	85	California 1934	1.35	1.6	Dumped
Malpaso	78	Peru 1936	0.5	1.33	US Placed - DS Dumped
Togoti	75	Chile 1939	1.6	1.8	Dumped rock & gravel
Lower Bear No. 1	71	California 1952	1.3	1.4	Dumped, Sluiced
Paradela	112	Portugal 1955	1.3	1.3	Dumped, Sluiced
Pinzanes	67	Mexico 1956	1.2	1.3	Dumped, Sluiced
Courtright	95	California 1958	1.3	1.3	Dumped, Sluiced
Wishon	82	California 1958	1.3	1.4	Dumped, Sluiced
San Idelfonso	62	Mexico 1959	1.4	1.4	Dumped; Supporting Zone-Compacted
New Exchequer	150	California 1966	1.4	1.4	Main-Dumped, Supporting Zone-Compacted
Cabin Creek	76	Colorado 1966	1.3	1.75	Compacted
Fades	70	France 1967	1.3	1.3	Compacted
Rama	110	Yugoslavia 1967	1.1	1.3	Compacted
Kalbarroo Creek	60	Australia 1968	1.3	1.3	Compacted
Pindari	60	Australia 1969	1.3	1.3	Compacted
Cethana	110	Tasmania 1971	1.3	1.3	Compacted
Alto Anchicaya	150	Colombia 1974	1.4	1.4	Compacted
Bailey, R. D.	115	USA-Corps 1976	2.0	2.0	Compacted
Little Yarra	75	Australia 1977	1.3	1.3	Compacted
Golillas (Chuzá)	130	Colombia 1978	1.6	1.6	Compacted-gravel
Fortuna, initial raised	65 105	Panama P	1.3 1.3	1.3 1.3	Compacted
Yacambu	150	Venezuela 1979	1.5	1.5	Gravel, Compacted
Murchison	92	Australia 1979	1.3	1.3	Compacted
Areia	150	Brazil 1980	1.4	1.4	Compacted
Mackintosh	78	Australia UC	1.3	1.3	Compacted
Musa	150	New Guinea P	1.4	1.4	Compacted
Neveri	115	Venezuela 1980	1.4	1.5	Compacted
Pindari (raising)	80	Australia P	1.3	1.3	Compacted
Pozo de Los Ramos	98	Spain P	1.3	1.5	Compacted
(2nd Stage)	136	Spain P	1.3	1.5	Compacted
Jamrani	145	India P	1.4	1.5	Compacted, gravel & rock
Segredo	120	Brazil UD	1.3	1.3	Compacted, basalt
Rosebery	116	Australia UD	1.3	1.3	Compacted
Sálvajina	160	Colombia UD	1.5	1.5	Dredger Tailings, Comp.
Sarloaf	90	Australia 1979			Compacted
Shiroro	130	Nigeria 1980			Compacted

P = Proposed: includes design stage, proposed but not yet scheduled; and under study along with earth core rockfill.

UD = Under Design

Summary of Major Conclusions

The geology of the Miel Project is fairly well known now. There are two types of rock, which are generally alternating. The graphitic schist is more fractured than the green schist and has a low coefficient of friction on the schistosity surfaces. However, refolding has developed tight folds on the schistosity adding a measure of strength to the rock mass. Foliation shears, filled with soft graphitic clay gouge, are the most severe structural element of the rock. Nevertheless, there is no reason to believe that tunnels, dams, excavations, and other features of the Miel Project can not be constructed satisfactorily in this rock.

The use of an open cut spillway on the left abutment of the Miel 2 dam is recommended. The 100 degree azimuth bearing for this cut is satisfactory if side slopes having an overall steepness of 50 degrees or flatter are required. This conclusion can be updated if new information on structural attitudes is obtained.

Apparently it is feasible to use both the green schist and the grey schist in the embankments. Some select material, obtained from green schist or possibly diorite, will be required. Dams must be designed for strong ground shaking. There is no especial design requirement occasioned by the discovery of active normal faults in the reservoir area.

In view of the orientation and number of foliation shears along the right of way of Alternative B, I would prefer Alternative A for the Guarino Diversion Tunnel. This line has been adequately explored at this stage. The Palestina Fault poses no threat to the project.

TABLE 2

PARTIAL LIST OF ROCKFILL DAMS WITH CONCRETE FACING
(OVER 60 METERS HIGH)
by J. Barry Cooke

Name	Height m	Year Completed	Location and Year Completed	Slopes		Rock Placing Method
				US	DS	
Shitoto	130	1980	Nigeria	1.2	1.2	Compacted
2 alios	90	1979	Australia	1.3	1.3	Compacted
Savajina	180	UD	Colombia	1.2	1.2	Dredger Tailings, Comp.
Rosebery	116	UD	Australia	1.3	1.3	Compacted
Segredo	120	UD	Brazil	1.3	1.3	Compacted, basalt
Jamtani	142	P	India	1.4	1.3	Compacted, gravel & rock
(2nd Stage)	136	P		1.3	1.2	Compacted
Pozo de los Ramos	98	P	Spain	1.3	1.2	Compacted
Pindan (raising)	80	P	Australia	1.3	1.3	Compacted
Nevri	112	1980	Venezuela	1.4	1.2	Compacted
Musa	120	P	New Guinea	1.4	1.4	Compacted
Mackintosh	78	UD	Australia	1.3	1.3	Compacted
Aira	120	1980	Brazil	1.4	1.4	Compacted
Muchison	92	1979	Australia	1.3	1.3	Compacted
Yacamba	120	1979	Venezuela	1.2	1.2	Gravel, Compacted
raised	102	P		1.3	1.3	Compacted
Fortuna, initial	82	1978	Panama	1.3	1.3	Compacted
Colinas (Chuzas)	130	1978	Colombia	1.6	1.6	Compacted-gravel
Little Yana	72	1977	Australia	1.3	1.3	Compacted
Barley, R. D.	112	1976	USA-Corps	2.0	2.0	Compacted
Alto Anchicaya	120	1974	Colombia	1.4	1.4	Compacted
Colpans	110	1971	Tasmania	1.3	1.3	Compacted
Pindan	80	1969	Australia	1.3	1.3	Compacted
Kal. too Creek	80	1968	Australia	1.3	1.3	Compacted
Rams	110	1967	Yugoslavia	1.1	1.3	Compacted
Fades	70	1967	France	1.3	1.3	Compacted
Cabin Creek	76	1966	Colorado	1.3	1.72	Compacted
New Exchequer	120	1966	California	1.4	1.4	Supporting Zone-Compacted, Main-Dumped, Zone-Compacted
San Jellonso	82	1959	Mexico	1.4	1.4	Dumped; Supporting
Wiston	82	1958	California	1.3	1.4	Dumped, Sluiced
Conthright	92	1958	California	1.3	1.3	Dumped, Sluiced
Finanzas	87	1956	Mexico	1.3	1.3	Dumped, Sluiced
Arabela	112	1952	Portugal	1.3	1.3	Dumped, Sluiced
Lower Bear No. 1	71	1952	California	1.3	1.4	Dumped, Sluiced
Topoli	72	1939	Chile	1.6	1.8	Dumped rock & gravel
Alpaso	78	1936	Peru	0.2	1.33	US Placed - DS Dumped
Topswell	82	1934	California	1.32	1.6	Dumped
Left Springs	100	1931	California	1.4	1.4	Dumped, Some Sluicing
Six River	84	1922	Kentucky	1.2	1.4	Dumped, Sluiced

UD - Proposed; includes design stage, proposed but not yet scheduled; and under study
P - Proposed; includes design stage, proposed but not yet scheduled; and under study
and with earth core rockfill.

R.D. Cooke

Appendix to Miel 2 Report, August 22, 1979

Response to particular questions posed during the trip:

1) What treatment is required to handle the breccia under the dam site, according to the drill hole MS 3?

This zone should be treatable by grouting, to cut off underseepage and to limit porepressures in the foundation. This is a fairly standard type of problem, with no special requirements.. Clean the zone by water injection and grout to refusal by the stage or packer technique. The zone of core loss can be identified and treated at the surface during foundation cleanup.

2) What is the importance of the normal faults cutting the Tertiary tuffs? What studies are required?

This has been discussed in the report. No further studies are necessary. The region should be considered active tectonically and the faults are very likely active. No special adits are necessary along the tunnel near K 2 + 500 by virtue of the proximity of these small faults.

3) Does the presence of graphitic schist create any gas hazards? I have never heard of gas associated with graphite. However, there is a risk of premature detonation of explosives by virtue of the high conductivity of the ground. Electric blasting may be very difficult. This should be studied. If in doubt, require all blasting to be accomplished without electric blasting caps.

4) How common is it to find a 10 m. thick gouge zone in schist? I have answered this in the report. It is common and not the severe hazard that it may seem, unless the fault or shear zone creating the gouge runs almost parallel to the tunnel alignment.

5) Is there necessity to investigate the possibility of high temperature ground or hot waters emanating from volcanic sources in the study for Guarino Tunnel?

This is an important factor in tunnelling, if there is any real possibility of hot waters, or toxic chemicals in the water, then this should be found before the construction contract is let. There is no need to determine this definitively in the feasibility stage. However, I don't understand the premise for such a concern. The geological map does not seem to indicate any such eventualities.

6) The question of the spillway cut in relation to structure has been addressed in thereport. Tunnel spillways are less favorable than open cuts if the latter can be executed safely. Since an open cut can be made here, a tunnel need not be considered at all.

J. BARRY COOKE, INC.
 CONSULTING ENGINEER
 1080 NORTHGATE DRIVE, SUITE 400
 SAN RAFAEL, CALIFORNIA 94903

JBC:File
 TD: CF

TELEPHONE: (415) 470-8151
 TELEX: 34440 SAN RAFAEL CALIFORNIA
 CABLE: VHSINC SAN RAFAEL

DRAFT FOR ICOLD

DRAFT 17 JAN 78
 JBC - SDW
 HBS on seismic

8.8 Concrete Face Rockfill Dams

8.8.1 Introduction

Major progress in the design of the concrete face rockfill dam in the past ten years, has resulted in increased use of this type of rockfill dam, and its adoption for higher dams. The use of properly zoned compacted rock results in a dam that is safe even without the concrete face, and the development of cutoff and face slab improvements, are principal factors for the current popularity.

Cethana (Australia - 110 m, 1973) and Alto Anchicaya (Colombia - 140 m, 1974) have given excellent performance. Among the higher concrete face dams under construction are: Bailey (USA - 110 m, 1978), Chuza (Colombia - 130 m, 1978), Yacambu (Venezuela - 150 m, 1980), Areia (Brazil - 153 m, 1979), Mackintosh (Australia - 78 m, 1981), Sugarloaf (Australia - 90 m, 1979), Jamrani (India - 160 m, 1982), Shiroro (Nigeria - 130 m, 1980), and Segredo (Brazil - 130 m - 1984).

In addition to its excellent static stability, the concrete face rockfill dam has a particularly high resistance to seismic loading, since reservoir pressure is upstream from the total mass of the dam, there is no saturated fill material, and the dam is safe even without a concrete face. It is not expected that the concrete face would be damaged under major seismic loading, though damage would not adversely affect safety. The Cogoti Dam (Chile - 75 m, 1934) resisted the major 7 April 43 earthquake with 1.4 ft settlement and no face cracks and no increase in leakage. The Magnitude 7 earthquake epicenter was 10 miles from the dam.

8.8.2 Features of Current Design

Typical Design. Figure 8 shows a section of Areia Dam, which includes all current design features.

Slopes. Both slopes are usually the same unless a weaker rock, dirty gravel, or a random zone is used in downstream portion of the dam. For hard rock and dams under 110 m height, 1.3 : 1 slopes are used or 1.4 : 1 for weaker rock; for dams higher than 110 m 1.4 : 1 slopes have been adopted out of respect for the height; for gravel 1.5 : 1 or 1.6 : 1 slopes are used. Special conditions can result in the downstream slope being flatter than the upstream slope, and flatter than the above.

Rockfill. The rockfill zone under the concrete face is crusher run rock of minus 4 to 6 inch maximum size adjusted to give a grading that has a permeability on the order of 10^{-4} cm/sec. It is generally about 4 m in horizontal width at the top and increases moderately in width to the bottom of the dam. Approximately the upstream half of the rockfill is placed in 1 m layers and the downstream rockfill in 2 m layers. The downstream toe would be of large rock such that much more water can safely exit than could possibly get through the three zones of rockfill.

Face Slab. With the change from dumped to compacted rockfill the formula for design slab thickness has changed from $1 \text{ ft} + 0.006 \text{ ft}$ times ht to an increment of 0.002 or 0.003. Cethana used 0.002. Vertical joints have changed from having a compressible filler to cold joints. No horizontal joints, except construction joints with steel passing through, are used. For the perimeter joint of face slab to cutoff a thin filler and two waterstops of different types are used since this joint always opens under full reservoir and has been the principal historical point of leakage. There is a trend to have reinforcing pass through the vertical joints. The percent reinforcing has changed from the 0.5 percent used with dumped rockfill to 0.3 to 0.4 percent.

Toe Slab. Instead of a concrete backfilled trench, excavated in rock, a more economical cutoff now used is a reinforced slab of about 0.6 m thickness dowelled onto groutable rock and grouted. It is 3 to 4 m wide at the top of dam and may or may not increase in width with depth depending on the bedrock quality and height of dam.

8.8.3 Factors in Comparison with Earth Core

Rockfill

Diversion During Construction. The concrete face dam acts as its own cofferdam with a low upstream cofferdam to permit riverbed toe slab construction and grouting. The partially completed rockfill, with its

semipervious upstream zone and without its concrete face, will store water to its constructed height. To achieve minimum risk, an upstream portion of rockfill dam should be raised to a specified height in the dry season, as at Areia.

Construction Schedule. The concrete face dam can be constructed on a shorter and more reliable schedule. The rockfill placement is independent of the toe slab construction and grouting. It is also independent of rainfall. Slip forming of the face is a rapid mechanized procedure that takes only several months.

Reservoir Operation. Performance as measured by leakage can be considered essentially the same, with the concrete face dam leaking one or several second feet. In event of leakage, its location on the face can be detected by audio equipment or closed circuit TV, and can be repaired by underwater. A fine and dirty sand placed underwater will be filtered by the crushed rock zone under the concrete face and seal a leaking joint or crack.

Economics. A design and cost estimate should be made for each. The auxiliary features such as diversion tunnel, power or outlet conduit and spillway can usually be laid out to cost less due to the lesser base width of dam. The core rockfill takes about the same volume of rockfill. The main cost comparison is of the impervious features: for core design, there is foundation excavation, area and curtain grouting, core contact cleanup - slush grout - dental concrete, the core, and the filters; for the concrete face design, there is toe slab excavation and concrete, curtain grouting, face slab, and the incremental cost of crushing and compacting the thin upstream zone of crushed rockfill. The design improvements in the concrete face rockfill dam have made it more competitive with the earth core rockfill.

A N E X O 2

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Barrero, Darío, Alvarez, J., Kassem, T., 1969, Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico: Inst. Nal. Inv. Geol. Min. Bol. Geol., v. XVII, nos. 1-3, p. 147-173.

_____, Vesga, C. J., Pérez, H., 1969, Geología del valle del río La Miel al sureste de Norcasia, Caldas; Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Dir. Regional Ibagué.

_____, Vesga, C. J., 1976, Mapa geológico del cuadrángulo K-9 Armero y parte sur del J-9 La Dorada; escala 1:100,000: Inst. Nal. Inv. Geol. Min.

Benzinger, C. P., 1976a, Río La Miel Project Feasibility Studies. Report of Geologic Reconnaissance (June): Consorcio Río La Miel; (tr. R. Quintero), Estudios de factibilidad del Río La Miel, informe de reconocimiento geológico (Junio): Consorcio Río La Miel.

_____, 1976b, Río La Miel Feasibility Studies. Report of Geologic Reconnaissance (November): Consorcio Río La Miel; (tr. R. Quintero), Estudios de Factibilidad del Río La Miel. Informe de reconocimiento geológico (Noviembre): Consorcio Río La Miel.

Botero, Gerardo, 1941, Formaciones geológicas de Antioquia: Minería, v. XIX, Nos. 111 y 112, p. 9080-9085.

Buitrago, Julio, 1971, Posibles fuentes de energía en el Antiguo Caldas: Central Hidroeléctrica de Caldas, S.A., Manizales.

Butler Jr., J.W., 1942, Geology of Honda District, Colombia: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 26, No. 5, p. 793-837.

Cardona, Carlos, y Suescún, Darío, 1947, Informe de las minas "La Venturosa" y "El Tesoro", municipio de Marquetalia, departamento de Caldas; Serv. Geol. Nal., Inf. No. 599.

Cediel, Fabio, Ujueta, Guillermo, Cáceres, Carlos, 1976, Mapa Geológico de Colombia, escala 1:1.000.000: Ed. Geotec.

Compañía Promotora Metalúrgica Colombiana, s.f., Reportes Oriente: Inédito.

Consortio Río La Miel, 1976-1979, Informes de Geología Nos.1-39; Consortio Río La Miel.

_____, 1977, Desarrollo Hidroeléctrico del Río La Miel y Hoyas Vecinas, Contrato 3200, Etapa A, Informe sobre Identificación y Evaluación de Posibles Aprovechamientos Hidroeléctricos: Inst. Col. En. Elect.

_____, Desarrollo Hidroeléctrico del Río La Miel, Informe de Factibilidad Técnica, Proyecto Miel I: res. y 4 vol., Consortio Río La Miel.

Dal Vesco, E., 1970, Informe Geológico y Geotécnico, Syndibel, Proyecto de La Miel, informe preliminar: Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. Manizales.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 1955, Panorama geoeconómico del Departamento de Caldas: Imp. Nal., Bogotá, 56 p.

_____, s.f., Planchas Topográficas, escala 1:100.000, 16-E, 16-F, 17E, y 17-F: División de Zonificación Censal, Bogotá.

Echeverry, Ariel, 1973, Proyecto Hidroeléctrico Río La Miel: Central Hidroeléctrica de Caldas S.A., Manizales.

_____, 1974, Desarrollo del río La Miel y sus afluentes: Central Hidroeléctrica de Caldas S. A., Manizales.

Falconnier, A., 1968, Proyecto de presa en el río La Miel (Colombia). Informe geológico preliminar, Syndibel, Proyecto de La Miel: Central Hidroeléctrica de Caldas, S. A., Manizales.

Feininger, Thomas, Barrero, Darío y Castro, Nestor, 1972, Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona IIB): Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Bol. Geol., v. XX, No. 2.

_____, Barrero, Darío, Castro, Nestor, Ramírez, Octavio, Lozano, Hernando, Vesga, Jairo et al, 1970, Mapa geológico del oriente del departamento de Antioquia, Colombia (cuadrángulo I-9 y partes de los cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9 y J-10, Hoja No. 2, escala 1:100.000; Inst. Nal. Inv. Geol. Min.

_____, 1970, The Palestina fault, Colombia: Geol. Soc. Am., Bull., vol. 81 pp. 1201-1276.

Fetzer, W.G., 1942, Comisión geológica de Caldas: Serv. Geol. Nal., Comp. Est. Geol. Ofic. Colombia, t. V., p. 503-544.

García, Antonio, 1937, Monografía de Caldas: Geografía económica de Colombia, t. IV, Bogotá

Geocolombia, 1969, Investigación bibliográfica sobre recursos minerales en los departamentos de Caldas, Quindío, y Risaralda; Cía. Minera Atlas, S.A., 2 tomos.

Goodman, R.E., 1978a, Miel I hydroelectric Project, Report of geologic reconnaissance; (tr. R. Quintero y M. Monroy), Proyecto Hidroeléctrico Miel I, Informe de Reconocimiento Geológico: Consorcio Río La Miel.

_____, 1978b, Report of trip to the Miel project, July 23 to 28, 1978; (tr.R.de la Espriella), Informe sobre el viaje al proyecto Miel, Julio 23 a 28, 1978; Consorcio Río La Miel.

_____, 1979a, Report concerning the design of Guarinó river diversion and the spillway for the dam at Miel 2, February 28 to March 2, 1979; (tr.R.de la Espriella) Informe correspondiente al Diseño del Túnel de Aducción del Río Guarinó y del Rebosadero para la Presa de Miel 2, Febrero 28 a Marzo 2, 1979: Consorcio Río La Miel, inédito.

_____, 1979b, Report Concerning Miel 2-project, July 25 to 27, 1979; (tr.R. de la Espriella y J.G. Monge) Informe correspondiente al proyecto Miel 2, Julio 25 a 27 de 1979: Consorcio Río La Miel, inédito.

Hall, R.B., Feininger, T., Alvarez, J., Barrero, D. y Rico, H., 1970, Recursos minerales de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas: Inst.Nal.Inv.Geol.Min., Bol.Geol., V. XVIII, No.2, 90 p.

Instituto Geológico Nacional. s.f., Mapa geológico de la República de Colombia, planchas J-8, J-9, y K-9, escala 1:100.000: planchas sin publicar, Minas y Petróleos.

Ingeominas, 1976, Mapa geológico de Colombia, escala 1:1'500.000: Inst. Nal. Inv.Geol.Min.

Irving, . M., 1971, La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia; Inst.Nal.Inv.Geol.Min., Bol., Geol., v. XIX, No. 2.

Jaramillo, J.M., 1978, Determinación de las edades de algunas rocas de la Cordillera Central de Colombia por el método de huellas de fisión: II Congreso Colombiano de Geología.

Kassem, Taissir, 1968, Guías para identificar rocas ígneas y metamórficas a partir de fotografías aéreas en la mitad norte de la Cordillera Central Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Bol. Geol., v. XVII. No. 1.

_____, y Arango, Jorge, 1974, Mapa geológico generalizado del departamento del Tolima, escala 1:250.000: Inst. Nal. Inv. Geol. Min.

López, Hilario, 1971, Ocurrencias minerales en el departamento de Caldas: Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Inf. No. 1602.

_____, Lozano, Edison, 1978, Inspección geológica proyecto Miel I y desviación del río Guarinó: Inst. Col. Energ. Elect., inédito.

Lleras, Ricardo, 1926, La diorita en el territorio colombiano: Bol. Soc. Colombiana de Cienc. Nat., año XV, No. 88, p. 161-165.

Magyesi, Imre, 1962, Deslizamientos en el municipio de Pensilvania, Departamento de Caldas: Serv. Geol. Nal., Inf. No. 1411.

Marsal, R. J., 1978a, Proyecto hidroeléctrico del río La Miel, Departamento de Caldas (Colombia): Consorcio Río La Miel.

_____, 1978b, Proyectos hidroeléctricos de La Miel I y Miel II, estudios de factibilidad: Consorcio Río La Miel.

Martínez, L. E., 1963, Deslizamientos en el corregimiento de Bolivia, Departamento de Caldas: Serv. Geol. Nal., Inf. No. 1441.

Marulanda, Roberto, 1940, Perspectivas de la industria minera en el departamento de Caldas: Minería, v. XVII, No. 100, p. 8321-8323.

Ministerio de Obras Públicas, 1955, Mapa vial de los departamentos de Caldas, Tolima y Valle; escala 1:500.000, Talleres gráficos del Bco. de la Rep.

Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 1970, Departamento de Caldas, escala 1:250.000: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

Nelson, Wolfgang, 1962, Contribución al Conocimiento de la Cordillera Central, sección entre Ibagué y Armenia: Serv. Geol. Nal. Bol. Geol., vol. X, Nos

Ospina, Tulio, 1911, Reseña geológica de Antioquia: Medellín, Imprenta La Organización, 128 p.

Planta Metalúrgica Nacional, 1953, Mapa geográfico y minero de Caldas, escala 1:200.000: Planta Metalúrgica Nacional, Medellín.

Quintero, Reinaldo, 1958, Manifestaciones minerales de plomo y zinc en la región de Marquetalia, Departamento de Caldas: Serv. Nal. Geol., Inf. No. 1296

Radelli, Luigi, 1965a, Metallogenic belts and "igneous" rock of Colombian Andes: Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble, t. 41.

_____, 1965b, Contribution a la géologie de l'occidente Andes Colombien dans les départements de Caldas et Antioquia: Travaux de Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble, v. 41, p. 209-218.

_____, 1967, Géologie des Andes Colombiennes: Grenoble, Travaux de Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences, Mem. 6, 457 p.

_____, y Pagnacco, P.F., 1962, Sobre algunas mineralizaciones encontradas durante los estudios de campo, relativos a la elaboración de las planchas J-8 y J-9 del mapa geológico de Colombia: Serv. Geol. Nal., Inf. No. 1435.

Restrepo, J. J., Toussaint, J. F. y González, Humberto, 1978, Edades del metamorfismo en la Cordillera Central: II Congreso Colombiano de Geología.

Restrepo Vicente, 1937. Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia: Anales Esc. Nal. Min., No. 43, p. 1-304.

Schaufelberger, Paul, 1951, Los suelos de ceniza volcánica del departamento de Caldas: Rev. Café Colombia, 10, No. 123, p. 3794-3805.

Servicio Geológico Nacional, 1946, Mapa geológico del departamento de Antioquia, escala 1:1'000.000: Min. Min. Petr.

_____, 1957, Mapa geológico de la república de Colombia, plancha K-9 "Armero", escala 1:200.000 : Min. Min. y Petr.

_____, 1962, Mapa geológico de Colombia, escala 1:1'500.000 : Min. de Min. y Petr.

Singewald, Q.D., 1950, Mineral Resources of Colombia (other than petroleum), U.S. Geol. Survey Bull. 964-B, 204 p., 11 pl., 5 fig.

Syndibel, 1971, Proyecto La Miel informe preliminar: Central Hidroeléctrica de Caldas S.A., Manizales.

Suescún, Darío y Taborda, Bernardo, 1949, Estudio geológico preliminar de la formación Honda: Serv. Geol. Nal., Inf. No. 678.

Van Houten, F. B, and Travis, R.B., 1968, Cenozoic Deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 52, No. 4, p. 675-702.

Vesga, C.J. y Barrero, Darío, 1978, Edades K/Ar en rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Central de Colombia y su implicación geológica: II Congreso Colombiano de Geología.

A N E X O 3

REGISTRO DE PERFORACIONES

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION	LOCALIZACION	COORDENADAS		INCLINACION CON LA HORIZONTAL	AZIMUT	OBJETIVO	COTA DE SUPERFICIE (m)	COTA DE LA ROCA (m)	LONGITUD DE LA PERFORA- CION (m)
		N	E						
Perforación GT-1	Túnel de aducción sobre la Quebrada Santa Bárbara.	1'073.078	887.671	90°	—	Calidad de la roca a la profundidad del túnel	1.211	1211	120
Perforación GT-2	Túnel de aducción sobre el Río San Juan	1'075.685	888.665	90°	—	Calidad de la roca a la profundidad del túnel.	1.110	1108	90
Perforación MS-1	Rebosadero, estribo izquierdo.	1'082.984	894.477	45°	96°	Calidad de la roca en el rebosadero.	1.091	1087	150
Perforación MS-2	Eje de presa, estribo izquierdo.	1'082.905	894.462	60°	35°	Calidad de la roca en eje de presa.	990	988	80
Perforación MS-3	Pata de la presa estribo izquierdo.	1'082.947	894.221	50°	180°	Calidad de la roca en pata de presa y depósito aluvial	906	898	40
Perforación MS-4	Eje de presa, estribo derecho	1'082.712	894.336	90°	—	Calidad de la roca en eje de presa	1013	1012	65
Perforación MS-5	Eje de presa, estribo derecho	1'082.755	894.366	90°	—	Calidad de la roca en eje de presa.	948	948	50
Perforación MS-6	Pata de la presa estribo derecho.	1'082.895	894.183	47°	352°	Calidad de la roca en eje de presa	900	890	40
Perforación MT-1	Casa de máquinas, sobre la Quebrada La Negra.	1'085.761	902.379	60°	215°	Calidad de la roca a la profundidad de casa de máquinas subterránea.	760	756	250
Perforación MT-2	Túnel de carga, sobre la Quebrada El Pital.	1'085.435	901.069	90	—	Calidad de la roca a la profundidad del túnel de carga.	1114	1097	150
Perforación MT-3	Túnel de carga sobre la Quebrada El Purgatorio	1'084.990	898.387	90°	—	Calidad de la roca a la profundidad del túnel de carga	1145	1138	100
Perforación MT-4	Túnel de carga sobre la Quebrada Santa Rita	1'083.920	895.304	90°	—	Calidad de la roca a la profundidad del túnel de carga.	1071	1067	100

COTA DEL FONDO (m)	ROCA PERFORADA (m)	ROCA RECOBRADA (m)	PORCENTAJE DE RECUPERACION	LITOLOGIA
1091	120	106	88	Esquisto verde con intercalaciones esporádicas de esquisto gráfítico hacia el final del sondeo
1020	88	28	32	Dique pórfido dacítico y esquisto gráfítico con zonas de brechas cataclásticas
985	145	136	94	Esquisto gráfítico y esquisto verde con texturas neisosas.
92	80	75	94	Esquisto gráfítico y esquisto verde con texturas neisosas.
875	40	28	70	Esquisto gráfítico - feldespático con texturas neisosas y de fluxión
948	64	62	95	Esquisto grafitoso cuarzo - feldespático y dique dacítico porfirítico.
898	50	48	96	Esquisto grafitoso cuarzo feldespático y dique dacítico porfirítico.
871	34	27	79	Esquisto grafitoso algo cuarzo - feldespático, replegado.
543	246	241	98	Esquisto grafitoso - feldespático con intercalaciones de esquisto verde.
964	133	131	98	Esquisto verde
1045	93	67	72	Esquisto grafitoso con intercalaciones de esquisto verde.
971	96	94	98	Cuarzodiorita biotítica holocristalina de grano grueso



INSTITUTO COLOMBIANO
DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA
DE CALDAS



DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

CUADRO DE RESUMEN
DE PERFORACIONES

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT-1 LOCALIZACION N 11073.077.73 FECHA INICIACION 24 Abril/79 TERMINACION 26 Mayo/79
E 897.671.16

INCLINACION Y RUMBO Vertical PROFUNDIDAD 120,0 metros COTAS SUPERFICIE 1211,18 PERFORADA 120,0 m.
ROCA 1211,18 ROCA RECOBRADA 106,22 m.
FONDO 1091,18 PORCENTAJE 88%

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUJEOONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.00			Esquisto verde (ev) intensamente meteorizado, laterizado	Carmelita			2.00	21	0										Nivel freático en metros = NF - Nivel de agua a las 6 am + Nivel de agua a las 6 pm Se perdió agua
2.00			Esquisto verde (ev) disminuye meteorización, laminaridad-fisibilidad notoria, minerales micáceos y actinolita-tremolita dan aspecto sedoso a los planos de exfoliación; color rojo, dureza baja					45	0										Diaclasamiento principal coincide con esquistosidad
3.00																			
4.00			Foliación 60° con la horizontal				6.30												El intervalo 6.30 - 12.50 fué cementado
5.00							6.90												
6.00							7.60												25 Abril NF + 5,8 - 6,0
7.00			Esquisto verde (ev) duro, sin meteorización en bandas finas, verde claras y blancas				8.30	98	54										
8.00			Foliación 60°				8.95												
9.00			Esquisto verde (ev) con fracturas abiertas y oxidadas					88	0										
10.00							10.95												
11.00			Esquisto verde (ev) fresco, duro, moderadamente fracturado				12.10	100	77										
12.00							12.30												
13.00			Esquisto verde (ev) y esquisto gráfico (egr), duro, fresco, sano. Foliación 60°				12.85	98	64										7 Abril NF + cemento - cemento El intervalo 12,50-19,30 fué cementado
14.00																			
15.00							15.55												
16.00							17.15												
17.00			Esquisto verde (ev) fresco, duro, de aspecto sedoso por su contenido de actinolita-tremolita				17.70	100	88										29 Abril NF + cemento - cemento
18.00			Foliación 70°				19.12												
19.00							19.30												30 Abril NF + 10,6 - cemento
20.00																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 1

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES				
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d					
21.00	CEMENTO	[Hatched pattern]	Idem anterior	Gris	Nx	8	21.00	100	88										El intervalor 19.00 - 26.70 fué cementado				
22.00			21.60																				
23.00			22.00																			Mayo 1 + cemento - cemento	
24.00			22.50				Esquisto cuarzo grafitoso (esq). Roca fresca, textura esquistosa con estructura "boudin" y augen de cuarzo. Diaclasas con calcita y piritita. Variación vertical a esquisto verde. Foliación = 70°					100	79					12°	40°	72°			
25.00			24.67				Esquisto verde (ev) duro, fresco, sano, con sectores hasta de 1,20 metros de espesor donde se intensifica la fracturación																
26.00			26.13									100	65					70°					
27.00			26.70				Foliación 75°																Mayo 2 + cemento - cemento
28.00			28.00									100	18					60°	78°	90°			
29.00			29.57																				
30.00			30.85																				
31.00	30.85												15°	30°	70°	78°		Mayo 3 + 11.70 - 14.50					
32.00	33.00																						
33.00	34.00																						
34.00	36.64																						
35.00	37.00																						
36.00	36.64																						
37.00	37.00	Esquisto verde (ev)																					
38.00	38.20	Idem anterior																					
39.00																							
40.00																							

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 1

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
41.00			Esquisto verde (ev) masivo, fresco, duro, homogéneo, muy duro, sano, presenta diaclasas rellenas con calcita			10	40.50	100	91										Foliación 80°
42.00							41.20												
43.00																			
44.00								44.00											
45.00								44.20	98	77					34°	85°			Mayo 5 + 8.30 - 11.60
46.00																			
47.00								47.15											
48.00								47.60											Foliación 77°
49.00									100	89					32°	54°	65°	80°	
50.00								50.10											Mayo 6 + 9.80 - 12.70
51.00							51.10												
52.00			Esquisto verde (ev) más fracturado				51.82												
53.00								97	49					19°	80°				
54.00			Esquisto verde (ev) sano, fresco, duro				54.15												
55.00							55.00	100	84					25°	64°	82°			
56.00																			
57.00							57.00												
58.00							57.20											Mayo 7 + 10.40 - 13.30	
59.00								96	90					40°	46°	51°	60°		
60.00																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 1

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
61.00			Idem anterior, masivo, sano, fresco, presenta fracturación mecánica	Gris	BX		60.50												Mayo 9 + 9.70 - 9.40 Diaclasas no lisas con material alterado - oxidado de la misma roca
62.00							61.00												
63.00																			
64.00									100	93									
65.00																			
66.00							66.00												
67.00																			
68.00									100	100									
69.00																			
70.00							70.00												
71.00							70.62												Mayo 10 no se midió
72.00									100	100									
73.00							73.00												
74.00																			
75.00							75.18		100	100									
76.00							76.00												
77.00									100	100									
78.00																			
79.00							79.00												
80.00							79.72	100	97										Mayo 18 + 10.10 - 11.40

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGION - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº GT - 1

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
81.00			Idem anterior					100	97											Fracturación mecánica	
82.00						21	82.00														
83.00								100	95												
84.00							84.15														
85.00							85.00														Mayo 19 + 10.20 - 11.30
86.00						22		96	95												
87.00																					
88.00							88.00														
89.00								97	97												
90.00																					
91.00						23	90.90														Mayo 20 + 10.40 - 11.60
92.00			Sector fracturado				92.35														
93.00			Esquisto verde (ev) fracturado				92.90	100	68												
94.00			Idem anterior, muy fracturado				93.60 93.90	85	56												Mayo 21 + 11.40 - 9.20
95.00								56	35												
96.00			Esquisto verde (ev) fracturada				95.50														
97.00						24		71	56												
98.00																					
99.00			Alternancia de esquisto verde (ev) y esquisto gris micáceo (esg)				99.50														Mayo 22 + 10.10 - 8.80
100.00							99.90	87	75												

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 1

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c		d
101.0			Idem anterior, muy fisible y fracturado																
102.0								54	46										
103.0			Esquisto gris (esg) con interlaminação de cuarzo fisible. Diaclasas con cuarzo y carbonato			25	103.00 103.20	60	33						55°	70°			Mayo 23 + 12.20 - 11.30
104.0			Idem anterior, menos diaclasas																
105.0								91	71										
106.0			Idem anterior, fisible, fracturado				106.40 106.55	100	30										
107.0			Alternancia de esquisto grafítico (esg) y esquisto verde (ev) fresco, duro				107.10												Mayo 24 + 12.90 - 10.00
108.0								100	73										
109.0			Esquisto verde (ev) masivo, con planos de foliación bien desarrollados. Foliación 65°- 50° "Slickensides"			26	108.90												
110.0								77	62										
111.0			Idem				111.40												Mayo 25 + 10.10 - rebosa
112.0							112.00	89	67										
113.0			Esquisto con foliación bien desarrollada 50°. Diaclasas coincide con la foliación				113.20												
114.0								93	69										
115.0			Aumenta esquistosidad, foliación 70° luego se atenua a 30° la foliación				115.00												
116.0								65	36										
117.0			Inyecciones de cuarzo				117.00 117.50	48	40										Mayo 26 + 9.10 - rebosa
118.0																			
119.0								76	22										
120.0							120.00												

FIN DEL SONDEO A 120.00 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 2 LOCALIZACION $\left\{ \begin{array}{l} N \text{ } 1^{\circ}075,684,67 \\ E \text{ } 888,665,12 \end{array} \right.$ FECHA INICIACION Marzo 30/79 TERMINACION Mayo 26/79

INCLINACION Y RUMBO Vertical PROFUNDIDAD 90.15 metros COTAS $\left\{ \begin{array}{l} SUPERFICIE \text{ } 1109,91 \\ ROCA \text{ } 1108,41 \\ FONDO \text{ } 1019,76 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} PERFORADA \text{ } 88,65 \text{ m.} \\ RECOBRADA \text{ } 28,22 \text{ m.} \\ PORCENTAJE \text{ } 32\% \end{array} \right.$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.00			Dique Porfido Andesítico (Tan) gris claro, duro, poco meteorizado	Amarillo		3 7/8													Nivel Freatico en metros
2.00	Nx		Fracturas lisas, cerradas, con paredes oxidadas				1.50	4	0										Marzo 30 - seco + 0.50
2.54							2.50												
3.00							3.34												
4.00							3.50	65	44					15°	48°	55°			Marzo 31 - seco + 0.50
5.00							5.15												
5.75							5.75												Abril 1 - 4.00 + 3.00
6.00			Contacto gradacional dique - esquisto, con efectos de cataclasis				6.50	44	0					0°					
6.50			Esquisto grafítico (esquisto oscuro a negro, fresco, moderadamente duro, diaclasado. Presenta bandas delgadas y crenuladas de cuarzo, con microfallamientos. El diaclasamiento es paralelo a la foliación.				7.10	75	0										Abril 2 - 4.00 + 3.40
8.00							8.00	8	0					70°					
8.85							8.85												
9.00							9.00												Abril 3 - 4.00 + 3.80
10.00	CEMENTO		Foliación irregular con señales de fricción				10.15	60	13					67°					
10.25							10.50												Abril 5 - 3.50 + 3.50
11.00			Foliación de 70° a vertical. Hacia 6.50 y 10.25 mts. se observan gruesas venas de cuarzo				12.30	94	0					22°	38°	78°			Abril 6 - 4.00 + 3.60
12.00							12.30												
12.30							12.30	24	0										Abril 18 - 4.50 + 4.00
12.80			Entre 12.80 y 15.30 mts. el esquisto presenta mayor fisibilidad. Foliación 77°				13.80												
14.00							14.30							69°	77°	90°			Abril 20 - no se midió + 3.20
15.00							16.55	81	5										
16.00							17.10												
17.10			Esquisto idem. En este intervalo aumenta la crenulación y microfallamiento en las bandas de cuarzo. Foliación 70°				17.10												Abril 21 - 4.50 + 3.50
18.00								60	20					65°	70°	73°			
20.00																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca." UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 2

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
21.00			Idem anterior				21.00	60	20							65°	70°	73°	
22.00			Brecha Tectónica, formada por fragmentos angulares de esquistos y cuarzo de 1 milímetro de diámetro. (Muestra por lavado)			4	23.40	6	0										
23.40			Esquisto Grafítico (esquisto negro, blando, muy fisible, fresco, con diaclasamiento paralelo a la foliación)				25.20	36	00							75°	83°		Abril 22 - 1.50 + 6.20
25.40			Esquisto Grafítico (esquisto negro, blando, fresco, fisible, con esporádicas bandas de cuarzo. La fracturación es paralela a la foliación 69°. Los planos de foliación presentan señales de fricción)				25.30												Abril 23 - 2.00 + 5.00
26.00						5	28.50	34	5							58°	64°	70°	
28.00							29.80												Abril 24 - 1.50 + 8.50
29.80			Esquisto Grafítico (esquisto negro, blando, muy fisible, fresco, intensamente fracturado. La fracturación es paralela a la foliación. Las diaclasas son lisas cerradas, con superficies lustrosas y señales de fricción. Los fragmentos varían entre 1 - 8 centímetros de diámetro)				30.30												Abril 25 - 8.00 + 9.00
30.00							35.20	43	0							53°	62°	72°	
35.00						6	37.95												Abril 26 - 1.00 + 1.00
37.00																			Abril 27 - rebosa + 10.00
39.00																			
40.00																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº GT - 2

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
41.00								0	0											Abril 27
42.00			Esquisto grafitico (esg) foliación vertical				41.75	11	0											Abril 28 - rebosa
43.00							43.00	40	0											
44.00			Esquisto grafitico (esg) con foliación vertical, cuarzo-feldespatico, superficies de fricción cubiertas con pirita				43.70	46	17											
45.00			Esquisto grafitico (esg) laminar; fracturas rellenas con carbonato y láminas de calcopirita				44.85	44	0											
46.00			Idem. Inyecciones de cuarzo				46.00	23	14											
47.00			Idem. sin cuarzo, además estrías de fricción con finas inyecciones de cuarzo feldespatos, aumenta fracturación				46.85	43	0											Abril 30 - rebosa + 10.50
48.00							49.30	19	0											
49.00			Posiblemente esquisto gris con augen de cuarzo				50.30	0	0											
50.00							51.00	5	0											Mayo 1 - rebosa + 12.00
51.00			Esquisto grafitico (esg) superficies de fricción con estrías paralelas a la foliación				52.00	5	0											
52.00							55.00	5	0											Mayo 2 - rebosa + 12.00
53.00							57.20	0	0											
54.00							59.00													
55.00			Esquisto grafitico (esg) con "augen" de cuarzo (gruesos) muy fracturado				59.20													Mayo 3 - rebosa + 13.00
56.00			Idem. anterior, más fracturado																	
57.00																				
58.00																				
59.00			Arcilla con frag. de cuarzo																	
60.00			Arena gris, limosa (gouge fault)																	Muestra por lavado Mayo 4 - rebosa + 11.40

NOTA : De 59.20 a 62.20 se tomó muestra para laboratorio

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº GT - 2

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c		d
61.00			Grano igual o menor de 1 mm, gris oscuro, grafitoso				61.40											Muestra de lavado	
62.00																			
63.00																			
64.00																			
65.00																			
66.00							66.30												
67.00			Esquisto grafitico (esg) gris, con intercalaciones de cuarzo paralelo a la foliacion				68.00	28	6									Foliacion 65° con la horizontal Mayo 5 - rebosa + 13.50	
68.00			Esquisto cuarzo feldespatico grafitico con augen de cuarzo brechado				69.30	6	0									Brecha	
69.00							70.00											Se comenzó a usar bentonita para sostener derrumbe	
70.00			Muestra de lavado				71.80	0	0									Mayo 7 - rebosa + 16.00	
71.00							72.00												
72.00			Limo arcilloso				73.10	20	5									Mayo 8 - rebosa + 15.00	
73.00			Esquisto grafitico (esg) con foliacion vertical, estrías de fricción y augen de cuarzo. Inyecciones de cuarzo sin trituramiento				74.10												
74.00			Esquisto gris (esg)				74.50	50	0									Mayo 9 - rebosa + 14.50	
75.00			Idem. Disminuyendo fisibilidad				76.00	53	23										
76.00			Idem "Stickensided" paralelo a la foliacion. Foliacion entre 70° a 55°				77.00	55	8									Mayo 15 - rebosa + 14.80	
77.00							79.40												
78.00																			
79.00																			
80.00			Cuarzo con inyecciones o inclusiones de esquisto gris grafitico (esg)					7	0									Mayo 17 - rebosa + 15.00	

RQD. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° GT - 2

PROYECTO DESVIACION GUARINO

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
81.00			Esquisto Grafítico (esg) sano, fresco, fisibilidad regular, interlamina-ción de cuarzo				80.90													La fracturación coincide con la foliación
82.00			Idem				82.30	48	36											Mayo 18 - rebosa + 15.00
83.00			Idem				83.00	37	0											
84.00			Idem				83.60	70	0											Mayo 19 - rebosa + 15.50
85.00								37	0											Mayo 21 - rebosa + 15.50
86.00							86.00													
87.00			Brecha paralela a la foliación, muy marcada				86.70	0	0											Mayo 25 - rebosa + 15.00
88.00			Esquisto Grafítico (esg) foliación regular				87.30	33	0											
89.00			Esquisto con interlamina-ción de cuarzo, hasta de 2 mm. de grano. Fractura por operación				88.00	91	0											Mayo 26 - rebosa + 15.00
90.00			FIN DEL SONDEO A 90.00 METROS																	

RQD. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 1

PROYECTO MIEL II (EJE DE PRESA)

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
21.00			Repliegues apretados sin orientación especial - neisico migmatítico			5	21.40	100	98											
22.00							21.93													
23.00																				
24.00						6	24.40	98	93											
25.00							25.58													
26.00							26.10	90	90											
27.00			Esquisto verde (ev) masivo cuarcítico, inyecciones de cuarzo hasta de 2 centímetros, sano, fresco			NX	27.40	98	84											Febrero 14 - 27.00 + 29.00
28.00			Esquisto grafítico (esg) migmatizado con inyecciones cuarzo-feldes pático			7	28.00													
29.00			Esquisto grafítico (esg) crenulado con textura fluidal (migmatización)				29.30	100	79											
30.00							30.40													
31.00						8	31.00	100	86											
32.00							32.90													
33.00			Fract. mecánica a lo largo de inyecc. de cuarzo				33.40	100	100											Diaclasas con calcita y cloritizada
34.00			Esquisto verde (ev) aumenta fracturación. Dificil de separar fractura - ción mecánica de la tectónica. Diaclasas con calcita				33.55													Febrero 15 - 30.0 + —
35.00							35.00													
36.00							35.04													Febrero 16 - no se midió + no se midió
37.00								97	87											
38.00							38.00													
39.00							38.13													
40.00																				

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
41.00			Esquisto gris verdoso (esg/ev) disminuye el contenido de cuarzo, fresco, duro y sano	Pérdida	BX	11	40.45												Febrero 17 - no se midió + no se midió
42.00							41.00	100	92										
43.00			Idem				42.83												
44.00							44.00												
45.00						12	45.90	97	79										
46.00							46.62												Febrero 19 - no se midió + no se midió
47.00			Idem				47.40	95	74										
48.00			Idem																
49.00							49.42	95	74										Febrero 20 - no se midió + no se midió
50.00							50.00												
51.00							50.90												
52.00			Idem. Foliación varía de 50° a 20° con la horizontal				51.98												
53.00																			
54.00						14		98	71										
55.00							55.00												Febrero 21 - no se midió + no se midió
56.00							56.00												
57.00			Esquisto graffítico (esg). Foliación idem, inyecciones de cuarzo hasta 1 cm. y diaclasas para-verticales				56.60												
58.00									98	98									
59.00							59.00												
60.00						15													

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON.- Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
61.00						15		100	94											
62.00			Esquisto verde (ev) Dia- clasas oxidadas y cloritiz- adas para-verticales				61.25 61.80 62.00													Febrero 22 - 29,40 + —
63.00						16		100	87											
64.00							64,15													
65.00							65.00	100	100											
66.00			Zonas migmatizadas den- tro del esquisto verde				65,80													
67.00							67.00													Febrero 23 - — + 37,00
68.00						17	68.00	100	95											
69.00																				
70.00							70.00													
71.00			Idem con intercalaciones esporádicas de esquisto gris				70,40	85	85											
72.00							71.00													Marzo 6 - no se mi- dió + no se mi- dió
73.00						18	71,65	100	88											
74.00							72,95													
75.00			Esquisto grafítico (esg)				74.00	100	83											
76.00							74,95													
77.00							77.00	69	27											
78.00						19	78.00													Marzo 7 - no se mi- dió + no se mi- dió
79.00								42	28											
80.00							79,50													

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECUBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
101.0			Esquisto gris (esg) algo verdoso				100.85													Marzo 12 - - + 34.40
102.0						24		97	87											
103.0																				
104.0			Esquisto gris (esg) crenular con inyecciones de cuarzo y estructuras neisosas				103.80 104.05													
105.0																				
106.0						25		95	95											
107.0																				
108.0							108.45 108.65													
109.0							109.65	52	25											Marzo 13 - no se midió + no se midió
110.0							110.00	100	90											
111.0						26														
112.0			Dique dacítico porfirítico (Tdp) con xenolito				112.0 112.45													Marzo 14 - 35.50 +
113.0			Esquisto con inyecciones de cuarzo				113.00													
114.0																				
115.0								80	80											
116.0						27	116.00													
117.0																				
118.0							117.50 118.00													Marzo 15 + no se midió - no se midió
119.0			Esquisto grafitico (esg) gris, inyectado por diques dacíticos con espesores promedio de 16 cms.				118.70 119.00	81	81											
120.0						28	120.00													

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
141.0			Idem			32	141.08	100	100										Marzo 22 - 35.20 + —
142.0			Aumenta fracturación				142.25	100	100										
143.0			Se mejora el esquist, inyecciones de cuarzo y feldespatos			33	142.85 143.00	91	36	0,7									Marzo 23 - — + 37.50
144.0								97	89										
145.0																			
146.0			Idem, duro, sano, compacto, esquist gris con lineación paralela y fisibilidad restringida (Dique de 5 centímetros a 147.98 metros)			BX	145.65 146.00												Marzo 24 - — + 37.50
147.0								100	100	0,3									
148.0							148.65												
149.0							149.00	69	69										
150.0			FIN DEL SONDEO A 150.00 METROS				150.0												

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

**CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION**

PERFORACION N° MS-2 LOCALIZACION $\left\{ \begin{array}{l} N 11082,905,01 \\ E 894,461,97 \end{array} \right.$ FECHA INICIACION Abril 24/79 TERMINACION Mayo 18/79

INCLINACION Y RUMBO 60° PROFUNDIDAD 80,00 m. COTAS $\left\{ \begin{array}{l} SUPERFICIE 990,02 \\ ROCA 987,68 \\ FONDO 920,02 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} PERFORADA 80,00 m. \\ RECOBRADA 75,51 m. \\ PORCENTAJE 94\% \end{array} \right.$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA No	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRIO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c		d
1.00			Depósito de Pendiente (Qdp) constituido por bloques de esquistos					51	0									Nivel Freático en metros - Nivel de agua a las 6 am + Nivel de agua a las 6 pm	
2.00							2.40											Abril 24 - lleno	
3.00			Esquisto gris (esg), fresco, firmemente bandeadado, micro-repliegues. Diaclasa con relleno de calcita				3.40											Abril 25 - lleno + 2.80	
4.00							5.00												
5.00			Idem, con inclusiones con alternancia de esquistos verde, sano, poco fracturado				5.15											Dos diaclasas a 5.40 y a 5.55	
6.00			Esquisto gris (esg) con interlaminações e inyecciones de cuarzo hasta 3 centímetros de espesor				6.35	100	76	0.0								Abril 26 - lleno + 3.00	
7.00			Esquisto verde (ev) con intercalación de cuarzo				8.10												
8.00							9.57												
9.00			Esquisto verde (ev) con foliación de 45° con respecto al núcleo. Fracturación paralela a la foliación				12.00												
10.00							12.60												
11.00			Esquistografítico y esquisto verde (esg + ev) alternando				13.75	100	69										
12.00			Idem, se presenta relleno de calcita y calcopirita en la foliación				14.95												
13.00			Idem				15.00												
14.00			Esquisto gris (esg) oscuro, micáceo, cuarcítico, foliación hasta 60°. Fracturación mecánica. Diaclasas paralelas a la foliación				15.23	87	77									Abril 28 - lleno + 1.40	
15.00							15.90											Diaclasa a 14.75	
16.00							18.00	74	39										
17.00							19.00												
18.00																			
19.00			Idem pero disminuye el contenido de cuarzo																
20.00																			

RQD - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MS - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJAS	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES			
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d				
21.00							20.55															
							21.00	94	91													
							22.60															
22.00			Diáclisas cortando y paralelas a la foliación rellenas y/o cubiertas con calcita.				22.70	100	84								40°	34°				Mayo 1 - 1.50 + 2.00
23.00			Foliación 45°				24.00	84	34													
24.00							24.90															
25.00			Idem, con zonas de esquistosidad perturbada. Aumenta el cuarzo. Sano, fresco y poco fracturado				25.40															
26.00							27.30	100	94													
27.00			Idem pero más fracturado				28.10	52	24													
28.00			Zonación de esquistos micáceo y esquistos cuarcítico pero en general continúa igual																			
29.00																						
30.00																						
31.00								100	100													
32.00																						
33.00							33.00															
34.00			Idem. Con estructuras neisosas				33.85															
35.00			Esquistos gris y verde (esg + ev) alternando predominantemente cuarcítico, fresco, sano y competente. Algunas zonas con micropliegue pero en general con foliación regular				34.75	100	82													
36.00							36.00	100	96													
37.00																						
38.00							38.55															
39.00			Aumenta la inclinación de la foliación. Inyecciones de cuarzo, son irregulares				39.20	98														
40.00																						

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MS - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
61.00			Idem																Mayo 7 - no se midió + no se midió
62.00			Aumenta el espesor y cantidad de bandas de esquisto verde (ev)				61.90			0.0									Mayo 8 - no se midió + no se midió
63.00				62.20	93	60													
64.00			Algunas diaclasas				63.00												Mayo 9 - no se midió + 13.50
65.00				66.00	98	93								70°	20°				
66.00							66.35			0.7									Mayo 10 - no se midió + 13.50
67.00						66.50				0.2									
68.00							69.00												Mayo 18 - 14.00 + 14.00
69.00							70.85	98	93										
70.00							71.00			2.5									
71.00							72.00												Mayo 18 - 14.00 + 14.00
72.00							75.32												
73.00							78.00	98	85										
74.00							78.65			0.0									
75.00							79.82	100	100					20°	40°				
76.00			Idem, con mayor crenulación. Diaclasas carbonatizadas y cloritizadas, además mineralización de pirita																Mayo 18 - 14.00 + 14.00
77.00																			
78.00																			
79.00																			
80.00																			

FIN DEL SONDEO A 80.00 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS-3 LOCALIZACION { N 1°08'29.46" S
E 89°42'20.61" W } FECHA INICIACION Mayo 10/79 TERMINACION Mayo 25/79
INCLINACION 50° PROFUNDIDAD 40.00 m. COTAS { SUPERFICIE 906.01 } PERFORADA 40.00 m.
Y RUMBO Az 180° { ROCA 898.01 } ROCA { RECOBRADA 28.26 m.
FONDO 875.01 } PORCENTAJE 7.1%

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
1.00			Qal + Qdp - Bloques de esquisto																Nivel Freático en metros Mayo 10 - — +	
2.00																				
3.00							3.00													Mayo 11 - seco + seco
4.00								0	0											
5.00																				
6.00							6.00													
7.00																				
8.00							8.00													Mayo 17 + seco
9.00			Esquisto verde (ev) con intercalaciones de esquisto gris. Diaclasas paralelas y perpendicular a la foliación				9.80	69	35											Mayo 18 - seco + seco
10.00			Esquisto gris (esg) muy alterado. Diaclasas oxidadas y fracturación intensa				10.05													
11.00								100	64											Mayo 19 + seco
12.00							12.30													
13.00							13.50	82	51											Mayo 20 - seco + seco
14.00			Textura neisosa (disturbada y fracturada). Alteración regular a intensa. Sectores grafíticos				14.75	100	75											
15.00							15.00													
16.00								100	65											
17.00			Idem. Esquisto meteorizado con textura, neisosa, (fracturación intensa)				15.70													
18.00							18.00	98	97											
19.00			Diaclasas verticales con respecto al núcleo					94	52											Mayo 21 - 12.00 + 12.00
20.00							19.90	95	0											Mayo 22 - 12.00 + 12.00

RQD - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 3

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTI-MIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUN-DIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
21.00			Continua muy fracturada con diaclasamiento paralelo a la foliación y con relleno de carbonato y pirita. Las inyecciones de cuarzo tienden a ser paralelas a la foliación			4	20,25	35	0											
22.00						5		91	26											
23.00							23,40													
24.00								100	82											Mayo 23 - 12.00 + 12.00
25.00			Foliación 40° con la vertical. Fract. por desecam.				25,10													
26.00			Se mejora considerablemente el esquistos y diaclasamiento de 30° con respecto a la horizontal				25,55	100	62											
27.00								100	81											
28.00						6														
29.00							28,55													
30.00								42	34											
31.00			Idem. Inyecciones de cuarzo, pirita y calcita				31,00													
32.00			Zona de brecha - roca alterada con texturas de fluxión y rompimiento, milonita y "gouge"				31,45	93	44											Mayo 24 - 12.00 +
33.00							31,55													
34.00								71	8											
35.00																				
36.00			Muestra mayor regularidad pero aún con textura de fluxión				35,60													
37.00			Micro estructura de fluxión, calcita como relleno e inyección. micro-fracturación				36,25	92	66											Mayo 25
38.00							36,75													
39.00			Sectores con brechamiento (micro) y alterado. La brecha rellena con calcita - Esquisto grafitico (esg)					100	59											
40.00							38,55													
							40,00	91	0											Brecha a 39.05, hasta 39.37 y la perforación remata con esquistos grafitico que contiene textura de fluxión

FIN DEL SONDEO A 40.00 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 4 LOCALIZACION $\left\{ \begin{array}{l} N \ 11082,711,77 \\ E \ 894,336,26 \end{array} \right.$ FECHA INICIACION 31.1.79 TERMINACION 14.II.79
 INCLINACION Y RUMBO 90° PROFUNDIDAD 55,0 metros COTAS $\left\{ \begin{array}{l} SUPERFICIE \ 1013,56 \\ ROCA \ 1012,56 \\ FONDO \ 948,56 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} PERFORADA \ 55,00 \text{ m.} \\ RECOBRADA \ 62,26 \text{ m.} \\ PORCENTAJE \ 96\% \end{array} \right.$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES			
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d				
1.0	NX		Esquistos (esg) feldespático grafítico, meteorizado y fracturado, crenular, gris	Negra	NX	1	1,00	0	0										La zona de roca afectada por meteorización llega hasta 6,50 metros de profundidad. Nivel Freático en metros Enero 31 - + seco			
2.0			22				0															
3.0			3,00																			
4.0			3,70				58	14														
5.0			4,00																			
6.0			5,10																			
7.0			6,10																			
8.0			7,90				81	56										48°		80°	45°	
9.0			8,00																			
10.0			8,75											0,0								
11.0	10,70	100	68										60°	65°	58°							
12.0	11,55																					
13.0	12,50	100	95						0,4				58°	60°	50°							
14.0	14,80																					
15.0	16,70	100	100										65°	60°								
16.0	18,40																					
17.0	19,70																					
18.0	20,00								0,4													
19.0																						
20.0																						

RQD - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca."
 UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1,0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MS - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECUBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
21.00			Esquisto (esg) idem anterior. Foliación entre vertical y 75° El esquisto presenta un desarrollo de foliación laminar			5	22.05	100	88											Diaclasas escasas paralelas a la foliación 5 de Febrero - seco + 21.00	
23.00						6	24.30	100	100												
24.00							7	25.40													
26.00							7	28.70	100	100											
29.00			Esquisto (esg) cuarzofeldespático grafitico, duro, fresco, sano, masivo, crenular			NX	28.75													Diaclasas perpendiculares a la foliación	
31.00						8	31.50	100	100												
32.00							8	32.25													
33.00							9	35.40	100	100											
35.00			Dique gris sano, fresco, duro				35.50													8 Febrero - seco	
36.00							36.05														
37.00			Esquisto (es) feldespático cuarzoso, grafitico con zonas de foliación bien desarrolladas, fresco, duro masivo, sano				37.30													9 Febrero - seco	
38.00						10	37.70	100	100												
39.00							38.65														
40.00							39.55														

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MS - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c		d
			Idem anterior																
41.00																			
42.00							11	100	100										
43.00							43.00												
44.00																			
45.00							12	100	100										Febrero 10 - seco
46.00							46.40												
47.00																			
48.00							13	100	100	1.6									
49.00																			
50.00							49.75												Febrero 12 - seco
51.00																			
52.00							14	100	100										
53.00							53.20 53.40												Febrero 13 - seco
54.00																			
55.00							15	100	100										
56.00																			
57.00							56.50												
58.00							57.50												Febrero 14 - seco
59.00							16												
60.00							58.70			1.4									

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MS - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
61.00			Esquisto (esg) grafitico cuarzofeldespático, duro, sano, fresco, masivo, laminar	Pérdida	NX		60.70			1.4									Diaclasa perpendicular a la foliación; cerrada, con paredes cubiertas por feipspato		
62.00		61.70					100	100													
63.00		63.50											0.4								
64.00																					
65.00			FIN DEL SONDEO A 65.00 METROS																		

RQD.- Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 5 LOCALIZACION $\begin{cases} N & 11032,754,64 \\ E & 824,366,56 \end{cases}$ FECHA INICIACION Marzo 7/79 TERMINACION Marzo 16/79
 INCLINACION Y RUMBO 90° PROFUNDIDAD 50,00 m. COTAS $\begin{cases} SUPERFICIE & 947,82 \\ ROCA & 947,82 \\ FONDO & 897,82 \end{cases}$ $\begin{cases} PERFORADA & 50,00 m. \\ RECOBRADA & 48,30 m. \\ PORCENTAJE & 97\% \end{cases}$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.00			Esquisto Grafítico (esg) algo cuarzoso, gris. Foliación irregular: 35°. Diaclasas paralelas a la foliación. Augen de cuarzo. Fisible	Gris oscura		1	1.70	97	83										Nivel Freático en metros Marzo 7 - + 0.30
2.00							1.85												
3.00			Ídem con sectores que muestran mayor fracturación	Gris oscura		2	3.20												Marzo 8 - 0.30 + 0.30
4.00							3.70												
5.00			Dique Dacítico Porfírico (Tddp), masivo, sano, compacto con diaclasas para-verticales. Planos de diaclasas oxidadas y alteradas	Gris clara		2	4.70	96	63										Marzo 8 - 0.30 + 0.30
6.00							5.90												
7.00			Esquisto cuarzo feldespático grafítico (esg) laminar a bandeado con sectores microplegados de 0.15 metros, muy micáceos	Gris oscura		3	7.45	95	94										Marzo 3 - 0.30 + 0.30
8.00							7.70												
9.00				Gris oscura		3	8.55												
10.00							9.00												
11.00				Gris oscura		4	11.25												
12.00							14.00												
13.00				Gris oscura		4	15.05												
14.00							14.00												
15.00				Gris oscura		5	15.05												
16.00							15.05												
17.00				Gris oscura		5	18.70												
18.00							18.70												
19.00				Gris oscura		6	19.70	97	87										
20.00							20.00												

RQD - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 5

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
21.00			Idem anterior																	Marzo 10 - 0.30 + 0.30	
22.00							22.35														
23.00							22.70	91	79												
24.00							24.00														
25.00							25.00	100	66												
26.00			Idem, muy poco fracturado, foliación varía de 75°-90°				25.95	100	96												Marzo 12 - 0.30 + 1.00
27.00																					
28.00																					
29.00							28.70														
30.00							29.40														
31.00																					
32.00																					
33.00			Idem, con texturas migmatíticas				32.90														Marzo 13 - 1.00
34.00							33.20														
35.00							34.70	99	90												
36.00							35.50														
37.00			Idem, Foliación 45°, Diaclasses paralelas a la foliación				36.45														Marzo 14 - 8.20 + 8.00
38.00							37.70	100	94												
39.00																					
40.00							39.95														

RQD.- Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL MIEL II
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 6 LOCALIZACION $\begin{cases} N: 022,894,30 \\ E: 834,183,30 \end{cases}$ FECHA INICIACION Marzo 30/79 TERMINACION Abril 25/79

INCLINACION 47° PROFUNDIDAD 40.00 m. COTAS $\begin{cases} SUPERFICIE: 900.48 \\ ROCA: 890.45 \\ FONDO: 870.48 \end{cases}$ $\begin{cases} PERFORADA: 34.00 m. \\ RECOBRADA: 25.83 m. \\ PORCENTAJE: 79% \end{cases}$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.00			Suelo residual (Qsr)*																Nivel Freático en metros
2.00																			Marzo 30 - seco + seco
3.00																			
4.00																			
5.00							4.60												Marzo 31 - seco + seco
6.00							6.00												
7.00			Bloques de esquistos (Qds) meteorizados, cloritizados, fracturas oxidadas y arcillosas																
8.00																			
9.00								10	0										Abril 2 - seco + seco
10.00																			
11.00							10.50												Abril 4 - no se midió + no se midió
12.00																			
13.00							12.50												Abril 5 - no se midió
14.00							13.50												Inicia roca fresca
15.00			Esquistos Gráficos (esg) algo cuarzofeldspático, replegado, fresco, sano, duro. Foliación 80° con la horizontal				14.00												Abril 6-18 - no se midió
16.00								76	69										
17.00							16.50												
18.00							17.00												Abril 19 + 12.00
19.00								100	92										
20.00																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MS - 6

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
21.00			Esquisto (esg) idem anterior, más neisico			2	21.00	100	75											
22.00			Esquisto Grafítico (esggris, grafítico, cuarcítico, con diaclasas rellenas con cuarzo. Planos de foliación bien desarrollados hacia los 24.5 metros. De 24.50 a 28.00 el esquisto presenta cuarzo inyectado y micropliegues			3	24.00	100	100	1.6				60°	26°					
24.00							24.50													
25.00							25.90	90	80.5					30°						RQD entre 24.5 y 24.8 Abril 20 - 12.00 + 12.00
26.00						4	26.00													RQD entre 26.15 y 26.23 Abril 21 - 12.00 + 12.00
29.00			Esquisto (esg) idem anterior con replegamientos más notorios, compacto, moderadamente diaclasado				28.00			0.9										
30.00						5	30.00	95	95					12°						
31.00							31.50													
32.00			Idem				32.00													
33.00						6	33.60	100	100					18°						
34.00							34.40													
35.00							34.80													
35.00			Esquisto (esg) idem anterior, con inyecciones de cuarzo, fracturado, con mineralizaciones de pirita en el cuarzo				35.70	96	64	0.6				26°	20°					
36.00						7	38.00													
38.00							38.40													
39.00			Esquisto (esg) idem anterior. Entre 39.0 y 39.3 brecha de falla.				39.00	87	87					24°						
40.00							39.30													

FIN DEL SONDEO A 40.00 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

**CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION**

PERFORACION N° MT-1 LOCALIZACION $\left\{ \begin{array}{l} N \ 1^{\circ}05', 761,37 \\ E \ 902,375,38 \end{array} \right.$ FECHA INICIACION Junio 19/79 TERMINACION Agosto 22/79

INCLINACION Y RUMBO $\left\{ \begin{array}{l} 60^{\circ} \\ Az \ 215^{\circ} \end{array} \right.$ PROFUNDIDAD 250,0 m. COTAS $\left\{ \begin{array}{l} SUPERFICIE \ 760,00 \\ ROCA \ 755,70 \\ FONDO \ 544,00 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} PERFORADA \ 245,70 \text{ m.} \\ RECOBRADA \ 241,19 \text{ m.} \\ PORCENTAJE \ 98,2\% \end{array} \right.$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.0			Clastos de esquistos, gris (grafitoso) intensamente meteorizado (Qdo)					19	0										En las perforaciones MT-1, MT-2, MT-3 y MT-4 los buzamientos de diaclasas, foliación, superficies de fricción, estrias de desplazamiento y diques se midieron con el eje de la respectiva perforación
2.0			Clastos de esquistos, gris con calcita a lo largo de los planos de foliación (Qdo)				2,00												
3.0								64	50										
4.0			Esquistos verde (ev) masivos Diaclasas con calcita				4,30											Nivel freático en metros Junio 20 - No se midió + 4,50	
5.0																		Foliación 45°	
6.0							6,15												
7.0								95	95						40°	35°	50°		
8.0																			
9.0																			
10.0							9,70												
11.0																			
12.0			Esquistos gris (esg) grafitoso con intercalaciones de calcita a lo largo de la foliación (calcita) Diaclasas con calcita y piritita				11,41								75°	50°			
13.0								92	63										
14.0							13,15												
15.0							14,35	98	39										
16.0							14,90												
17.0							16,48	100	93										
18.0							16,70												
19.0								97	47										
20.0							19,00												
							19,95												

RQD - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10 K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJAS	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
21.0			Idem anterior				20.10												En 20.10 m. superficie de fricción con 30° Foliación 20° y 30°
22.00						6		98	87										Despegue por foliación F = 30°
23.00							23.15												En 21.90 m. superficie de fricción con 10°, perpendicular a la foliación F = 30° Estrías 50°
24.00							23.55												En 23.60 m. superficie de fricción con 30° F = 30°
25.00						7													F = 40°
26.00							26.15	95	88										
27.0																			23 - 8.10 + 4.00 F = 40°
28.0						8													
29.0							29.20												En 29.30 m. superficie de fricción con 20°
30.0			Esquisto verde foliado con intercalaciones de esquisto gris y calcita	Gris clara	NX		29.65												Cortando la foliación F = 15°, Estrías 75°
31.0						9		100	98										En 29.50 m. superficie de fricción con 40° F = 40° - 30°
32.0							31.70												24 - 8.10 + 1.80
33.0			Esquisto gris (grafitoso) con pequeñas intercalaciones de esquisto verde y calcita			10	32.50												En 32.95 m. superficie de fricción con 35° (con pirita) cortando la foliación F = 30°
34.0							33.00												15° 50°
35.0								97	83										
36.0							36.20												
37.0																			
38.0							38.00												NF
39.0			Esquisto verde con calcita				38.25												A 39.00 m. brota agua Artesiana
40.0							39.90												25 Rebosa. Permanentemente el agua rebosa Caudal 30 L/minuto

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
							%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
41.0			Idem anterior																
42.0						12		97	94						70°	35°	50°		F = 35°
43.0						42.90													
44.0			Esquisto gris (grafitoso) con calcita			44.00 44.25									50°	35°			F = 45°
45.0						13													2E
46.0						46.30		95	74										En 45.90 m. superficie de fricción con 50°. Estrías en dirección de la línea del buzamiento de la foliación F = 20° - 45° - 50°
47.0						48.20									50°	35°			
48.0						14													
49.0			Esquisto verde con calcita			48.80													Junio 27
50.0						49.75													
51.0						15									45°				F = 25°
52.0																			
53.0						53.20		92	82										
54.0						54.00													
55.0						16									30°	50°	0°	40°	F = 30°
56.0																			F = 40°
57.0						56.80 57.00 57.40													En 57.40 m. superficie de fricción con 15° contando la foliación F = 40° F = 25°
58.0						17									45°				
59.0																			
60.0																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
61.0			Idem anterior																F = 30°	
62.0						18														
63.0																				
64.0																				
65.0																				F = 45°
66.0						NX 19		93	88											
67.0							67.33													
68.0																				
69.0																				
70.0																				F = 30°
71.0							70.80													
72.0																				
73.0							72.90													
74.0			Esquisto verde grafitoso con calcita				73.33													Julio 8
75.0			Esquisto verde con calcita				73.80													
76.0																				
77.0							74.80	100	0											Julio 9. Caudal 19 l/min. F = 45°
78.0																				
79.0																				
80.0																				

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c		d
			Idem anterior																
81.0																			
82.0							81.92	98	94										
83.0														55°	40°			F = 45°	
84.0																			
85.0																			
86.0							86.35												
87.0																			
88.0																			
89.0																			
90.0																			
91.0							90.95												
92.0							92.15	98	96									Julio 10	
93.0																			
94.0																			
95.0							95.50												
96.0																			
97.0																			
98.0														20°	50°	40°	55°	F = 30°	
99.0																			
100.0							99.85												

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c		d
121.0			Idem anterior																
122.0							122.35	98	86					45°	60°				Diactasas con calcita
123.0																			
124.0							124.35							30°					Foliación = 50°
125.0																			Julio 13
126.0							126.15												
127.0			Esquisto gris (grafitoso, feldespático) con calcita I				126.93	95	78					60°	40°				Diactasas abiertas perpendicular a la foliación Foliación = 45°
128.0			Esquisto verde con delgadas láminas de esquisto grafitoso feldespático				127.35												
129.0																			
130.0			Esquisto gris (grafitoso - feldespático) en sucesión rítmica con esquisto verde. Se observa calcita				129.12	100	98					10°	35°	40°			Foliación = 60°
131.0																			
132.0							131.55												
133.0																			
134.0								97	75					50°	70°	80°			Foliación = 60° Fracturas mecánicas
135.0																			
136.0							136.0												
137.0							136.95												
138.0			Esquisto gris (grafitoso cuarzo-feldespático) con calcita por los planos de foliación																
139.0							138.45	100	74					70°	60°	55°	50°		Foliación = 40° Julio 15
140.0																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro N°.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES					
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d						
141.0			Idem anterior			36	140.45 140.80	100	74															
142.0						37		94	47													Foliación = 50° Despegue por foliación y diaclasamiento En 143.0 m. superficie de fricción con 15° En 144.0 m. y 144.20 m. superficies de fricción con 45° - 15° cortando la foliación F = 50°		
143.0							143.20																	
144.0							144.0																	
145.0							144.92																	
146.0						38	146.90	99	81														En 146.0 m. superficie de fricción con 50° Foliación replegada	
147.0																								
148.0																								
149.0						BX																		
150.0							149.41 149.50																	
151.0																								Foliación = 55°
152.0						39		100	37															
153.0																								En 153.20 m. superficie de fricción con 20° Foliación replegada
154.0							153.80																	
155.0																								
156.0							155.60	98	72															Foliación = 50° Julio 18 En 156.73 m. superficie de fricción con 60° cortando la foliación (F = 65°) Estrías con 75°
157.0																								
158.0							158.30																	Foliación = 50°
159.0								100	39															En 159.45 m. superficie de fricción con 35° Estrías con 85° Foliación 40°
160.0																								

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECUBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
			Idem anterior				160.05												Julio 19
161.0																			
162.0																			
163.0							162.80												
164.0																			Despegue frecuente por foliación Foliación = 60°
165.0																			Julio 20
166.0							164.95												En 166.10 superficie de fricción con 60° Foliación = 50°
167.0							167.24												En 167.14 superficie de fricción con 45°
168.0																			
169.0							168.85	100	39										Foliación = 60°. Despegue por foliación cada 0, 01 m.
170.0																			En 169.85 superficie de fricción con 45° Foliación = 60°
171.0																			
172.0							171.80												
173.0																			
174.0																			Diaclasa con pirita En 173.60 superficie de fricción con 75° Foliación con 75° Diaclasa en arco con calcita.
175.0																			En los 175.16, 175.54 y 175.85 m. espejos de fricción con 60° Foliación = 55°
176.0							175.85 176.05												Julio 22 Caudal 19 l/min.
177.0																			
178.0																			
179.0							178.90												En 177.95 superficie de fricción con 45° F = 55°
180.0			Esquisto verde				179.85												Diaclasa con calcita Foliación = 60°

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Tomo de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c		d
			Idem anterior					94	44								Agosto 11 Caudal 32 l/min.		
201.0			Esquisto verde con calcita				201.01												
202.0						50		100	91										
203.0			Esquisto gris (grafitoso feldespático) con calcita				203.18												
204.0							203.75												
205.0							205.0							40°			Agosto 12 Foliación = 0° - 10°		
206.0						51								40°			Foliación replegada		
207.0								100	80					40°					
208.0							208.05 208.23							40°	50°		En 208.25 superficie de fricción con 25° Diaclasas en arco		
209.0														40°	50°				
210.0																			
211.0			Esquisto verde				211.05										Foliación = 30° En 210.90 y 211.00 m superficies de fricción con 30°, coinciden con la foliación		
212.0			Esquisto gris (grafitoso feldespático)				211.53	100	89					65°			Estrías 85° F = 30°		
213.0			Esquisto verde transicional a esquisto gris				212.68												
214.0							214.45	100	9					65°			En 214.5 superficie de fricción con 10° y estrías 60°		
215.0			Dique de cuarzo con brechas de esquisto verde			53	215.20										En 215.20 superficie de fricción con 55° Foliación 20° - 50°		
216.0			Esquisto verde transicional a esquisto gris				216.0	100	69					55°	60°	65°			
217.0							217.13	100	93										
218.0							218.85							65°	70°		Foliación 25° En 218.85 superficies de fricción con 25° y 35°. Estrías con 65°. Piritas por los planos de fricción		
219.0																			
220.0																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro. Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECUBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
221.0			Idem anterior			54	220.64	100	31							55°	50°	55°	
222.0																			
223.0			Esquisto gris (grafitoso) (esg)				223.05									60°	60°		En 222.53 m. superficie de fricción con 55° Estrías con 25° Foliación 30°-55°
224.0			feldespático con esporádicas y pequeñas intercalaciones (< 10%) de esquisto verde. (ev)			55													
225.0			Diaclasas con calcita													55°			En 224.85 m. superficie de fricción con 50° y 55°. Foliación replegada (ensortijada)
226.0							226.03												En 226.0 m. superficies de fricción con 40° y 35°. Foliación con 35° y 20° Agosto 15
227.0							226.95									50°			
228.0																			
229.0																			
230.0																			
231.0							230.72												En 230.28 m. superficies de fricción con 50° y 55°. Estrías con 55°. Foliación con 55° y 60°
232.0							230.85	88	58										En 231.60 m. superficie de fricción con 55°. Estrías 0° Foliación 55° Agosto 20 Caudal 9 l/mín.
233.0																			
234.0			Esquisto verde (ev)				233.80									50°			Foliación replegada
235.0																			
236.0								100	100										
237.0																			
238.0			Esquisto gris (grafitoso cuarzo) feldespático (esg) con calcita y pirita por los planos de foliación				237.45												En 231.9 y 232.28 m. superficies de fricción con 55° y 45°. Estrías con 50°. Foliación replegada (ensortijada) Pirita por los planos de fricción
239.0							238.00												
240.0							239.84												

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 1

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
241.0			Idem anterior					99	82											Foliación 50°- 55°	
242.0			Esquisto verde. Diaclasas selladas, con calcita			59	241.94													Foliación = 40°	
243.0																					
244.0							244.34														
245.0						BX	245.65														
246.0																					Agosto 22
247.0						60		100	91												
248.0							248.65														
249.0						61															
250.0			FIN DEL SONDEO A 250.00 METROS				250.00														

R.Q.D. τ Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

**CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION**

PERFORACION N° MT-2 LOCALIZACION $\begin{cases} N: 085,349,81 \\ E: 901,024,22 \end{cases}$ FECHA INICIACION Junio 15/79 TERMINACION Julio 26/79

INCLINACION Y RUMBO 90° PROFUNDIDAD 150.0 m. COTAS $\begin{cases} SUPERFICIE 1114,15 \\ ROCA 1097,05 \\ FONDO 964,15 \end{cases}$ ROCA $\begin{cases} PERFORADA 132,90 m. \\ RECOBRADA 131,56 m. \\ PORCENTAJE 98,99\% \end{cases}$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.0		##	Suelo residual de esquisto	↑	TR			0	0										Nivel Freático en metros Junio 15 - — + No se midió
2.0		##																	
3.0		##					3.00												
4.0		##	Esquisto verde (clastos) meteorizado y fracturado. Presenta venas y nódulos de calcita. Zonas fracturadas y diaclasas con películas de óxidos de hierro																
5.0	NX							1	0										
6.0																			
7.0																			
8.0																			
9.0																			
10.0																			Junio 16 - — + No se midió
11.0																			
12.0																			
13.0								38	0										
14.0																			
15.0																			
16.0							16.10							80°	20°				Junio 17 - — + 4.00
17.0							17.10												
18.0			Esquisto verde (con nódulos de calcita y calcita por foliación y diaclasas). Esquisto masivo duro, sano					87	71					80°	65°	50°	30°		Foliación poco desarrollada F = 30°
19.0																			
20.0																			

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Índice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c		d
			Idem anterior																
21.0						2	20.70	87	71										
22.0							21.60 22.00												Junio 18 - 4.10 + 4.10
23.0						3		100	70										
24.0																			
25.0							24.70												
26.0																			
27.0						4													
28.0							28.00	92	75										
29.0							28.60												Junio 19 - 4.10 + No se midió
30.0																			
31.0						5	30.90												
32.0							32.10												
33.0														65°	60°	25°			Foliación = 40°
34.0						6	33.90	100	90										Junio 20 - 4.10 + 4.50
35.0																			
36.0														60°					
37.0																			
38.0						7		100	95										
39.0														40°					Foliación = 45°
40.0						8	39.50												

RQD.- Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

**CÓNSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION**

PERFORACION Nº MT - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOC	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES				
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d					
			Idem anterior																				
41.0								100	95														
42.0							41.70										80°	70°	65°		Foliación = 45°		
							42.50														Junio 21 - 4.50 + 4.50		
43.0																							
44.0																							
45.0							44.90										80°					Foliación = 40°	
							45.20															Junio 22 - 4.10 + 5.00	
46.0																							Fracturas mecánicas
47.0																							
48.0							48.20	100	97														Junio 23 - 4.30 + 5.00
49.0																							
50.0																							
51.0							51.35																
							51.75																Junio 25 - 4.50 + 5.00
52.0																							
53.0																	80°						Foliación = 60°
							53.65																Junio 26 - 4.30 + 5.00
54.0																							
55.0							55.10																
56.0																							
57.0							56.70																
58.0																							
							58.60	79	72														Junio 27 - 4.30 + 5.50
59.0																	80°						Foliación = 50°
60.0																							

RQD.- Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
			Idem anterior																		
61.0																					
62.0							61.60 62.20														Julio 6 - 4.50 + No se midió
63.0								79	72												
64.0																					
65.0																					Julio 7 - No se midió + No se midió
66.0							65.80														
67.0																					
68.0								96	76												Foliación = 45° Entre 68.0 y 69.0 m. aumento de venas de calcita y fracturación
69.0							69.35 69.95														
70.0																					Julio 8 - No se midió + No se midió
71.0																					Foliación = 35°
72.0							72.65 72.85														
73.0																					Julio 9 - 4.30 + 4.50
74.0																					
75.0								89	91												
76.0							76.30														
77.0																					
78.0																					
79.0							78.60														
80.0							80.00														En 78.60 y 78.65 m. superficies de fricción con 60° y 75° Estrías 0° Julio 10 - 4.50 + 4.50 Foliación = 60°

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

PROF. METROS	REVESTI-MIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES		
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d			
81.0			Idem anterior																		
82.0						19															
83.0							83.40														
84.0							84.10														
85.0						20															
86.0																					
87.0							86.95														
88.0																					
89.0						21		100	97												
90.0							89.95														
91.0							90.40														Julio 11 - 4.50 + 4.50
92.0																					
93.0																					
94.0							93.90														
95.0																					
96.0						23	95.70														Julio 12 - 4.50 + 4.50
97.0																					
98.0							97.45														
99.0																					
100.0						24															

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
 UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS				DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c		d
			Idem anterior																
101.0							101.00	100	97										
							101.50												Julio 14 - 1.00 + 1.00
102.0																			Foliación = 60°
103.0																			
104.0																			
105.0							104.82	100	91										
106.0							105.65												Julio 16 - 1.00 + 1.00
107.0																			Foliación = 65°
108.0							107.75												
109.0							108.25												Julio 18 - 1.00 + 1.00
110.0																			Foliación = 30°
111.0																			Foliación = 75°
112.0																			
113.0							112.80												Diaclasas con calcita
114.0							114.25	94	90										
115.0																			Diaclasas con calcita Julio 19 - 0.40 + rebosa
116.0							116.34												Foliación = 70°
117.0																			45°
118.0																			30°
119.0																			40°
120.0							119.90												Foliación = 65°

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT-2

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTI-MIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
			Idem anterior																	
121.0								94	90											
122.0							122.15													Julio 20 - rebosa + rebosa
123.0							123.48													
124.0																				
125.0																				
126.0																				Vetas de cuarzo con calcita Foliación = 75°
127.0							127.12													
128.0								100	93											Julio 21 - rebosa + rebosa
129.0																				
130.0																				
131.0							130.65													
132.0							131.35													Diaclasa con calcita Julio 23 - rebosa + rebosa Foliación = 75°
133.0																				
134.0																				
135.0							134.30													
136.0																				
137.0																				
138.0							137.35													
139.0							137.80	100	95											Julio 24 - rebosa + rebosa
140.0																				

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT-3 LOCALIZACION $\begin{cases} N & 1'084.990 \\ E & 898.387 \end{cases}$ FECHA INICIACION Junio 22/79 TERMINACION Agosto 11/79
 INCLINACION Y RUMBO 90° PROFUNDIDAD 100.0 m. COTAS $\begin{cases} SUPERFICIE & 1145 \\ ROCA & 1138 \\ FONDO & 1045 \end{cases}$ $\begin{cases} PERFORADA & 92.70 \text{ m.} \\ RECOBRADA & 67.25 \text{ m.} \\ PORCENTAJE & 72.55\% \end{cases}$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES																											
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d																												
1.0			Esquisto grafitoso cuarzo-feldespático, intensamente meteorizado calcita frecuente a lo largo de los planos de foliación y fisuras de diaclasamiento (esg)	Carmelita verdosa																		Nivel Freático en metros Junio 22 - + 2.00																								
2.0																						Junio 23 - seco + 3.20																								
3.0																																														
4.0																						6 0																								
5.0																																														
6.0																																														
7.0																																														
8.0																						7.30																				Foliación = 45°				
9.0																						8.60																				Junio 25 - seco + No se midió				
10.0																						9.30																				Junio 26 - seco + 6.00				
11.0																							Junio 27 - seco + 6.50																							
12.0																								Julio 9 - seco + 13.30																						
13.0																																														
14.0																																														
15.0			Esquisto gris (grafitoso cuarzo-feldespático de medianamente meteorizado a sano. Calcita por la foliación (esg)	Gris oscura																																										
16.0																									14.80																					
17.0																									16.00																					
18.0																									17.50	41	11																			Foliación = 35° Diaclasas oxidadas por los planos de foliación Julio 10 - seco + 12.10 Se pierde el agua a 19.80 metros
19.0																																														
20.0																																														

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RÍO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MT - 3

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES						
								%	RQD	10	20	30	40	60	a	b	c	d							
41.0	CEMENTO	[Hatched pattern]	Idem anterior	Gris oscura	NX	7	41.90	97	67							5°	40°			Diaclase con calcita Diaclase oxidada, paralela a la foliación					
42.0			42.50																40°	80°			Diaclase cortando la foliación		
43.0			42.72																	40°				Foliación 50° Julio 16 - 23.20 + 33.00	
44.0																				50°				Diaclase abierta con cuarzo y paralela a la foliación	
45.0												49	7							40°				Foliación 40°	
46.0																									
47.0								Esquisto verde calcáreo con vetas delgadas de calcita. Esquisto masivo de foliación escasa. Presenta zonas fracturadas selladas con cuarzo				47.03									60°	65°			Diaclase (60°) con clorita
48.0												48.54									55°				
49.0												49.00									0°				Diaclase con cuarzo en zona fracturada de 0,50 m. El agua se pierde a 49.0 metros
50.0												49.90									60°	45°	0°		Foliación = 45° Julio 17 - No se midió + 32.70
51.0																									
52.0								64	26																
53.0							52.80													Julio 18 - 32.90 + 32.70					
54.0							53.60																		
55.0																20°				Diaclase abierta con calcita y clorita. Julio 19 - + 32.50					
56.0							55.83									40°	80°	15°		Se pierde el agua en 53.0 y 56.0m. En 56.5 m. brecha de esquisto verde sellada con cuarzo En 56,65 m. superficie de fricción con 40°					
57.0																									
58.0																									
59.0			Esquisto gris (grafitos ferropático) laminar con calcita por la foliación				58.50									20°	30°			Julio 20 - No se midió + 32.00 Foliación = 50°					
60.0																									

RQD.- Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MT - 3

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES	
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d		
81.0			Idem anterior																	
82.0						14	81.50	96	67											Agosto 8 - 36.80 + 25.80
83.0							82.90							20°	20°	30°	20°			Diactasas (de 20°) con calcita Foliación = 35°
84.0							84.50													
85.0			Clastos de esquisto verde. Zona intensamente fracturada																	Agosto 9 - 36.60 + 18.40
86.0						15		8	0					0°	40°	35°	80°			
87.0							87.50													
88.0			Esquisto verde con calcita por planos de diaclasa - miento y foliación											80°						Diactasa con cuarzo
89.0				Gris clara	BX															
90.0							89.70 90.17							5°	15°	70°	30°			Diactasa (5°) con calcita Diactasa (15°) con calcita
91.0														50°	0°					Agosto 10 - 36.50 + 21.50
92.0														15°	55°					
93.0						16		97	57											
94.0							93.60							10°	10°	15°				Diactasas (10°) con calcita
95.0							95.08													Agosto 11 - 37.10 + 25.90
96.0														35°						
97.0						17								50°	5°	30°	40°			Foliación = 65° En los últimos 20.00 m. de perforación red de intenso diaclamiento con calcita y cuarzo
98.0																				
99.0																				
100.0							100.0													

FIN DEL SONDEO A 100.0 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"

UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

**CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION**

PERFORACION N° MT-4 LOCALIZACION $\left\{ \begin{array}{l} N \ 11033,920,20 \\ E \ 895,303,78 \end{array} \right.$ FECHA INICIACION Junio 16/79 TERMINACION Agosto 15/79

INCLINACION Y RUMBO 90° PROFUNDIDAD 100,0 mts. COTAS $\left\{ \begin{array}{l} SUPERFICIE \ 1071,19 \\ ROCA \ 1055,80 \\ FONDO \ 971,19 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} PERFORADA \ 94,80 \text{ m.} \\ RECOBRADA \ 93,89 \text{ m.} \\ PORCENTAJE \ 99,04\% \end{array} \right.$

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
1.0		///	Suelo residual de esquisto (Qsr)																Nivel Freático en metros
2.0		///																	Junio 16 - - + 2.10
3.0	NX	///																	
4.0		///																	
4.50		●	Esquisto hornfelsico (eh)			1	4.50	65	0										
4.85		■	Cuarzodiorita meteorizada				4.85	65	65										Junio 17 - 3.00 + 3.00
5.20		■	Cuarzodiorita biotitica ho locristalina de grano grueso, sana, esporadicamente presenta pequeños xenolitos de esquisto hornfelsico (Tcdb)				5.20	86	86										Junio 18 - 3.50 + 3.10
5.60		■					5.60												
5.90		■					5.90												
6.0		■																	
7.0		■																	
7.52		■					7.52	98	96										Junio 19 - 3.80 + 3.50
8.0		■																	
8.33		■					8.33												
8.39		■					8.39												Junio 20 - 3.80 + 3.70
9.0		■																	
9.92		■					9.92							55°					Diaclasa oxidada
10		■																	Dique de cuarzo de 0,10 m.
10.65		■				2	10.65	72	61										Junio 21 no se midió
11.0		■																	Junio 22 - 3.60 + 3.40
12.0		■																	
12.10		■					12.10												
12.20		■					12.20												Junio 23 - 4.00 Julio 4 - 4.00 + 3.50
13.0		■												25°	50°	20°			
13.35		■					13.35												Julio 5 - 3.50 + 3.00
13.71		■					13.71												Xenolito hornfelsico
14.0		■																	Julio 6 - 3.60 + 3.40
15		■						98	96										
15.67		■					15.67												
16.0		■					15.85												Julio 7 - 3.50 + 4.00
17.0		■												50°	55°	35°			Xenolito hornfelsico
18.0		■																	
19.0		■																	
19.32		■				5	19.32												Julio 9 - 3.50 + 3.40
20		■																	

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca."
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0 m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MT - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJAS	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES			
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d				
			Idem anterior																			
21.0																						
22.0																						
23.0							22.94	100	100												Julio 10 - 3.50 + 3.40	
24.0																						
25.0							25.43															
26.0							25.88															Julio 11 No se midió
27.0							26.47															Julio 12 + 3.40
28.0																						
29.0							28.00															
30.0							30.22	97	97													Julio 13 - 3.10 + 3.40
31.0																						
32.0																						
33.0							32.56															
34.0							33.86	100	100													Julio 14 - 3.50 + 3.40
35.0							35.46															
36.0							35.96															
37.0			Dique dacítico (Tdd)				36.69	92	75													Julio 16 - 3.60 + 3.40
38.0			Cuarzodiorita biotítica ho locristalina de grano grueso (Tcdb)				38.24															
39.0								97	87													
40.0																						Julio 17 - 3.50 + 3.40 En 38.90 superficie de fricción con 37°. Estrías con 55°

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION N° MT - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA N°	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES				
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d					
			Idem anterior																				
41.0																							
42.0							41.91										20°	15°	30°	10°			
43.0							43.03															Julio 18 - 3.50 + 3.40	
44.0																							
45.0																	30°					Diadisa con calcita	
46.0								100	98													Fracturación mecánica	
47.0																							
48.0							47.67 48.02																Julio 19 - 3.50 + rebosa
49.0																	25°	50°					Diadisas oxidadas
50.0																							
51.0																							
52.0							52.20 52.70										40°						A 52.75 m. brota agua artesiana
53.0																	48°	45°	20°	45°			Diadisas oxidadas
54.0							53.88	93	74								10°						Julio 21 - rebosa + rebosa
55.0																	35°	40°	38°	10°			En 51.56 m. superfi - cie de fricción con 40° Estrías con 70°
56.0																							Julio 23 Veta de cuarzo con 40° Veta de calcita con 10°
57.0							55.92										45°						Desde el 19 de Julio en la tarde el pozo re - bosa el agua continua - mente
58.0								100	98														
59.0																							
60.0							59.75																Julio 24

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

CONSORCIO RIO LA MIEL
REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACION Nº MT - 4

PROYECTO MIEL II

PROF. METROS	REVESTIMIENTO	ESTRATOS	DESCRIPCION	AGUA	BROCA	CAJA Nº	PROFUNDIDAD METROS	RECOBRO		ENSAYOS DE PRESION LUGEONS					DIACLASAS BUZAMIENTO CON LA VERTICAL				OBSERVACIONES
								%	R.Q.D.	10	20	30	40	60	a	b	c	d	
			Idem anterior				80.21												Agosto 10
81.0																			
82.0																			
83.0																			
84.0							83.40												Agosto 11
85.0																			Diaclasas cerradas
86.0																			
87.0							87.08												Agosto 12
88.0																			
89.0							88.66	100	97					45°	35°				Diaclasa (45°) abierta, con cuarzo. En 89.99 superficie de fricción con 35°. Estrías con 85° (con clorita y calcita)
90.0																			Estrías con 85°
91.0							90.35							50°	45°	40°			Agosto 13
92.0														35°					
93.0							93.17							45°					Abierta, con calcita. En 93.14 m. superficie de fricción con 35°. Estrías con 85°
94.0														50°	40°	40°			
95.0							94.65							30°	40°				Agosto 14
96.0														50°					
97.0														30°	30°	30°			Veta de calcita
98.0							97.75							37°	50°	35°	35°		Diaclasas (35°) con clacita y clorita
99.0																			Agosto 15
100.0							100.0												

FIN DEL SONDEO A 100.0 METROS

R.Q.D. - Rock Quality Designation "Indice de Calidad de Roca"
UNIDAD LUGEON - Toma de litros a 10K/cm² en tramo de 1.0m en diámetro Nx.

A N E X O 4

ENSAYOS DE AGUA A PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II

ENSAYOS DE AGUA A PRESION - RESUMEN DE ABSORCIONES DE AGUA

Sondeo	Prof. Total m	Sector Investigado m	Número de casos de absorciones y % de recurrencia										No. de casos
			≤ 1 UL		1 - 5 UL		5 - 10 UL		10 - 50 UL		> 50 UL		
			No. de casos	%	No. de casos	%	No. de casos	%	No. de casos	%	No. de casos	%	
<u>ESTRIBO IZQUIERDO</u>													
MS-1	150.0	6.4 - 149.0	27	56.2	12	25.0	2	4.2	4	8.4	3	6.2	48
MS-2	80.0	3.4 - 78.0	20	80.0	4	16.0	1	4.0	-	-	-	-	25
		Total	47	64.4	16	21.9	3	4.1	4	5.5	3	4.1	73
<u>ESTRIBO DERECHO</u>													
MS-4	65.0	7.7 - 64.7	11	57.9	8	42.1	-	-	-	-	-	-	19
MS-5	50.0	1.7 - 49.7	10	62.5	4	25.0	-	-	2	12.5	-	-	16
MS-6	40.0	14.0 - 38.0	4	50.0	3	37.5	-	-	1	12.5	-	-	8
		Total	25	58.1	15	34.9	-	-	3	7.0	-	-	43

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39.3 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5/79

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
6.4- 9.4	NX		9.00	0	0.66	> 100	A1
9.4-12.4	NX		1.67	0.58	1.45	11.6	D1
			1.83	1.16	2.03		
			3.33	2.32	3.19		
			1.77	1.16	2.03		
			1.32	0.58	1.45		
12.4-15.4	NX		9.00	0	1.08	80.0	A1
15.4-18.4	NX		0	0.95	2.25	0	N
			0	1.90	3.20		
			0	3.80	5.10		
			0	1.90	3.20		
			0	0.95	2.25		
18.4-21.4	NX		9.00	0	1.51	60.0	A1
21.4-24.4	NX		5.83	1.32	2.83	10.8	T
			8.13	2.64	4.15		
			9.33	5.27	6.78		
			8.03	2.64	4.15		
			5.84	1.32	2.83		
24.4-27.4	NX		0	1.50	3.22	0	N
			0	3.00	4.72		
			0	6.00	7.72		
			0	3.00	4.72		
			0	1.50	3.22		

OBSERVACIONES: Revestimiento NX de 0.0 a 3.50 metros
De 3.50 a 6.50 metros no obtuvo el permeametro

TIPO DE FLUJO: L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39.30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L1/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
27.4-30.4	NX		2.42	1.69	3.62	6.0	D2
			3.22	3.38	5.31		
			5.17	6.75	8.68		
			3.62	3.38	5.31		
			2.68	1.69	3.62		
30.4-33.4	NX		1.41	1.87	4.01	4.1	D2
			1.86	3.77	5.91		
			3.92	7.48	9.62		
			2.07	3.77	5.91		
			1.62	1.87	4.01		
33.4-36.4	BX		9.00	0.70	3.25	25.0	A1
35.0-38.0	BX		9.00	1.76	4.50	20.0	A1
38.0-41.0	BX		2.08	2.34	5.40	6.7	L2
			4.11	4.68	7.74		
			8.48	9.35	12.41		
			6.10	4.68	7.74		
			4.74	2.34	5.40		
41.0-44.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
44.0-47.0	BX		0.96	2.46	5.52	1.4	L1
			1.24	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39,30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			1.59	9.85	12.91		
			0.70	4.93	7.99		
			0.26	2.46	5.52		
47.0-50.0	BX		1.13	2.46	5.52	1.90	D1
			1.50	4.93	7.99		
			2.58	9.85	12.91		
			1.39	4.93	7.99		
			0.93	2.46	5.52		
50.0-53.0	BX		0.07	2.46	5.52	0.25	D2
			0.09	4.93	7.99		
			0.39	9.85	12.91		
			0.20	4.93	7.99		
			0.11	2.46	5.52		
53.0-56.0	BX		0.02	2.46	5.52	0.2	T2
			0.14	4.93	7.99		
			0.25	9.85	12.91		
			0.19	4.93	7.99		
			0.09	2.46	5.52		
56.0-59.-	BX		0.22	2.46	5.52	1.4	T2
			0.93	4.93	7.99		
			1.74	9.85	12.91		
			1.28	4.93	7.99		
			0.57	2.46	5.52		
59.0-62.0	BX		0.01	2.46	5.52	1.6	L2
			0.80	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39.30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			2.42	9.85	12.91		
			1.13	4.93	7.99		
			0.46	2.46	5.52		
62.0-65.0	BX		0	2.46	5.52	0.45	D2
			0.17	4.93	7.99		
			0.82	9.85	12.91		
			0.29	4.93	7.99		
			0.12	2.46	5.52		
65.0-68.0	BX		1.68	2.46	5.52	4.8	L2
			3.25	4.93	7.99		
			6.58	9.85	12.91		
			3.96	4.93	7.99		
			2.22	2.46	5.52		
68.-71.0	BX		0.04	2.46	5.52	0.33	T2
			0.23	4.93	7.99		
			0.44	9.85	12.91		
			0.27	4.93	7.99		
			0.11	2.46	5.52		
71.0-74.0	BX		1.99	2.46	5.52	4.6	D2
			3.13	4.93	7.99		
			6.57	9.85	12.91		
			3.54	4.93	7.99		
			2.26	2.46	5.52		
74.0-77.0	BX		0.22	2.46	5.52	1.9	D2
			0.72	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación
 HOJA 4 DE 9

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39.30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L1/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			3.21	9.85	12.91		
			1.24	4.93	7.99		
			0.57	2.46	5.52		
77.0-80.0	BX		0.46	2.46	5.52	3.50	D2
			0.71	4.93	7.99		
			5.63	9.85	12.91		
			2.71	4.93	7.99		
			1.19	2.46	5.52		
80.-83.0	BX		0.31	2.46	5.52	4.0	D2
			1.29	4.93	7.99		
			5.28	9.85	12.91		
			3.55	4.93	7.99		
			0.94	2.46	5.52		
83.0-86.0	BX		0	2.46	5.52	1.1	D2
			0	4.93	7.99		
			1.70	9.85	12.91		
			0.75	4.93	7.99		
			0.45	2.46	5.52		
86.0-89.0	BX		0.98	2.46	5.52	3.5	D2
			1.51	4.93	7.99		
			4.65	9.85	12.91		
			3.10	4.93	7.99		
			2.21	2.46	5.52		
89.0-92.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO 39.30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
92.0-95.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
95.0-98.0	BX		0	2.46	5.52	0.17	N
			0	4.93	7.99		
			0.22	9.85	12.91		
			0.14	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
98.0-101.0	BX		0	2.46	5.52	0.10	N
			0	4.93	7.99		
			0.19	9.85	12.91		
			0.05	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
101.0-104.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
104.0-107.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RÍO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREÁTICO 39.30 metros
 FECHA Marzo 28 a Abril 5 de 1979

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
107.0-110.0	BX		0	2.46	5.52	0	N
			0	4.93	7.99		
			0	9.85	12.91		
			0	4.93	7.99		
			0	2.46	5.52		
110.0-113.0	BX		0.07	2.46	5.52	0.5	D2
			0.30	4.93	7.99		
			1.27	9.85	12.91		
			0.39	4.93	7.99		
			0.11	2.46	5.52		
113.0-116.0	BX		0.10	2.46	5.52	0.72	T
			0.59	4.93	7.99		
			0.92	9.85	12.91		
			0.58	4.93	7.99		
			0.10	2.46	5.52		
116.0-119.0	BX		0	2.46	5.52	0.37	D2
			0	4.93	7.99		
			0.43	9.85	12.91		
			0.30	4.93	7.99		
			0.23	2.46	5.52		
119.0-122.0	BX		0.20	2.46	5.52	0.7	D2
			0.36	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

HOJA 7 DE 9

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA REBOSADERO - PRESA
 NIVEL FREATICO _____
 FECHA _____

SONDEO MS - 1
 INCLINACION 45° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
			1.13	9.85	12.91		
			0.43	4.93	7.99		
			0.24	2.46	5.52		
122.0-125.0	BX		0.11	2.46	5.52	0.66	D
			0.33	4.93	7.99		
			1.15	9.85	12.91		
			0.34	4.93	7.99		
			0.12	2.46	5.52		
125.0-128.0	BX		0.15	2.46	5.52	0.69	D
			0.28	4.93	7.99		
			1.29	9.85	12.91		
			0.30	4.93	7.99		
			0.18	2.46	5.52		
128.0-131.0	BX		0.14	2.46	5.52	0.70	D
			0.27	4.93	7.99		
			1.33	9.85	12.91		
			0.28	4.93	7.99		
			0.14	2.46	5.52		
131.0-134.0	BX		0.06	2.46	5.52	0.43	D2
			0.20	4.93	7.99		
			0.71	9.85	12.91		
			0.29	4.93	7.99		
			0.14	2.46	5.52		
134.-137.0	BX		0.01	2.46	5.52	0.27	L
			0.18	4.93	7.99		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 14.00 metros
 FECHA Mayo 20 - 22/79

SONDEO MS - 2
 INCLINACION 30° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
3.4- 6.4	NX		0	0.21	0.88	0	N
			0	0.42	1.09		
			0	0.84	1.51		
			0	0.42	1.09		
			0	0.21	0.88		
6.4- 9.4	BX		0	0.39	1.32	0	N
			0	0.79	1.72		
			0	1.58	2.51		
			0	0.79	1.72		
			0	0.39	1.32		
9.0-12.0	BX		0	0.56	1.54	0.2	N
			0.05	1.11	2.09		
			0.06	2.22	3.20		
			0.02	1.11	2.09		
			0	0.56	1.54		
12.0-15.0	BX		0	0.74	1.95	1.2	L
			0.09	1.48	2.69		
			0.32	2.95	4.16		
			0.09	1.48	2.69		
			0	0.74	1.95		
15.0-18.0	BX		2.72	0.92	2.20	9.6	D2
			3.40	1.85	3.13		
			4.78	3.69	4.97		
			2.29	1.85	3.13		
			1.55	0.92	2.20		

OBSERVACIONES: Revestimiento NX : 0.0 - 3.4 metros

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 14,0 metros
 FECHA Mayo 20 - 22/79

SONDEO MS - 2
 INCLINACION 30° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L1/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
18.0-21.0	BX		0.12	1.11	2.39	1.1	T1
			0.39	2.22	3.50		
			0.60	4.43	5.71		
			0.30	2.22	3.50		
			0.05	1.11	2.39		
21.0-24.0	BX		0.07	1.29	2.57	0.35	T1
			0.14	2.59	3.87		
			0.21	5.17	6.45		
			0.10	2.59	3.87		
			0	1.29	2.57		
24.0-27.0	BX		0	1.48	2.76	0	N
			0	2.95	4.23		
			0	5.91	7.19		
			0	2.95	4.23		
			0	1.48	2.76		
27.0-30.0	BX		0	1.66	2.94	0	N
			0	3.32	4.60		
			0	6.64	7.92		
			0	3.32	4.60		
			0	1.66	2.94		
30.0-33.0	BX		0	1.84	3.12	0.16	N
			0.06	3.69	4.97		
			0.13	7.38	8.66		
			0.06	3.69	4.97		
			0	1.84	3.12		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 14.0 metros
 FECHA Mayo 20 a 22 de 1979

SONDEO MS - 2
 INCLINACION 30° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L1/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
33.0-36.0	BX		0.12	2.03	3.31	0.8	D2
			0.23	4.07	5.35		
			0.73	8.12	9.40		
			0.33	4.07	5.35		
			0.17	2.03	3.31		
36.0-39.0	BX		0	2.22	3.50	0.10	N
			0.03	4.43	5.71		
			0.10	8.86	10.14		
			0.01	4.43	5.71		
			0	2.22	3.50		
39.0-42.0	BX		0.07	2.40	3.68	0.25	L
			0.13	4.80	6.08		
			0.28	9.60	10.88		
			0.16	4.80	6.08		
			0.10	2.40	3.68		
42.0-45.0	BX		0.77	2.46	3.68	1.8	D2
			1.07	4.92	6.08		
			1.96	9.85	10.88		
			1.11	4.92	6.08		
			0.86	2.46	3.68		
45.0-48.0	BX		0.39	2.46	3.68	0.65	D1
			0.46	4.92	6.08		
			0.70	9.85	10.88		
			0.38	4.92	6.08		
			0.24	2.46	3.68		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 14.00 metros
 FECHA Mayo 20 - 22/79

SONDEO MS - 2
 INCLINACION 30° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
48.0-51.0	BX		0.41	2.46	3.68	0.9	T
			0.69	4.92	6.08		
			0.96	9.85	10.88		
			0.69	4.92	6.08		
			0.41	2.46	3.68		
51.0-54.0	BX		0.15	2.46	3.68	0.53	L
			0.32	4.92	6.08		
			0.59	9.85	10.88		
			0.31	4.92	6.08		
			0.15	2.46	3.68		
54.0-57.0	BX		0.09	2.46	3.68	0.22	L
			0.13	4.92	6.08		
			0.24	9.85	10.88		
			0.13	4.92	6.08		
			0.09	2.46	3.68		
57.0-60.0	BX		0	2.46	3.68	0.07	N
			0.08	4.92	6.08		
			0.08	9.85	10.88		
			0	4.92	6.08		
			0	2.46	3.68		
60.0-63.0	BX		0	2.46	3.68	0	N
			0	4.92	6.08		
			0	9.85	10.88		
			0	4.92	6.08		
			0	2.46	3.68		

OBSERVACIONES :

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 14.00 metros
 FECHA Mayo 20 - 22/79

SONDEO MS - 2
 INCLINACION 30° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L1/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
63.0-66.0	BX		0.27	2.46	3.68	0.65	L
			0.41	4.92	6.08		
			0.73	9.85	10.88		
			0.39	4.92	6.08		
			0.23	2.46	3.68		
66.0-69.0	BX		0	2.46	3.68	0.23	L2
			0.08	4.92	6.08		
			0.27	9.85	10.88		
			0.14	4.92	6.08		
			0.07	2.46	3.68		
69.0-72.0	BX		1.33	2.46	3.68	2.5	L1
			1.83	4.92	6.08		
			2.71	9.85	10.88		
			1.43	4.92	6.08		
			0.85	2.46	3.68		
72.0-75.0	BX		0	2.46	3.68	0.05	N
			0	4.92	6.08		
			0.05	9.85	10.88		
			0	4.92	6.08		
			0	2.46	3.68		
75.0-78.0	BX		0	2.46	3.68	0	N
			0	4.92	6.08		
			0	9.85	10.88		
			0	4.92	6.08		
			0	2.46	3.68		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO Variable
 FECHA Febrero 15 a Febrero 19 de 1979

SONDEO MS - 4
 INCLINACION ∇ RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
7.7-10.7	NX	11.5	0	0.48	1.67	0	N
			0	0.96	2.15		
			0	1.92	3.11		
			0	0.96	2.15		
			0	0.48	1.67		
10.7-13.7	NX	11.5	0.17	0.67	2.09	0.40	L
			0.19	1.34	2.76		
			0.23	2.67	4.09		
			0.18	1.34	2.76		
			0.16	0.67	2.09		
13.7-16.7	NX	11.5	0.13	0.85	2.27	0.42	L
			0.15	1.71	3.13		
			0.23	3.42	4.84		
			0.17	1.71	3.13		
			0.14	0.85	2.27		
16.7-19.7	NX	11.5	0.02	1.04	2.46	0.14	L
			0.04	2.08	3.50		
			0.07	4.16	5.58		
			0.04	2.08	3.50		
			0.02	1.04	2.46		
19.7-22.7	NX	11.5	0.16	1.23	2.65	0.28	L
			0.18	2.46	3.88		
			0.22	4.92	6.34		
			0.18	2.46	3.88		
			0.16	1.23	2.65		

OBSERVACIONES: Revestimiento NX 0.0 - 3.0
Entre 3.0 y 7.7 metros no se pudo obturar el permeametro

TIPO DE FLUJO: L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación
 HOJA 1 DE 4

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO Variable
 FECHA Febrero 15 a Febrero 19 de 1979

SONDEO MS - 4
 INCLINACION ∇ RUMBO
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL L/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
22.7-25.7	NX	11.5	0.09	1.42	2.84	0.25	L
			0.12	2.84	4.26		
			0.18	5.68	7.10		
			0.12	2.84	4.26		
			0.09	1.42	2.84		
25.7-28.7	NX	12.0	0.12	1.61	3.08	0.28	L
			0.16	3.21	4.68		
			0.23	6.42	7.89		
			0.15	3.21	4.68		
			0.11	1.61	3.08		
28.7-31.7	NX	12.0	0.14	1.79	3.26	0.22	L
			0.18	3.58	5.05		
			0.21	7.17	8.64		
			0.16	3.58	5.05		
			0.13	1.79	3.26		
31.7-34.7	NX	12.0	0.12	1.98	3.45	0.23	L
			0.16	3.96	5.43		
			0.22	7.92	9.39		
			0.17	3.96	5.43		
			0.13	1.98	3.45		
34.7-37.7	NX	12.0	0.12	2.16	3.63	0.19	L
			0.14	4.33	5.80		
			0.19	8.67	10.14		
			0.13	4.33	5.80		
			0.10	2.16	3.63		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO Variable
 FECHA Febrero 15 a Febrero 19 de 1979

SONDEO MS - 4
 INCLINACION V RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
37.7-40.7	NX	11.2	1.01	2.37	3.76	1.6	T1
			1.27	4.74	6.13		
			1.67	9.49	10.88		
			1.00	4.74	6.13		
			0.49	2.37	3.76		
40.7-43.7	NX	11.2	1.11	2.50	3.89	1.7	T1
			1.50	5.00	6.39		
			1.75	10.00	11.39		
			1.13	5.00	6.39		
			0.66	2.50	3.89		
43.7-46.7	NX	11.2	1.11	2.50	3.89	1.7	T1
			1.41	5.00	6.39		
			1.82	10.00	11.39		
			1.15	5.00	6.39		
			0.73	2.50	3.89		
46.7-49.7	NX	11.2	1.11	2.50	3.89	1.7	T1
			1.51	5.00	6.39		
			1.85	10.00	11.39		
			1.16	5.00	6.39		
			0.65	2.50	3.89		
49.7-52.7	NX	11.2	0.73	2.50	3.89	1.4	T
			1.09	5.00	6.39		
			1.53	10.00	11.39		
			1.07	5.00	6.39		
			0.74	2.50	3.89		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO Variable
 FECHA Febrero 15 a Febrero 19 de 1979

SONDEO MS - 4
 INCLINACION ✓ RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
52.7-55.7	NX	11.2	1.05	2.50	3.89	1.6	T
			1.38	5.00	6.39		
			1.73	10.00	11.39		
			1.37	5.00	6.39		
			1.01	2.50	3.89		
55.7-58.7	NX	11.2	0.96	2.50	3.89	1.6	T
			1.29	5.00	6.39		
			1.71	10.00	11.39		
			1.33	5.00	6.39		
			0.98	2.50	3.89		
58.7-61.7	NX	11.2	1.08	2.50	3.89	1.35	T1
			1.24	5.00	6.39		
			1.41	10.00	11.39		
			1.10	5.00	6.39		
			0.83	2.50	3.89		
61.7-64.7	NX	11.2	0	2.50	3.89	0.42	D1
			0.09	5.00	6.39		
			0.56	10.00	11.39		
			0.03	5.00	6.39		
			0	2.50	3.89		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 5.10 metros
 FECHA Marzo 17 a 20 de 1979

SONDEO MS - 5
 INCLINACION ∇ RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
1.7- 4.7	NX		0	0.11	0.73	1.7	L
			0	0.21	0.83		
			0.12	0.42	1.04		
			0	0.21	0.83		
			0	0.11	0.73		
4.7- 7.7	NX		0	0.29	1.10	1.2	L
			0	0.58	1.39		
			0.10	1.17	1.98		
			0	0.58	1.39		
			0	0.29	1.10		
7.7-10.7	NX		0	0.48	1.29	0	N
			0	0.96	1.77		
			0	1.92	2.73		
			0	0.96	1.77		
			0	0.48	1.29		
10.7-13.7	NX		0	0.67	1.48	0	N
			0	1.34	2.15		
			0	2.67	3.48		
			0	1.34	2.15		
			0	0.67	1.48		
13.7-16.7	NX		0	0.85	1.66	0	N
			0	1.71	2.52		
			0	3.42	4.23		
			0	1.71	2.52		
			0	0.85	1.66		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 5.10 meto
 FECHA _____

SONDEO MS - 5
 INCLINACION _____ RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
16.7-19.7	NX		0	1.04	1.85	0	N
			0	2.08	2.89		
			0	4.17	4.98		
			0	2.08	2.89		
			0	1.04	1.85		
19.7-22.7	NX		0	1.23	2.04	1.05	D2
			0	2.46	3.27		
			0.60	4.92	5.73		
			0.42	2.46	3.27		
			0.35	1.23	2.04		
22.7-25.7	NX		0	1.42	2.23	0.70	D2
			0	2.84	3.65		
			0.37	5.67	6.48		
			0.10	2.84	3.65		
			0	1.42	2.23		
25.7-28.7	NX		0.05	1.60	2.41	0.85	D2
			0.10	3.21	4.02		
			0.65	6.42	7.23		
			0.50	3.21	4.02		
			0.23	1.60	2.41		
28.7-31.7	NX		6.10	1.79	2.60	14.5	T
			8.83	3.58	4.39		
			12.47	7.17	7.98		
			8.40	3.58	4.39		
			6.01	1.79	2.60		

OBSERVACIONES: Agua de perforación perdida entre 28.8 y 30.0 metros

TIPO DE FLUJO: L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA FRESA
 NIVEL FREATICO 5.10 metros
 FECHA Marzo 17 a 20 de 1979

SONDEO MS - 5
 INCLINACION ∇ RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
31.7-34.7			0	1.98	2.79	0.3	L
			0	3.96	4.77		
			0.23	7.92	8.73		
			0	3.96	4.77		
			0	1.98	2.79		
34.7-37.7			0.10	2.16	2.97	0.6	T1
			0.31	4.33	5.14		
			0.56	8.67	9.48		
			0.23	4.33	5.14		
			0	2.16	2.97		
37.7-40.7			3.42	2.35	3.16	10.1	L1
			5.71	4.71	5.52		
			10.11	9.42	10.23		
			5.03	4.71	5.52		
			2.30	2.35	3.16		
40.7-43.7			0.28	2.50	3.31	1.1	D1
			0.55	5.00	5.81		
			1.23	10.00	10.81		
			0.34	5.00	5.81		
			0.11	2.50	3.31		
43.7-46.7			0.08	2.50	3.31	0.45	L
			0.23	5.00	5.81		
			0.50	10.00	10.81		
			0.23	5.00	5.81		
			0.08	2.50	3.31		

OBSERVACIONES: Agua de perforación perdida entre 38.5 y 40.7 metros

TIPO DE FLUJO: L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 12.00 metros
 FECHA Abril 26 y 27 de 1979

SONDEO MS - 6
 INCLINACION 43° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE _____ ROCA _____

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
14.0-17.0	BX		3.27	0.86	1.88	12.0	T1
			4.55	1.72	2.74		
			5.98	3.44	4.46		
			2.96	1.72	2.74		
			0.80	0.86	1.88		
17.0-20.0	BX		1.00	1.05	2.07	2.5	D1
			1.12	2.11	3.13		
			1.45	4.22	5.24		
			0.70	2.11	3.13		
			0.57	1.05	2.07		
20.0-23.0	BX		0.87	1.23	2.25	1.7	L
			1.00	2.46	3.48		
			1.25	4.92	5.94		
			0.97	2.46	3.48		
			0.83	1.23	2.25		
23.0-26.0	BX		0.56	1.41	2.43	1.5	L1
			0.75	2.83	3.85		
			1.06	5.66	6.68		
			0.62	2.83	3.85		
			0.39	1.41	2.43		
26.0-29.0	BX		0.33	1.60	2.62	0.8	T1
			0.52	3.20	4.22		
			0.65	6.40	7.42		
			0.35	3.20	4.22		
			0.15	1.60	2.62		

OBSERVACIONES: 0.0 a 14.0 metros revestimiento Bx. Nivel de roca a 13.5 metros

TIPO DE FLUJO: L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación

CONSORCIO RIO LA MIEL

ENSAYO DE AGUA PRESION - RESUMEN DE RESULTADOS

PROYECTO MIEL II
 ZONA PRESA
 NIVEL FREATICO 12.00 metros
 FECHA Abril 26 y 27 de 1979

SONDEO MS - 6
 INCLINACION 43° RUMBO _____
 COTAS SUPERFICIE ROCA

PROFUNDIDAD m.	DIAMETRO	PROF. N. F.	CAUDAL Lt/Min/m	PRESION MANOMETRICA Kg/cm ²	PRESION NETA Kg/cm ²	PERMEABILIDAD UNIDAD LUGEON	TIPO DE FLUJO
29.0-32.0	BX		0.37	1.78	2.80	0.9	T1
			0.60	3.57	4.59		
			0.80	7.14	8.16		
			0.47	3.57	4.59		
			0.25	1.78	2.80		
32.0-35.0	BX		0.28	1.97	2.99	0.65	T1
			0.43	3.94	4.96		
			0.59	7.88	8.90		
			0.34	3.94	4.96		
			0.19	1.97	2.99		
35.0-38.0	BX		0.24	2.15	3.17	0.6	T1
			0.41	4.31	5.33		
			0.58	8.61	9.63		
			0.30	4.31	5.33		
			0.11	2.15	3.17		

OBSERVACIONES : _____

TIPO DE FLUJO : L - Darcy (Laminar) I - Intermedio N - Absorción nula
 T - Chezy (Turbulento) A - Anormal
 D - De Deformación
 HOJA 2 DE 2

proyecto miel II volumen III

apendice d
sismología

CAPTULO		
1	INTRODUCCION	D-1
2	RECOPIACION, CORRECCION Y ACTUALIZACION DE DATOS	D-1
3	MAPA SISMO-TECTONICO	D-2
4	PUNTES DE SISMICIDAD	D-3
5	DETERMINACION DE LA MAGNITUD MAXIMA PARA CADA FUENTE	
	5.1 Estudio Estadístico	D-3
	5.2 Sistema de Fallas Romeral-Casca	D-3
	5.3 Sistema de Fallas Salinas-Cambao	D-3
	5.4 Falla de Palestina	D-3
	5.5 Fallas de Jitudo y Mulato	D-4
6	DETERMINACION DE LA ACELERACION MAXIMA EN LA ZONA DEL PROYECTO	D-4

A P E N D I C E D

I N D I C E

CAPITULO		PAGINA
1	INTRODUCCION	D-1
2	RECOPIACION, CORRECCION Y ACTUALIZACION DE DATOS	D-1
3	MAPA SISMO-TECTONICO	D-2
4	FUENTES DE SISMICIDAD	D-2
5	DETERMINACION DE LA MAGNITUD MAXIMA PARA CADA FUENTE	
	5.1 Estudio Estadístico	D-2
	5.2 Sistema de Fallas Romeral-Cauca	D-2
	5.3 Sistema de Fallas Salinas-Cambao	D-3
	5.4 Falla de Palestina	D-3
	5.5 Fallas de Jetudo y Mulato	D-4
6	DETERMINACION DE LA ACELERACION MAXIMA EN LA ZONA DEL PROYECTO	D-4

APENDICE D

CUADROS

- D-1 Fuentes Sismo-Tectónicas Relacionadas con el Proyecto Miel II.
- D-2 Terremotos Ocurridos de 1935 a 1977 - Falla Romeral-Cauca.
- D-3 Tasa Media de Ocurrencia y Período de Retorno de Terremotos-Falla Romeral-Cauca.
- D-4 Terremotos Asociados con la Falla de Palestina sin Confirmación en el Campo.
- D-5 Aceleraciones Máximas Esperadas en el Proyecto Miel II para un Período de Retorno de 100 Años.

APENDICE D

FIGURAS

- D - 1 Miel II Mapa Sísmico.
- D - 2 Falla Romeral-Cauca. Curva de Recurrencia.
- D - 3 Falla Salinas-Cambao. Curva de Recurrencia.

APENDICE D

SISMOLOGIA

1. INTRODUCCION

Los estudios sísmológicos para el Proyecto Miel II se basaron en los realizados previamente para el Proyecto Miel I, los cuales se encuentran consignados en los informes: "Desarrollo Hidroeléctrico de la Hoya del Río La Miel y Hoyas Vecinas - Etapa B - Informe de Sismología" - Noviembre 1978 y "Desarrollo Hidroeléctrico del Río La Miel - Informe de Factibilidad Técnica - Proyecto Miel I - Volumen III - Apéndice D - Sismología" - Junio de 1979, presentados por el Consorcio en las fechas mencionadas.

Para el presente estudio se utilizaron los análisis efectuados en los estudios mencionados anteriormente y se determinó la aceleración máxima para la zona del Proyecto Miel II ubicada aproximadamente 30 km al Sureste del Proyecto Miel I.

A continuación se presenta una síntesis de los estudios realizados y de la metodología empleada.

2. RECOPIACION, CORRECCION Y ACTUALIZACION DE DATOS

En el estudio "Historia de los Terremotos en Colombia", se encuentra un listado de los terremotos ocurridos hasta principios de 1973. Se procedió a actualizar el listado para lo cual se contó con la colaboración del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos de la Universidad Javeriana.

Los datos mencionados anteriormente se confrontaron con los suministrados al Consorcio por la Weston Geophysical Corporation y se complementaron y corrigieron los posibles errores en magnitud, localización y fecha.

3. MAPA SISMO-TECTONICO

En la Figura D-1 se muestra el mapa sismo-tectónico de la zona del proyecto en el cual se pueden observar las fallas más importantes de la región. Se demarcó la zona de influencia del proyecto y en ella se localizaron los terremotos seleccionados, clasificados según magnitud Richter, profundidad en kilómetros y año de ocurrencia.

4. FUENTES DE SISMICIDAD

En el mapa sismo-tectónico se presentan las fuentes de sismicidad seleccionadas que, como puede observarse en la Figura D-1, agrupan la mayoría de los epicentros detectados en la zona del proyecto.

Las cuatro principales fuentes probables de sismicidad que se pueden relacionar con el proyecto Miel II, sus vinculaciones con una o varias fallas, las longitudes visibles de ruptura y la distancia de estas al sitio de presa se indican en el Cuadro D-1.

5. DETERMINACION DE LA MAGNITUD MAXIMA PARA CADA FUENTE

5.1 Estudio Estadístico

Con los datos recopilados, los cuales se presentan en el Cuadro D-2, se realizó el estudio estadístico según el método utilizado por Stepp.

Los terremotos ocurridos en cada fuente se agruparon en cuatro intervalos de magnitud, dándole a cada intervalo mayor o menor credibilidad según el período de observación. Se escogió el período que fuese más significativo. Para cada uno de los períodos se determinó, por métodos gráficos, la tasa media de ocurrencia para cada magnitud y con estos valores se elaboraron, utilizando la fórmula propuesta por Gutenberg-Richter, las curvas de recurrencia para las distintas fuentes de sismicidad.

5.2 Sistema de Fallas Romeral-Cauca

Aunque el sistema de fallas Romeral-Cauca es el más alejado del si

tio del proyecto como se muestra en la Figura D-1 y en el Cuadro D-1, es la fuente de mayor sismicidad de la zona y se han detectado terremotos de magnitudes hasta de $M=7.0$ (Magnitud Richter) como el registrado en Manizales en 1938.

En el Cuadro D-3 aparecen los valores obtenidos al ajustar los datos de las tasas de ocurrencia media por el método de los mínimos cuadrados; también aparece el período de retorno para cada magnitud, seleccionándose como magnitud máxima para efectos de diseño $M=7.0$ con un período de retorno de aproximadamente 100 años. En la Figura D-2 se muestra la curva de recurrencia de la falla Romeral-Cauca.

5.3 Sistema de Fallas Salinas-Cambao

La determinación de la magnitud máxima para este sistema de fallas se hizo de la manera descrita anteriormente, obteniéndose los resultados que se presentan en la Figura D-3. Con la curva de recurrencia para esta fuente se obtuvo una magnitud máxima $M=6.7$ cuyo período de retorno es de 100 años.

5.4 Falla de Palestina

La falla de Palestina tiene un rumbo aproximado de $N15^{\circ}E$ y puede seguirse por unos 300 km a lo largo del flanco oriental de la Cordillera Central. La separación de la falla Otú en el sitio donde está desplazada por la de Palestina, es de dirección dextralateral en un total de 27.7 km.

Parece que la falla de Palestina se encuentra inactiva desde el Terciario, teoría que está respaldada por los estudios realizados por los consultores Woodward Clyde, Castrillón y Londoño, 1978, que califican de "probablemente inactiva" o "inactiva" a la falla de Palestina. Sin embargo en las exploraciones adelantadas para el proyecto se encontraron fallas normales que afectan el Cuaternario, cuyas características se describen en el Apéndice C - Geología.

En el Cuadro D-4 se citan algunos de los terremotos que podrían asociarse con la falla de Palestina.

5.5 Fallas de Jetudo y Mulato

Las fallas de Jetudo y Mulato se trataron simultáneamente teniendo en cuenta que la intersección de las dos fallas en su tramo visible, se encuentra muy cerca del Proyecto Miel II, como se muestra en la Figura D-1.

En el trabajo realizado por Woodward Clyde se clasifican las dos fallas como "probablemente activas" o "activas". A la falla de Jetudo, con una longitud de 40 km se le podrían relacionar por fórmulas empíricas movimientos rápidos con una longitud máxima de ruptura de 20 km aproximadamente, que podrían generar un terremoto de magnitud entre 5.0 y 7.0. Dada la moderada sismicidad alrededor de esta falla, se supuso un terremoto de magnitud máxima de 6.0 grados.

6. DETERMINACION DE LA ACELERACION MAXIMA EN LA ZONA DEL PROYECTO

Como se indicó anteriormente, para el Proyecto Miel II se utilizaron la metodología y los estudios previos efectuados para Miel I; por lo tanto se adoptó la fórmula de Kanay para determinar la aceleración máxima en la zona del proyecto, en dicha fórmula se utilizan como parámetros la distancia a la falla, la Magnitud Richter y el período natural del terreno.

En el Cuadro D-5 se presentan los resultados del análisis, y la aceleración máxima determinada del orden de 0.3 g para período de 0.25 segundos.

Para Miel II se adoptaron valores de aceleración de 0.25 g para la componente horizontal y 0.15 g para la componente vertical, estos valores son iguales a los adoptados para Miel I.

cuadros

CUADRO D-1

FUENTES SISMO-TECTONICAS
RELACIONADAS CON EL PROYECTO MIEL II

<u>FUENTE</u>	<u>Longitud km</u>	<u>Distancia en km al Proyecto</u>
Falla de Romeral-Cauca	*	50
Falla de Palestina	300	3
Falla de Mulato-Jetudo	40	15
Falla de Salinas-Cambao	100	42

* Longitud sin determinar, parece ser superior a 500 km.

CUADRO D-2

TERREMOTOS OCURRIDOS DE 1935 a 1977

Falla Romeral-Cauca

Magnitud Richter M	Profundidad Km	Año	Magnitud Richter M	Profundidad Km	Año
3.0		58	4.1	154	64
3.0		58	4.1	75	68
3.0		62	4.1	105	68
3.0		63	4.1	109	69
3.0		64	4.3	63	64
3.0		64	4.3	62	64
3.0		65	4.3	61	69
3.0		66	4.4	177	67
3.0		67	4.4	75	74
3.0		67	4.5	157	68
3.0		69	4.5	167	69
3.0		70	4.5	132	76
3.0		77	4.6	106	66
3.5		61	4.6	150	70
3.5		63	4.6	161	71
3.5		63	4.6	150	75
3.5	166	63	4.7	155	70
3.5		63	4.9	100	63
3.5	114	67	4.9	91	66
3.5		67	4.9	123	76
3.5		67	5.0	103	56
3.5		67	5.0	116	64
3.5		68	5.0	84	73
3.5	153	68	5.2	144	75
3.5		68	5.3	127	65
3.5	150	68	5.5	150	35
3.9		63	5.5	118	73
4.0		52	5.9	157	76
4.0	200	56	6.2	158	73
4.0		59	6.9	176	63
4.0		59	7.0	160	38
4.0	166	66			

CUADRO D-3

TASA MEDIA DE OCURRENCIA Y PERIODO DE RETORNO DE
TERREMOTOS-FALLA ROMERAL-CAUCA

Curva de Recurrencia $\text{Log. } N = a - bM = 2.9818 - 0.7086 M$

<u>Magnitud del Sismo - M</u>	<u>Tasa media de ocurrencia Calculada eventos por año</u>	<u>Período de Retorno Años</u>
3.5	3.1755	0.32
4.5	0.6212	1.61
5.5	0.1215	8.23
6.5	0.0238	42.02
7.03	0.0100	100.00

CUADRO D-4

TERREMOTOS ASOCIADOS CON LA FALLA DE PALESTINA
SIN CONFIRMACION EN EL CAMPO

<u>Localización</u>	<u>Magnitud GR</u>	<u>Profundidad (Km)</u>	<u>Año</u>
5.05 N: 75.30W	4.4	138	69
4.70 N: 74.80W	3.5		66
4.70 N: 75.30W	4.0	83	66
4.71 N: 75.32W		4	77

CUADRO D-5

ACELERACIONES MAXIMAS ESPERADAS EN EL PROYECTO
MIEL II PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

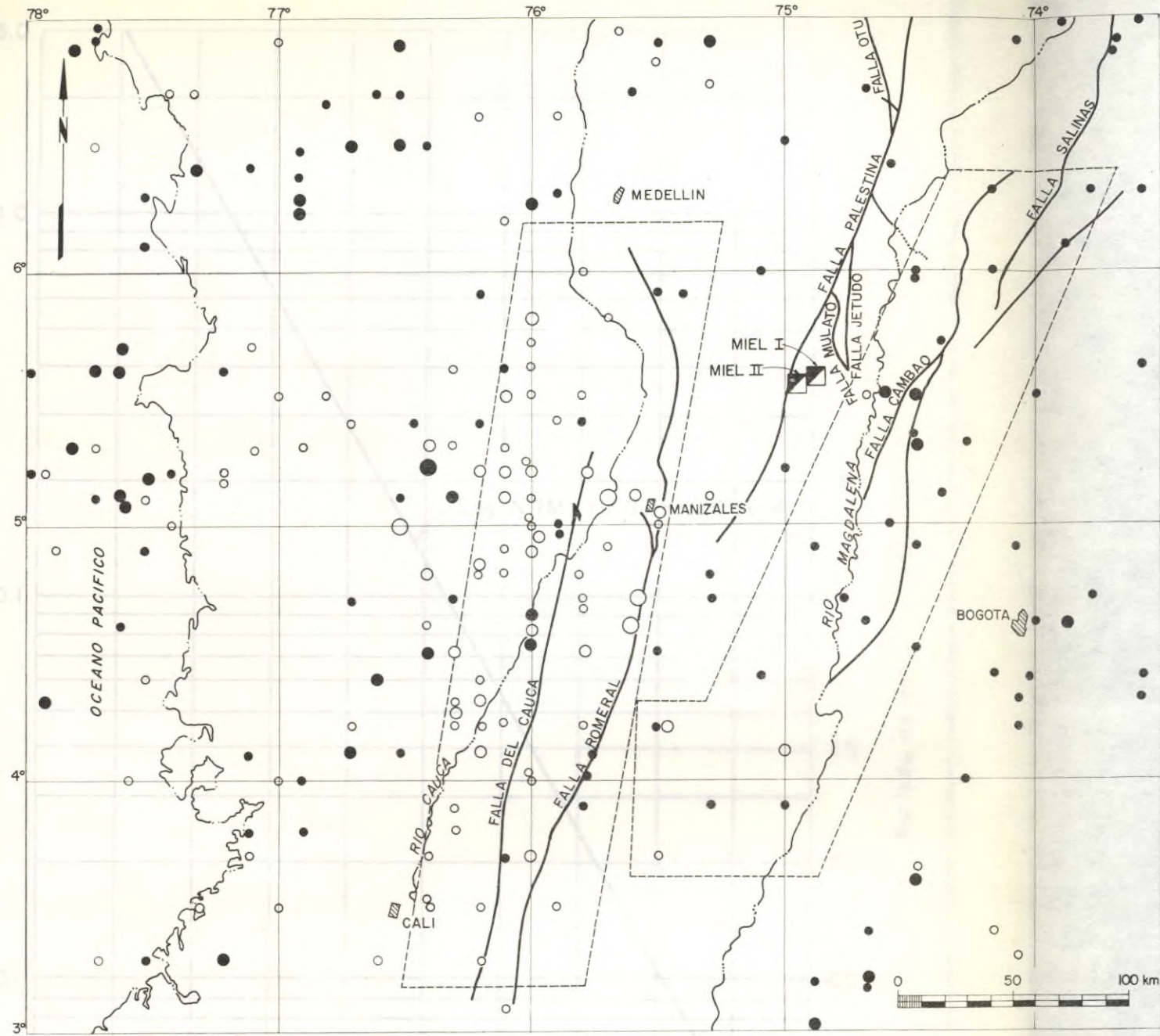
<u>Fuente o Falla</u>	Magnitud Asignada Richter <u>M</u>	Distancia Proyecto <u>Km</u>	<u>Aceleración</u>	
			<u>Período</u> Ts=0.25 s.	<u>Período</u> Ts=0.50 s.
Romeral-Cauca	7.0	50	0.290 g	0.206 g
Jetudo	6.0	15	0.301 g	0.213 g
Salinas	6.7	42	0.242 g	0.171 g

figuras

TABLE 1

Periodo	Período	Período	Período
1.208 g	0.100 g		
0.213 g	0.101 g		
0.171 g	0.142 g		

DATA 2 2000

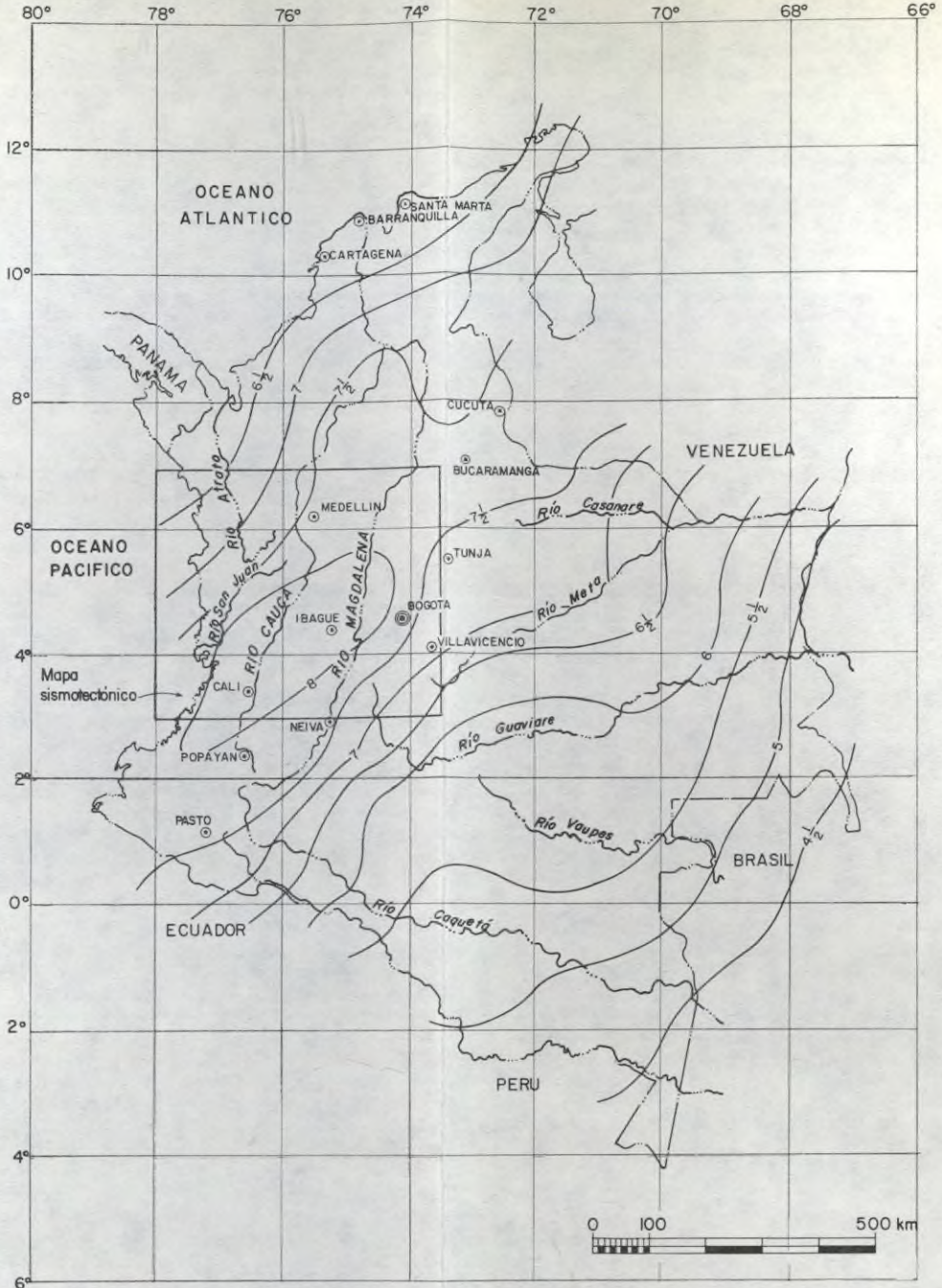


MAPA SISMOTECTONICO

- CONVENCIONES
- SISMOS PROFUNDOS
- Magnitud de 3.5 a 4.5
 - Magnitud de 4.6 a 6.0
 - Magnitud de 6.1 a 7.5
- SISMOS SUPERFICIALES
- Magnitud de 3.5 a 4.5
 - Magnitud de 4.6 a 6.0
 - Magnitud de 6.1 a 7.5
- Límite fuente sísmica

NOTA:


- 1 Datos tomados del estudio del Instituto geofísico de la Universidad Javeriana.
- 2 Se toma como sismo profundo aquel cuyo hipocentro está a más de 100 Km de profundidad.



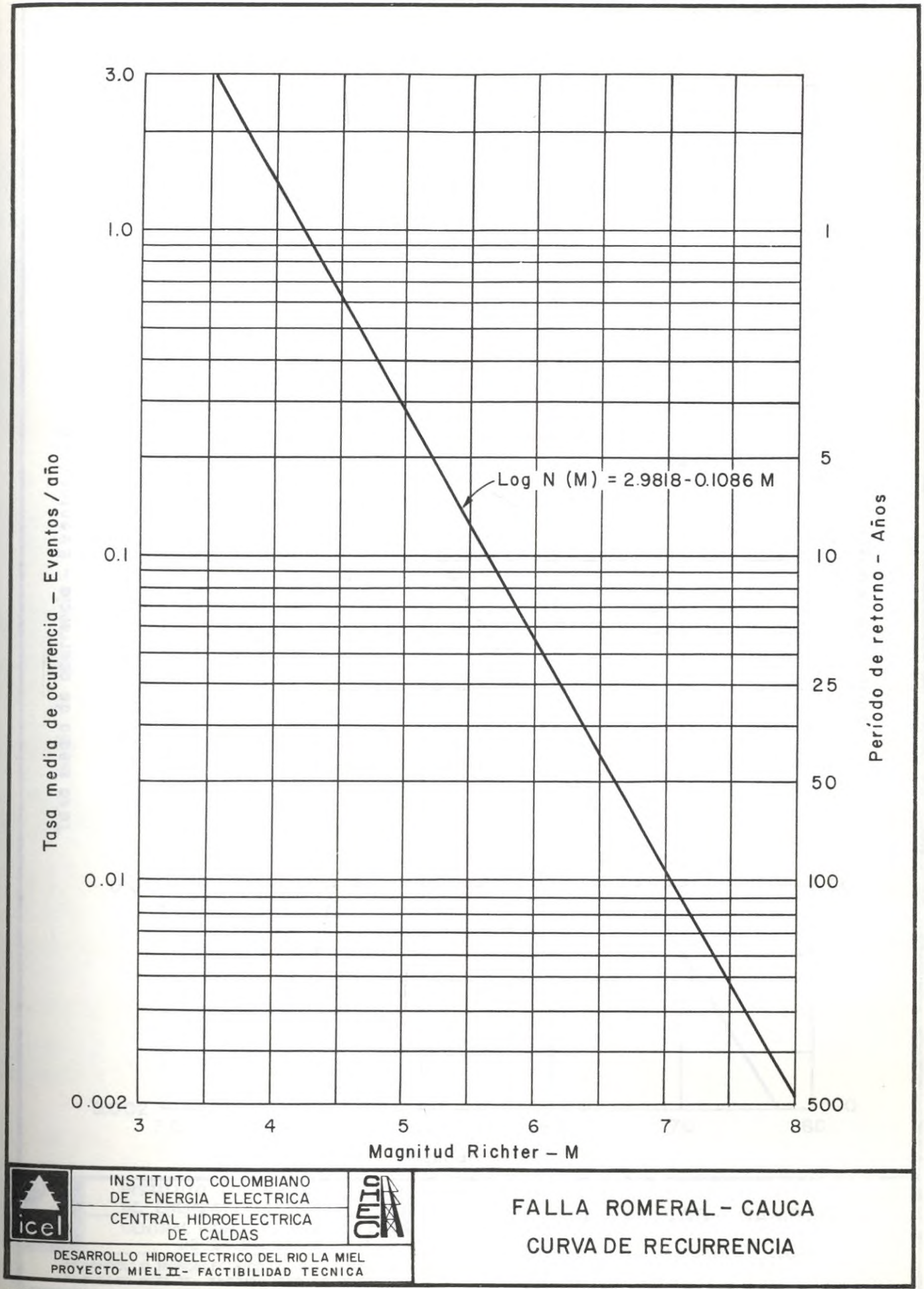
MAPA DE RIESGO SISMICO

- CONVENCIONES
- Capitales
 - 4 1/2 - Índice promedio de riesgo sísmico

NOTA: El índice promedio de riesgo significa que en la zona puede ocurrir un sismo de intensidad Mercalli mayor o igual a la indicada.


INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
 PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

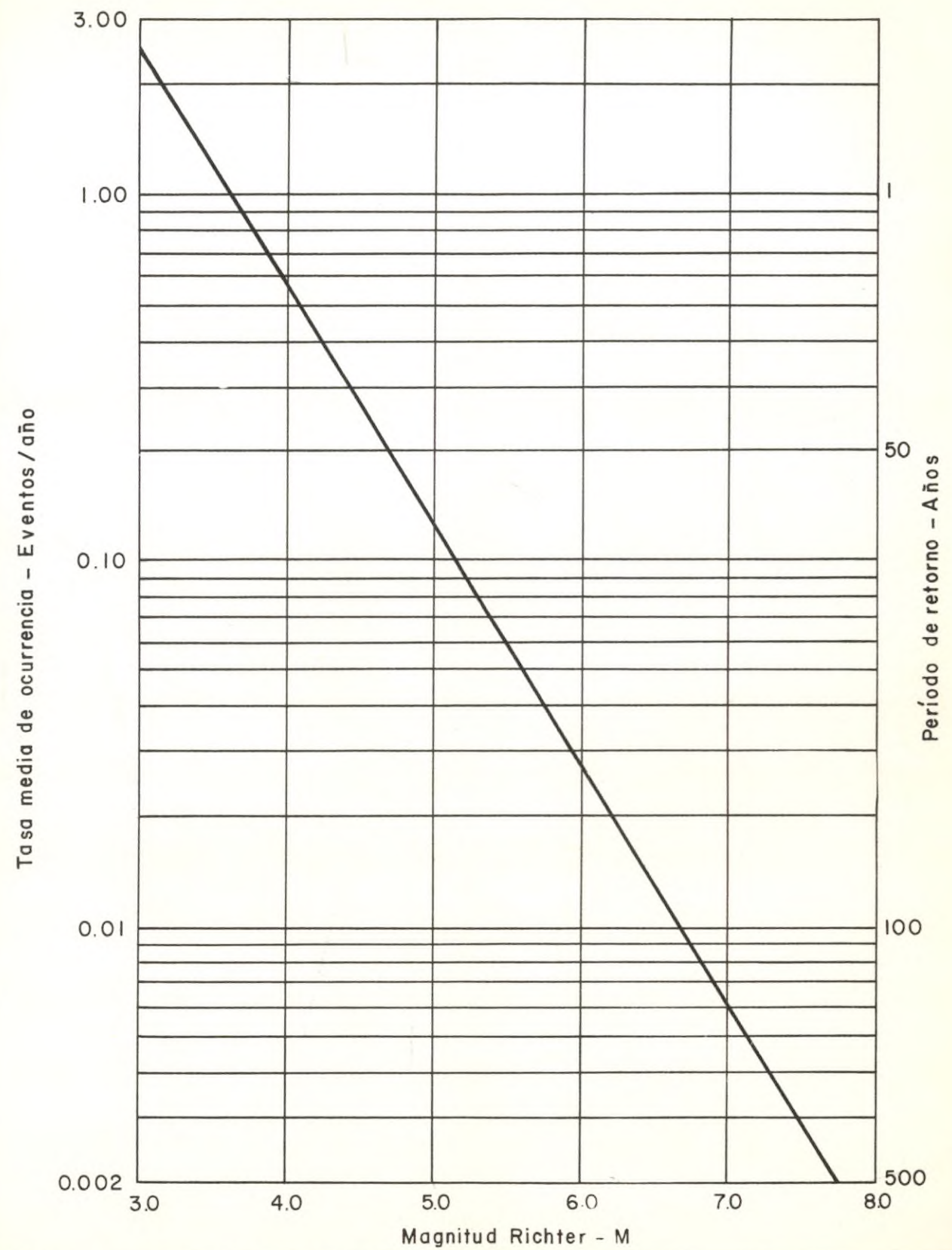
MIEL II MAPA SISMICO



ice INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
 PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

OTIA
 FALLA ROMERAL - CAUCA
 CURVA DE RECURRENCIA

SECCION DE LA TIERRA - VUOR



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS



DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA

FALLA SALINAS - CAMBAO
CURVA DE RECURRENCIA

proyecto miel II volumen III

apendice e
materiales de construcción

CAPITULO	PAGINA
1. MATERIALES DE ACEROS	2-1
2. MATERIALES DE FERROSILICIOS	2-1
3. MATERIALES PARA ENDOCAMBIOS	2-1
3.1 Descripción de las obras seleccionadas	2-1
3.2 Ensayos de laboratorio	2-2
3.3 Interpretación y análisis de los resultados	2-4
4. MATERIALES PARA CONCRETOS	2-4
4.1 Materiales para concretos de la gran y obra gruesa	2-6
4.2 Materiales para concretos de obra de máquinas	2-6
4.2.1 Exploraciones	2-6
4.2.2 Ensayos de laboratorio	2-7
4.2.3 Análisis de resultados	2-7
5. MATERIALES DE CONSTRUCCION DESVIACION DEL RIO GOARINGO	2-8
5.1 Exploraciones	2-8
5.2 Ensayos de laboratorio	2-8
5.3 Análisis de resultados	2-8

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

APENDICE E

I N D I C E

CAPITULO	PAGINA
1 GENERALIDADES	E-1
2 MATERIALES IMPERMEABLES	E-1
3 MATERIALES PARA ENROCAMIENTOS	E-2
3.1 Descripción de las zonas seleccionadas	E-2
3.2 Ensayos de laboratorio	E-3
3.3 Interpretación y análisis de los resultados	E-4
4 MATERIALES PARA CONCRETOS	E-5
4.1 Materiales para concretos de la presa y obras anexas	E-6
4.2 Materiales para concretos de casa de máquinas	E-6
4.2.1 Exploraciones	E-6
4.2.2 Ensayos de laboratorio	E-7
4.2.3 Análisis de resultados	E-7
5 MATERIALES DE CONSTRUCCION DESVIACION DEL RIO GUARINO	E-8
5.1 Exploraciones	E-8
5.2 Ensayos de laboratorio	E-8
5.3 Análisis de resultados	E-9

CAPITULO

PAGINA

6 MATERIALES DE CONSTRUCCION
DESVIACION RIO SANTO DOMINGO

E-9

7 CONCLUSIONES

E-10

APENDICE E

CUADROS

- E-1 MATERIAL DE ENROCADO - INDICES DE SOLIDEZ
- E-2 MATERIAL DE ENROCADO - PROPIEDADES MECANICAS
- E-3 MATERIALES PARA CONCRETOS DE CASA DE MAQUINAS
RESULTADOS DE ENSAYOS - AGREGADOS GRUESOS
- E-4 RESULTADOS DE ENSAYOS - AGREGADOS FINOS
- E-5 MATERIALES DESVIACION RIO GUARINO - INDICES DE
SOLIDEZ

APENDICE E

FIGURAS

- E-1 Zonas de Préstamo - Presa y Obras Anexas
- E-2 Zonas de Préstamo - Area Casa de Máquinas
- E-3 Zonas de Préstamo de Arenas y Gravas
- E-4 Zonas de Préstamo - Desviación del Río Guarinó
- E-5 Ensayo de Compresión Unidimensional - Muestra 2 - Cuarzo-diorita Zona 2.
- E-6 Granulometría antes y después del ensayo de compresión unidimensional - Muestra No. 2 - Zona No. 2
- E-7 Granulometría Arena de el Llano Zona No. 8

MATERIALES DE CONSTRUCCION

1. GENERALIDADES

El estudio de los materiales requeridos en la construcción de las obras del Proyecto Miel II, comprendió la investigación de los distintos tipos de roca existentes en la zona, tanto para enrocamiento de la presa como para concretos, la investigación de los materiales aluviales más cercanos al sitio del proyecto, para filtros y materiales para concretos. Incluyó además la exploración de los suelos residuales para estudiar la posible alternativa de presa de enrocamiento con núcleo impermeable.

La selección de las zonas para investigación se basó en previos reconocimientos y estudios geológicos del área del proyecto.

En este Apéndice se presentan las investigaciones realizadas en cada una de las zonas seleccionadas y se incluyen los resultados obtenidos y un análisis de éstos.

2. MATERIALES IMPERMEABLES

La investigación de materiales impermeables se efectuó mediante reconocimientos geológicos en el área del proyecto y la exploración en caminos, trochas y cañadas de los suelos residuales que son los predominantes en toda el área con el objeto de clasificar visualmente estos materiales y localizar depósitos de volúmenes grandes que ameritaran una investigación detallada. Como resultado de los reconocimientos y exploraciones de campo se pudo deducir que no existen depósitos importantes de suelos residuales de volumen apreciable; por las características topográficas del terreno en el área del proyecto y a distancias cercanas al sitio de la presa, los suelos residuales se encuentran en laderas muy pendientes y tienen poco espesor por lo cual, tendrán inconvenientes para su explotación. Por otra parte la clasificación visual y su origen demuestra que estos suelos residuales son idénticos y de la misma procedencia de aquellos analizados en detalle para el proyecto Miel I y que no se encontraron satisfactorios para su

empleo en el núcleo de la presa por ser limos de muy baja plasticidad, susceptible a erosión interna y de difícil colocación y compactación en las condiciones naturales de humedad; en una zona que es de alta pluviosidad. Por las razones anteriores no se consideró necesario llevar a cabo una investigación detallada de estos materiales puesto que se llegaría a resultados semejantes y por lo tanto a descartarlos como material del núcleo de la presa.

3. MATERIALES PARA ENROCAMIENTOS

3.1 Descripción de las zonas Seleccionadas

Para la investigación de los materiales de enrocamiento se seleccionaron tres fuentes potenciales de préstamo de roca cerca al sitio de presa, que de acuerdo con sus características geológicas se consideraron como los más competentes existentes en el área y que se describen a continuación:

La zona 1 está localizada en la confluencia de los ríos Miel y Pensilvania inmediatamente aguas arriba del sitio de presa, donde aflora un nivel de esquistos verdes, duros y masivos de la formación Cajamarca, que tiene un espesor promedio de 180 metros y un buzamiento entre 53° y 60° hacia el occidente. Este conjunto aflora entre otros niveles de esquistos de la misma formación pero de características geológicas un poco diferentes; hacia el lado occidental afloran esquistos grises intercalados con esquistos verdes y cuarcitas y hacia el lado oriental los esquistos son grafiticos de inferior calidad.

La zona 2 está localizada inmediatamente aguas abajo del sitio de presa, donde aflora en una gran extensión, aproximadamente dos kilómetros por 4 kilómetros, un conjunto ígneo intrusivo constituido por cuarzodioritas muy duras de grano grueso que conforma lo que se ha denominado el Stock de La Bella.

La zona 3 comprende el área donde se construirá la estructura del rebosadero en el estribo izquierdo y se investigó con el objeto de determinar la posibilidad de usar el material de la excavación en el relleno de la presa. Las rocas que afloran en este estribo son esquistos grises con intercalaciones de esquistos verdes de la formación Cajamarca.

En la Figura E-1 se muestra su localización y el sitio de muestreo.

La exploración en cada una de las zonas seleccionadas se efectuó por medio de voladuras para determinar la forma de rotura de la roca y además recolectar muestras para la investigación de laboratorio. En cada sitio se efectuó en primer lugar una voladura superficial para eliminar la roca más alterada y luego una voladura en la roca sana, de donde se extrajeron las muestras. En total se tomaron aproximadamente 300 kilogramos de muestras de las tres zonas.

3.2 Ensayos de Laboratorio

A fin de determinar las propiedades físicas de los materiales seleccionados para enrocamientos, las muestras obtenidas se sometieron a ensayos de absorción de agua, desgaste en la máquina de los Angeles e intemperismo acelerado, denominadas pruebas índices de solidez de los granos.

La prueba de absorción de agua es significativa en rocas porosas como calizas, tobas y conglomerados, y es baja en roca metamórficas e ígneas; este ensayo puede correlacionarse con la prueba de desgaste, ya que una absorción alta puede estar correlacionada con un desgaste alto por abrasión. El ensayo de desgaste es un índice de la resistencia de la roca que se relaciona con la resistencia a la ruptura de la roca. En general, a una pérdida por abrasión alta, corresponde una menor resistencia a la ruptura.

Con estas pruebas índices se puede conocer en forma preliminar la calidad del enrocamiento y si este es aceptable para usarse en el pedraplén de la presa. Las rocas con bajos porcentajes de absorción de agua y baja pérdida por abrasión, son en general rocas que pueden catalogarse en principio como competentes y de buena calidad.

El ensayo de intemperismo acelerado es medido por la desintegración de la roca cuando se someta a la acción del sulfato de sodio o magnesio, en cinco ciclos de inmersión y secado; se considera que esta es una prueba severa para catalogar las rocas que se usan en enrocamientos y en general, para rocas de buena calidad, la pérdida por intemperismo es menor del 2%.

Para determinar las propiedades mecánicas de las rocas que conforman el cuerpo ígneo del Stock de La Bella (Zona 2), que es

la zona que presenta una mayor extensión y será aparentemente fácil de explotar, se efectuó un ensayo de compresión unidimensional con el objeto de conocer sus características de compresibilidad y su incidencia en los asentamientos de la presa. El ensayo fué ejecutado en el Laboratorio de ISA en Chivor, en un odómetro de 0.30 m de diámetro y 0.45 m de altura. La muestra fué preparada previamente para obtener una granulometría preestablecida; las cargas axiales se aplicaron por incrementos de 0 a 2, 4, 8, 16 y 32 Kg/cm², midiendo en cada incremento la deformación en función del tiempo. Antes de aplicar la última carga, se saturó la muestra mediante inyección de agua para observar su comportamiento bajo esta condición.

En la Figura E-5 se muestra la curva de relación de vacíos-presiones; la caída vertical que se observa antes de la última carga corresponde a las deformaciones inducidas por la saturación de la muestra. En la Figura E-6 se muestran las granulometrías antes y después del ensayo.

A partir de los resultados del ensayo se calculó el coeficiente de compresibilidad (A_v), el porcentaje de rotura de granos (B_g) y el módulo de deformación, los cuales se muestran en el Cuadro E-2.

3.3 Interpretación y Análisis de los Resultados

En el Cuadro E-1 se indican los resultados de los índices de solidez de granos obtenidos para cada una de las muestras de roca. Estos resultados muestran una clasificación de enrocamientos entre granos duros y semiduros, según el método sugerido por el profesor Raúl Marsal en su libro Presas de Tierra y Enrocamiento clasificación que corresponde a un enrocamiento de buena calidad para su empleo en la presa.

Los ensayos de abrasión realizados sobre muestras, con una gradación E, indican porcentajes de desgaste entre 18% y 26%; las pruebas de intemperismo acelerado muestran una pérdida de peso por desintegración de la roca después del ensayo; menor de 2% para las cuarzodioritas de la zona 2, menor de 1% para los esquistos verdes de la zona 1 y menor de 9% para los esquistos grises de la zona 3; la absorción de agua en las tres muestras fué menor de 1.4%.

El ensayo de compresión unidimensional ejecutado sobre la muestra gradada de cuarzodiorita con tamaño máximo 2 1/2", indica baja compresibilidad; la relación de vacíos (e) fué 0.23, el coeficiente de compresibilidad promedio A_{vm} de $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kg}$ y el modulo de deformación (Moc) de $615 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

Del ensayo de compresión unidimensional también se dedujo el porcentaje de rotura de granos (Bg) en cada una de las muestras después de haber sido sometidas a carga semejantes a las que soportará el enrocamiento en la presa; este porcentaje fué de 9%. En la Figura E-6 se muestra la granulometría antes y después del ensayo. En el Cuadro E-2 se presenta un resumen de los resultados.

Comparativamente con los ensayos para enrocamiento realizados para la gran mayoría de las presas construídas en México y la presa de Chivor, las rocas analizadas para el Proyecto Miel II están entre aquellas que presentan características adecuadas por su resistencia y baja compresibilidad. Teniendo en cuenta las características obtenidas en los ensayos realizados, puede deducirse en este momento que los resultados son satisfactorios y que la calidad de las rocas es adecuada para su utilización en el enrocamiento de la presa.

Los materiales que presentan mejores características son los esquistos verdes de la zona 1 y las cuarzodioritas de la zona 2. Los esquistos de la zona del rebosadero, aunque son aceptables, son los de inferior calidad y por esta razón, se ha previsto que se coloquen en la parte inferior del talud, aguas abajo de la presa, que es la zona de menores esfuerzos.

Los volúmenes de enrocado que pueden obtenerse de las zonas 1 y 2 superan los requeridos para la construcción de la presa; el volumen de la zona 3 está limitado a la cantidad de material de excavación que se pueda extraer del rebosadero.

4. MATERIALES PARA CONCRETOS

El estudio de los agregados para los concretos requeridos en el Proyecto Miel II, comprendió la investigación de los niveles de roca vecinos al sitio de presa, para los concretos de la losa de

la presa, estructura de toma, estructura del rebosadero y revestimiento de túneles; para los concretos de las obras de casa de máquinas se investigaron los afloramientos de las rocas más competentes existentes en la vecindad del área y los materiales aluviales procedentes de terrazas altas del río Guarinó y de la quebrada el Chorreadero, localizados a unos siete kilómetros de La Victoria por la vía que conduce a Honda y Mariquita, y ubicados a unos 15 kms del sitio de la casa de máquinas.

4.1 Materiales para Concretos de la Presa y Obras Anexas

Los materiales investigados para el enrocamiento de la presa se estudiaron también con la finalidad de conocer su calidad como agregados para concreto. Las pruebas de índices de solidez realizadas sobre las muestras de las zonas 1 y 2, que también son las recomendadas para determinar la calidad de materiales para concreto, indican que tanto los esquistos verdes de la zona 1, como las cuarzdioritas de la zona 2, son adecuados como agregados. Teniendo en cuenta que a distancias económicas no se encuentran depósitos aluviales importantes, de donde se puedan extraer las cantidades requeridas de arenas para agregados finos, se ha previsto que éstos se obtengan por trituración de las rocas provenientes de las zonas 1 y 2. En el Cuadro E-1 se presentan las características de los materiales de estas zonas.

4.2 Materiales para Concretos de Casa de Máquinas

4.2.1 Exploraciones

El estudio de los materiales para los concretos requeridos en las obras de casa de máquinas y en los túneles, comprendió la investigación de los niveles de esquistos que afloran en la margen izquierda de la quebrada Tasajos (zonas 5 y 6) y del cuerpo ígneo constituido por cuarzdioritas que afloran en la margen derecha del río La Miel, cerca a la confluencia con la quebrada Tasajos (zona 7). En los reconocimientos geológicos previos se seleccionaron los sitios de exploración, de donde se tomaron muestras representativas de roca fresca de aproximadamente 70 kg en cada sitio por medio de voladuras.

Se investigaron además con este propósito las arenas aluviales de las terrazas altas del río Guarinó en el sitio denominado El Llano y las gravas de la quebrada el Chorreadero, localizadas como se mencionó antes a uno 15 kms del sitio de casa de máquinas por la vía que de La Victoria conduce a Honda y Mariquita (zonas 8 y 8A). En las figuras E-2 y E-3 se muestra su localización.

4.2.2 Ensayos de Laboratorio

Para conocer las características de estos materiales se efectuaron sobre las muestras de roca de las zonas 5, 6 y 7, previamente trituradas, ensayos de desgaste, absorción e intemperismo acelerado; los mismos ensayos se efectuaron sobre las muestras de gravas de la zona 8A. Las arenas de El Llano, zona 8, se sometieron a ensayos de granulometría, contenido de arcilla, contenido de materia orgánica, gravedad específica y pesos unitarios.

En los Cuadros E-3 y E-4 se muestran los resultados.

4.2.3 Análisis de Resultados

Los resultados de los ensayos muestran que los niveles de rocas que afloran cerca al sitio de casa de máquinas son adecuados para su uso como agregados de concreto, especialmente los esquistos verdes y las cuarzodioritas, como se observa en el Cuadro E-3; sus propiedades índices así como la gravedad específica y pesos unitarios, cumplen con los requisitos de las normas de materiales para concreto. Estos materiales requieren trituración para ajustarlos a las granulometrías requeridas; también es posible, mediante trituración, obtener el agregado fino. Se pueden obtener en la zona los volúmenes requeridos para la construcción de las obras de casa de máquinas.

Las gravas de la zona 8A son de inferior calidad como lo indica su desgaste alto, lo mismo que su porcentaje de pérdida de peso apreciable en el ensayo de intemperismo. La explotación de estos materiales es limitada y no existen terrazas que ameriten una explotación en gran escala; actualmente se explota en pequeñas cantidades el material que se acumula en el lecho de la quebrada El Chorreadero.

Las arenas de la zona 8 de El Llano presentan características adecuadas para su uso en concretos, con un previo procesamiento para eliminar sobre-tamaños mayores de 3/8" y arcillas que pasen el tamaño No.200. En la Figura E-7 se muestra su granulometría, actualmente su explotación es pequeña pero se consideran como una zona potencial de préstamo de agregado fino de utilidad para los concretos de casa de máquinas. Esta zona tiene el inconveniente de su distancia al sitio que es del orden de 15 kilómetros.

Conviene anotar que no se encontraron materiales aluviales de fácil explotación a distancias menores para usarse como agregados finos y gruesos.

5. MATERIALES DE CONSTRUCCION - DESVIACION DEL RIO GUARINO

Las obras de desviación del río Guarinó comprenden esencialmente la presa de desviación, la estructura de toma y el túnel que conducirá las aguas hacia el embalse de Miel II.

La investigación de materiales para estas obras comprendió el estudio de los esquistos cuarcíticos que afloran cerca del sitio seleccionado para la presa en la margen izquierda del río Guarinó (zona 9) y las terrazas aluviales existentes aguas abajo del sitio, conformadas principalmente por cantos de cuarcitas, dioritas y andesitas en una matriz de gravas y arenas (zonas 10 y 11). En la Figura E-4 se muestra la localización de las zonas estudiadas.

5.1 Exploraciones

Las exploraciones se efectuaron mediante voladuras tanto en el nivel de roca como en los cantos grandes de las terrazas aluviales. Se tomaron en cada sitio muestras representativas de un peso aproximado de 50 kg.

5.2 Ensayos de Laboratorio

Para investigar sus características como materiales para su em-

pleo en la construcción de la presa y para agregados de concreto, se efectuaron sobre las muestras previamente trituradas, tomadas de las terrazas del río Guarinó, ensayos de desgaste, gravedad específica y pesos unitarios; sobre la muestra de esquistos cuarcíticos se hicieron además de los anteriores ensayos de intemperismo y absorción. En el Cuadro E-5 se presentan los resultados.

5.3 Análisis de Resultados

Las investigaciones realizadas en las zonas seleccionadas como fuentes de materiales de construcción de las obras de desviación, indican que los materiales son adecuados para emplearlos en el pedraplén de la presa y también como agregados para concreto y que existen en las cantidades suficientes; para estos últimos se requiere trituración a fin de ajustarlos a las granulometrías de las normas y obtener tanto el agregado grueso como el agregado fino. No se encuentran en las cercanías del sitio arenas aluviales en cantidades suficientes y de fácil explotación para agregados finos de concretos, por lo cual se preve que se tendrían que obtener por trituración.

6. MATERIALES DE CONSTRUCCION - DESVIACION RIO SANTO DOMINGO

La desviación del río Santo Domingo comprende una pequeña presa derivadora de tres metros de altura, una estructura de toma y pozo revestido que conecta con el túnel de desviación del río Guarinó.

Los materiales para la construcción tanto para la presa como para las obras de concreto se podrá obtener de los depósitos aluviales del Río Guarinó en las cercanías del sitio o también de los niveles de esquistos verdes y cuarcitas que afloran en la margen izquierda del Río Santo Domingo, materiales que se considera de características semejantes a las analizadas para las obras de desviación del río Guarinó.

7. CONCLUSIONES

Como resultado de las investigaciones llevadas a cabo a nivel de factibilidad, puede deducirse que existen en el área del proyecto, cantidades de materiales suficientes y de características adecuadas para la construcción de las obras. Se encuentran rocas apropiadas para el enrocamiento de la presa y para los concretos requeridos en losa de la presa y estructuras anexas, para los concretos de revestimiento de túneles, estructuras, casa de máquinas y obras de desviación del río Guarinó. Debe anotarse que los agregados grueso y fino para concretos se deberán obtener en su mayor parte por trituración de rocas debido a que no se encuentran depósitos importantes de suelos aluviales a distancias económicas de donde se pueda explotar los dos tipos de agregados. Solamente existe la posibilidad de explotar las arenas para concretos en sitio de El Llano, ubicado a unos 15 kms de la casa de máquinas.

En la etapa de diseño se deberán ampliar mucho más las investigaciones para determinar más detalladamente el comportamiento de los materiales seleccionados para el enrocamiento de la presa. La investigación de agregados para concreto deberá incluir un mayor número de análisis de muestras, ensayos de mezclas de prueba con agregados procedentes de los distintos tipos de roca, para determinar su comportamiento y las resistencias que se puedan alcanzar.

cuadros

CUADRO E-1

MATERIAL DE ENROCADO - INDICES DE SOLIDEZ

<u>Muestra</u>	<u>Material</u>	<u>Absorción</u> %	<u>Desgaste</u> %	<u>Intemperismo</u> <u>Pérdidas de Peso %</u>		
				<u>2 1/2"</u>	<u>1 1/2"</u>	<u>1"</u>
1 (Zona 1)	Esquisto verde	1.1	18	0.1	0.2	0.5
2 (Zona 2)	Cuarzodiorita	1.4	19	0.1	1.1	0
3 (Zona 3)	Esquisto gris	0.8	26	2	6	0.6

CUADRO E-2

MATERIAL DE ENROCADO - PROPIEDADES MECANICAS

<u>Muestra</u>	<u>Material</u>	<u>Relación</u> <u>de</u> <u>Vacíos(e)</u>	<u>Esfuerzo</u> <u>Medio</u> <u>Kg/cm²</u>	<u>Coefficiente</u> <u>Compresi.</u> <u>Av cm²/kg</u>	<u>Roturas de</u> <u>Granos</u> <u>% (Bg)</u>	<u>Módulo de</u> <u>Deformac.</u> <u>Moc kg/cm²</u>
			2	0.0015		
			4	0.0005	9%	615
2 (Zona 2)	Cuarzodio rita	0.23	8	0.0007		
			16	0.0008		
			32	0.008		

CUADRO E-3

MATERIALES PARA CONCRETOS DE CASA DE MAQUINAS
RESULTADOS DE ENSAYOS - AGREGADOS GRUESOS

Muestra	Material	%Absorción	% Desgaste	Intemperismo			Gravedad Específica	Pesos Unitarios T/m ³
				Pérdida de Peso 21/2"	11/2"	1"		
5 (Zona 5)	Esquistos verdes	0.6	23	1.1	1.4	0.5	2.9	1.3* 1.6**
6 (Zona 6)	Esquistos verdes	0.5	32	1.1	0.7	1.6	2.9	1.4* 1.65**
7 (Zona 7)	Cuarzo-diorita	0.5	20	0.3	0.3	0.4	2.7	1.4* 1.6**
8A (Zona 8A)	Gravas	0.4	35		2.2	3.7	2.61	1.8* 2.1**

* Peso unitario suelto

** Peso unitario compactado

CUADRO E-4

RESULTADOS DE ENSAYOS - AGREGADOS FINOS

Muestra	Material	Gravedad Específica	Pesos Unitarios T/m ³	Contenido Arcilla %	Contenido
					Materia orgánica %
8 (Zona 8)	Arenas Aluviales	2.63	1.8* 1.9*	3.5	P Calorimétrica 1

CUADRO E-5

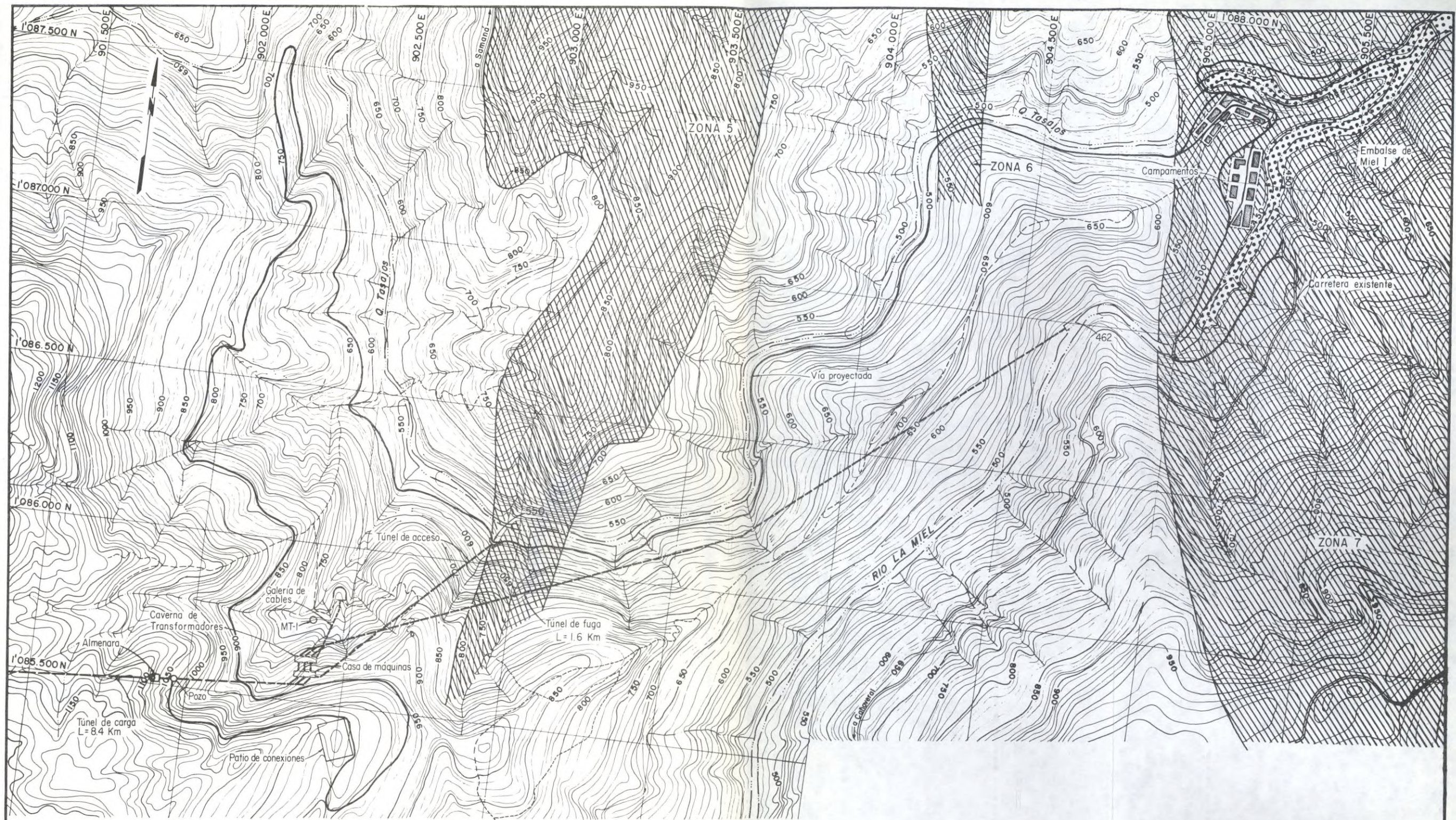
MATERIALES DESVIACION RIO GUARINO
INDICES DE SOLIDEZ

Muestra	Material	% Desgaste	Gravedad Específica	Peso Unitario T/m ³	%Absorción	Intemperismo		
						Pérdida de	Peso %	%
						21/2"	11/2"	1"
9 (Zona 9)	Esquisto cuacítico	20	2.70		0.5	0.5	0.7	0.2
10 (Zona 10)	Cantos de terrazas R. Guarínó	26	2.65	1.4* 1.6**				
11 (Zona 11)	"	37	2.6	1.5* 1.6**				
12 (Zona 12)	"	17	2.7	1.5* 1.6**				


* Peso unitario suelto

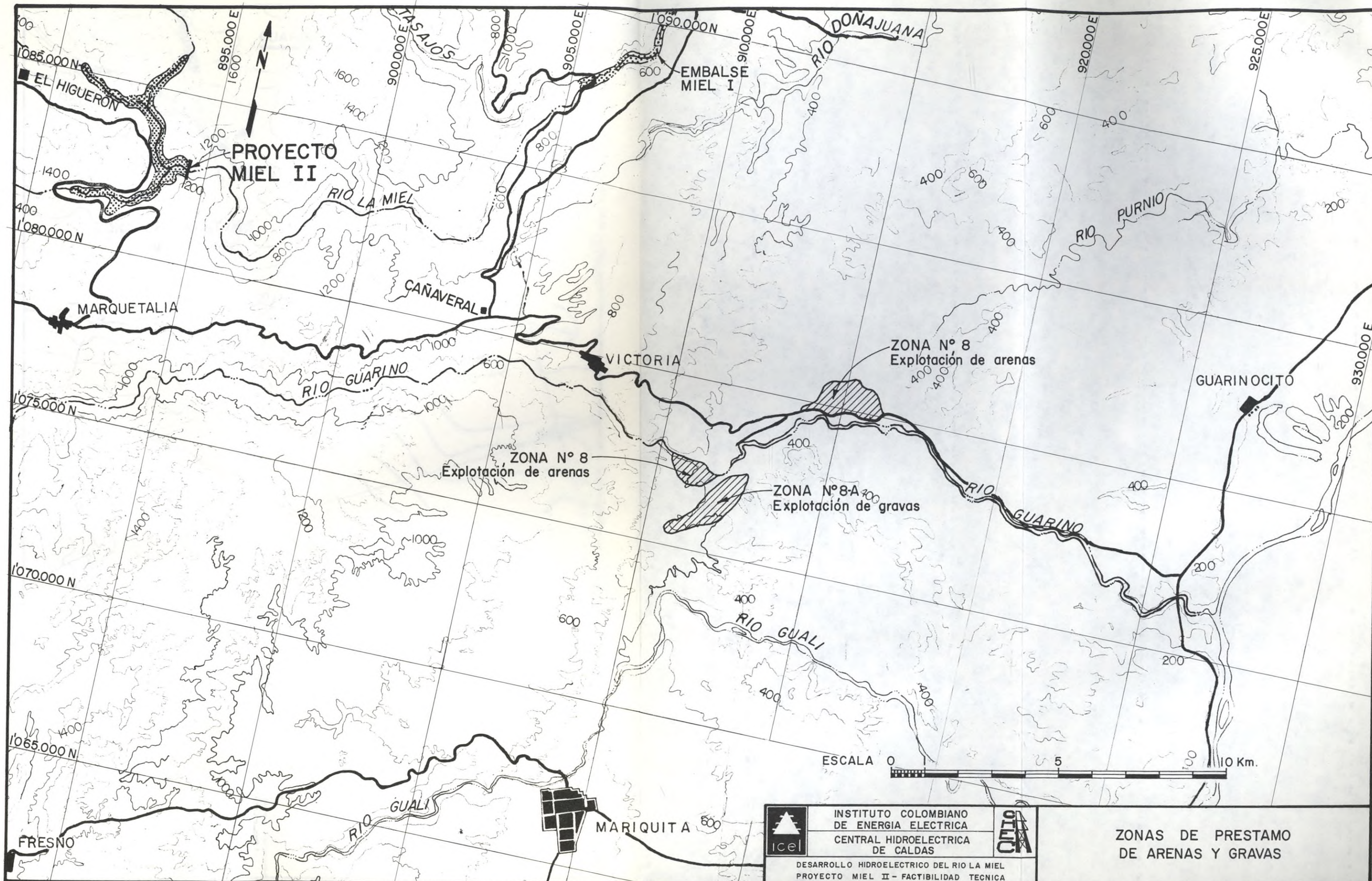
** Peso unitario compactado

figuras



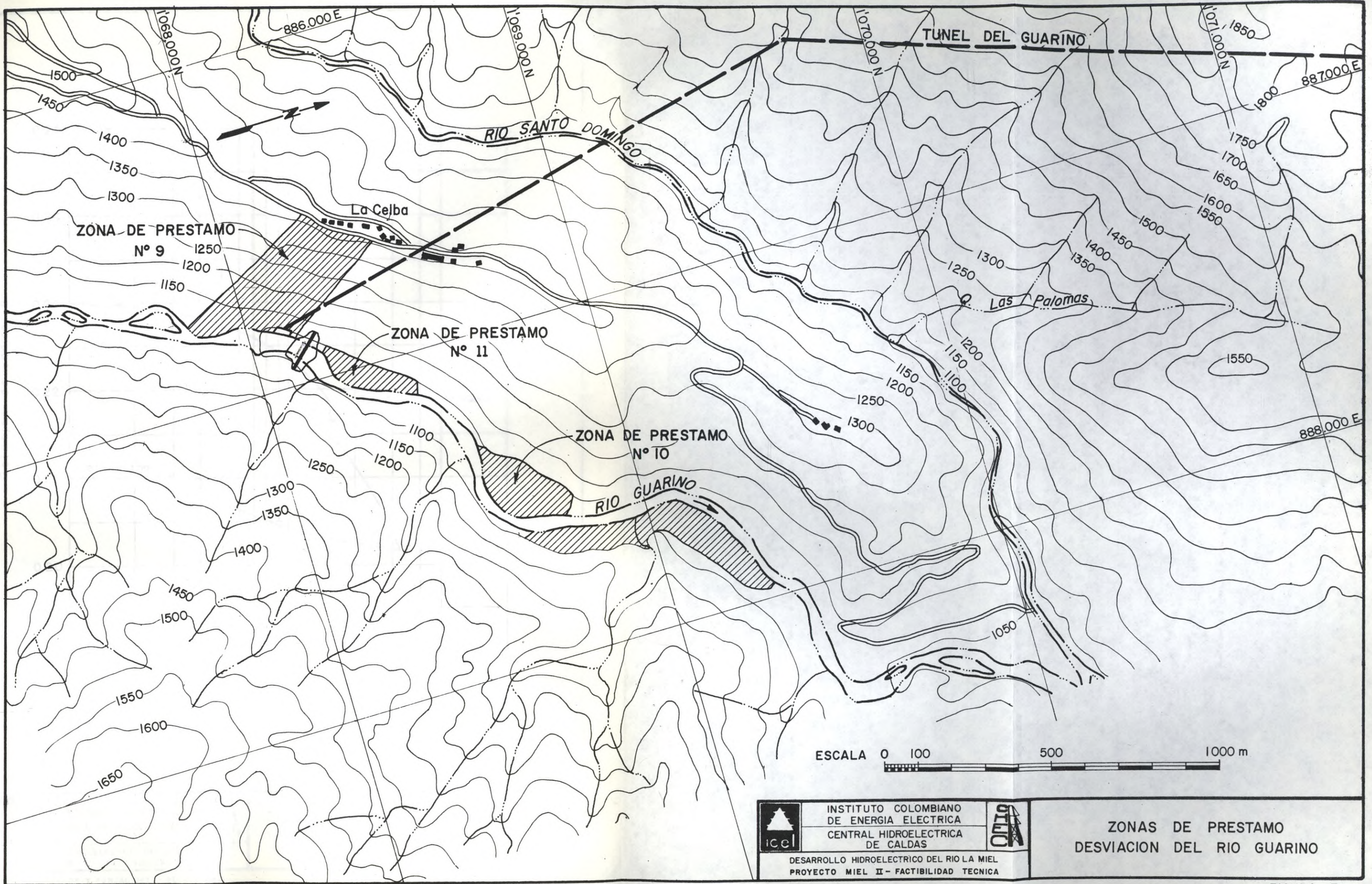
ESCALA 0 50 100 500 m



	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
	CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA		
ZONAS DE PRESTAMO AREA CASA DE MAQUINAS		
CONSORCIO RIO LA MIEL INTERDISEÑOS-SUELOS Y FUNDACIONES-GEOCOLOMBIA		FECHA: NOV.1979 FIGURA: E-2



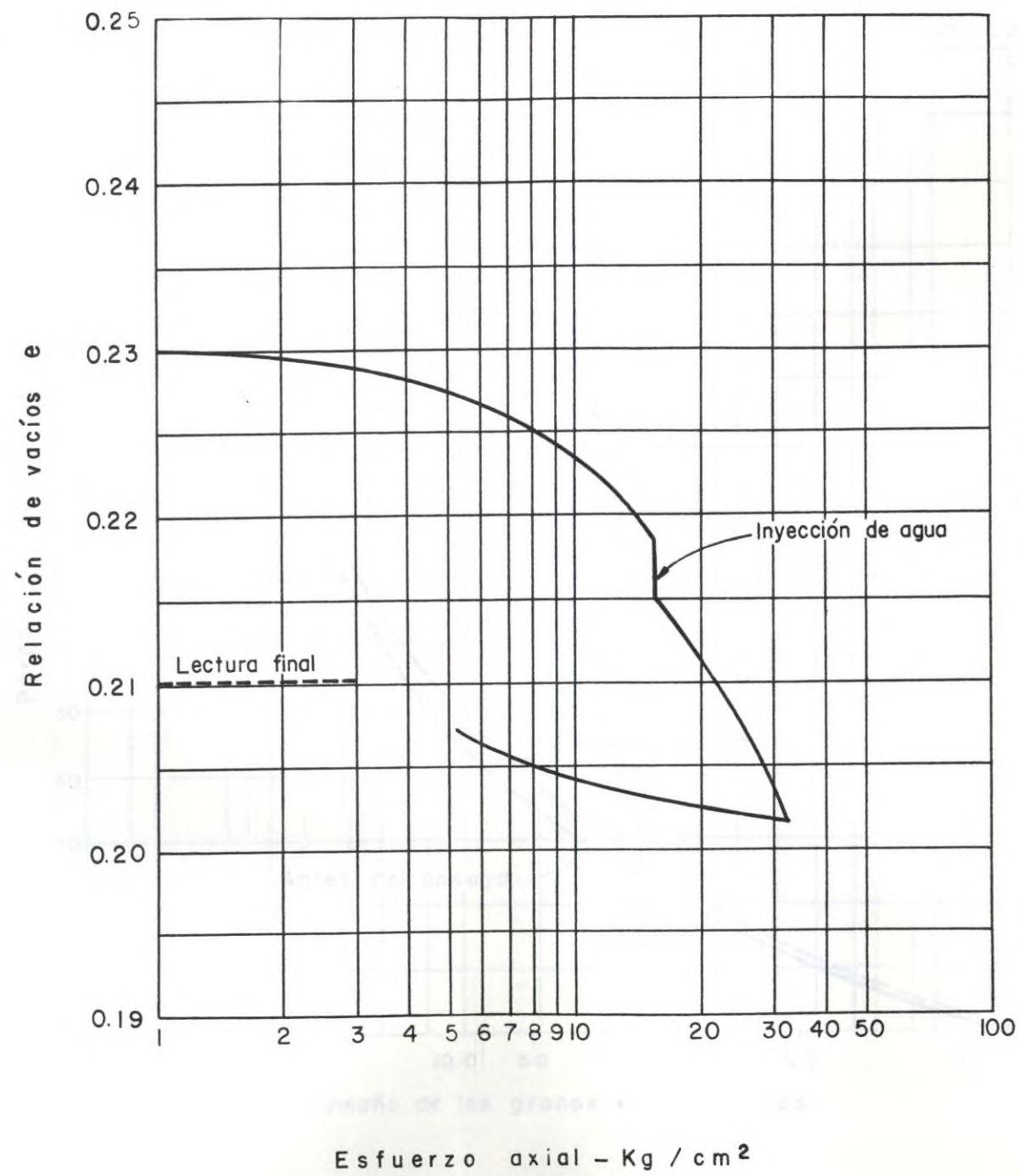
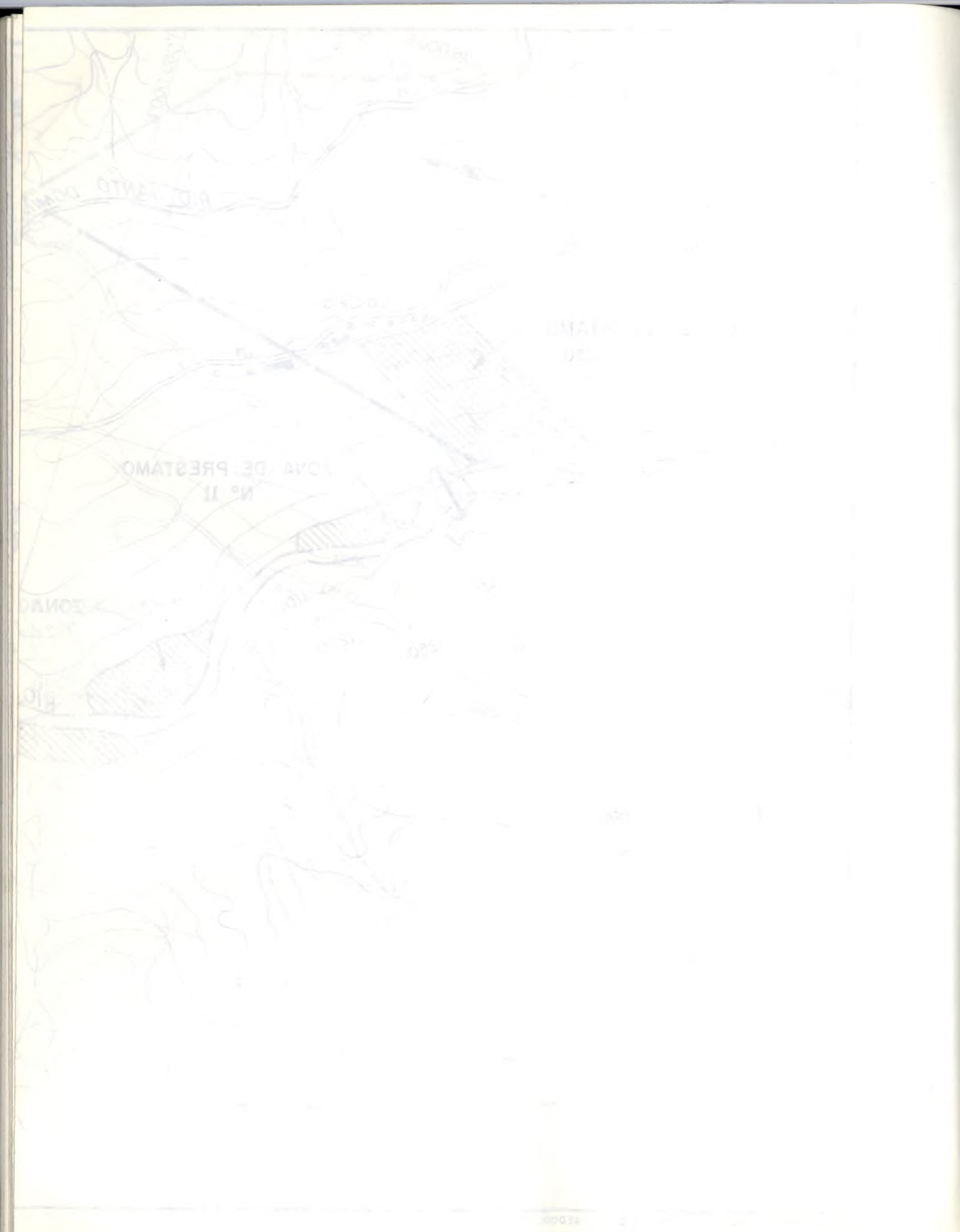
	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA	
	CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA		

ZONAS DE PRESTAMO
DE ARENAS Y GRAVAS



	INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS	
	DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA	

ZONAS DE PRESTAMO
 DESVIACION DEL RIO GUARINO



INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS

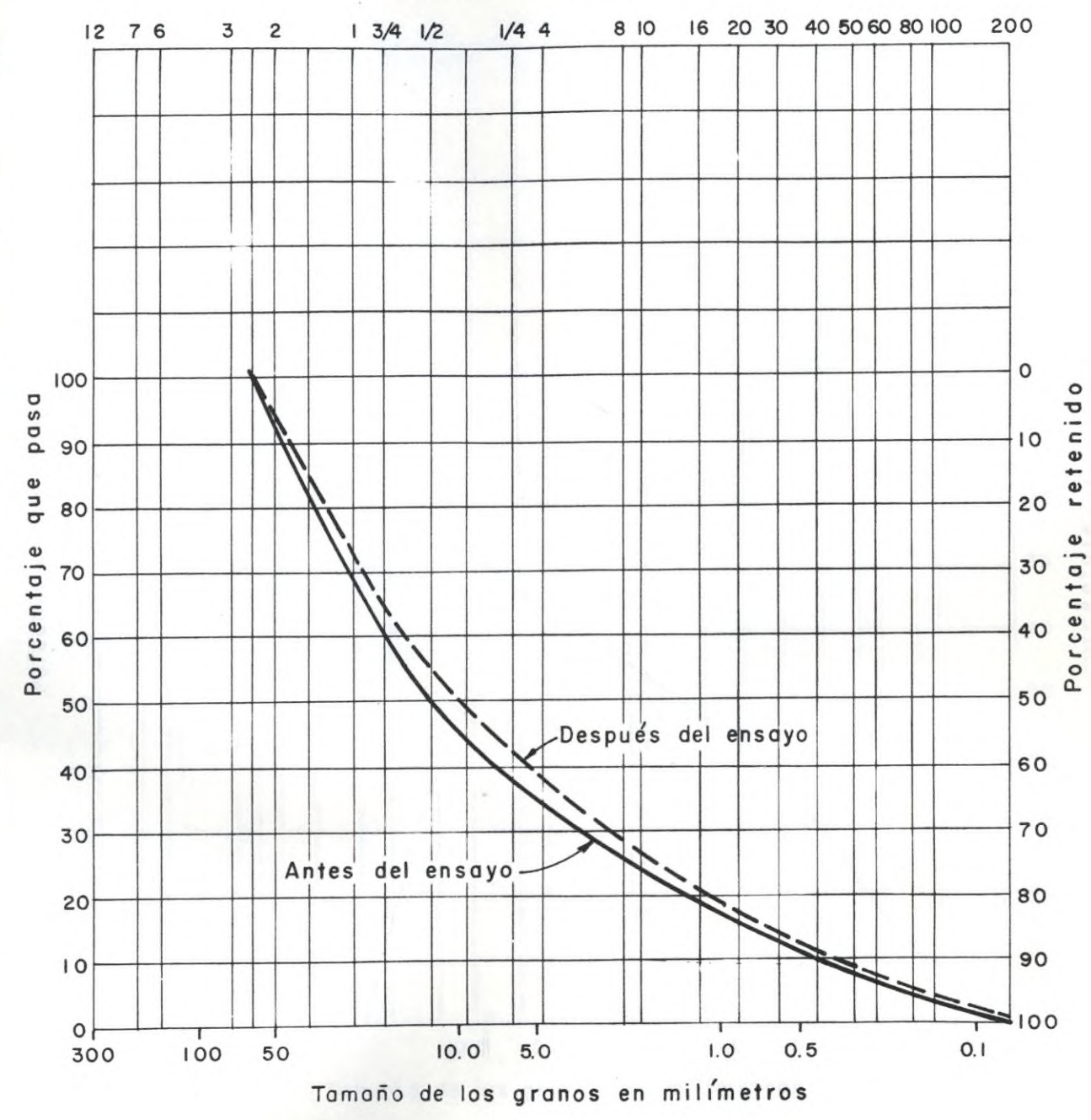



DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA


ENSAYO DE COMPRESION UNIDIMENSIONAL
MUESTRA 2 - CUARZODIORITA
ZONA No.2

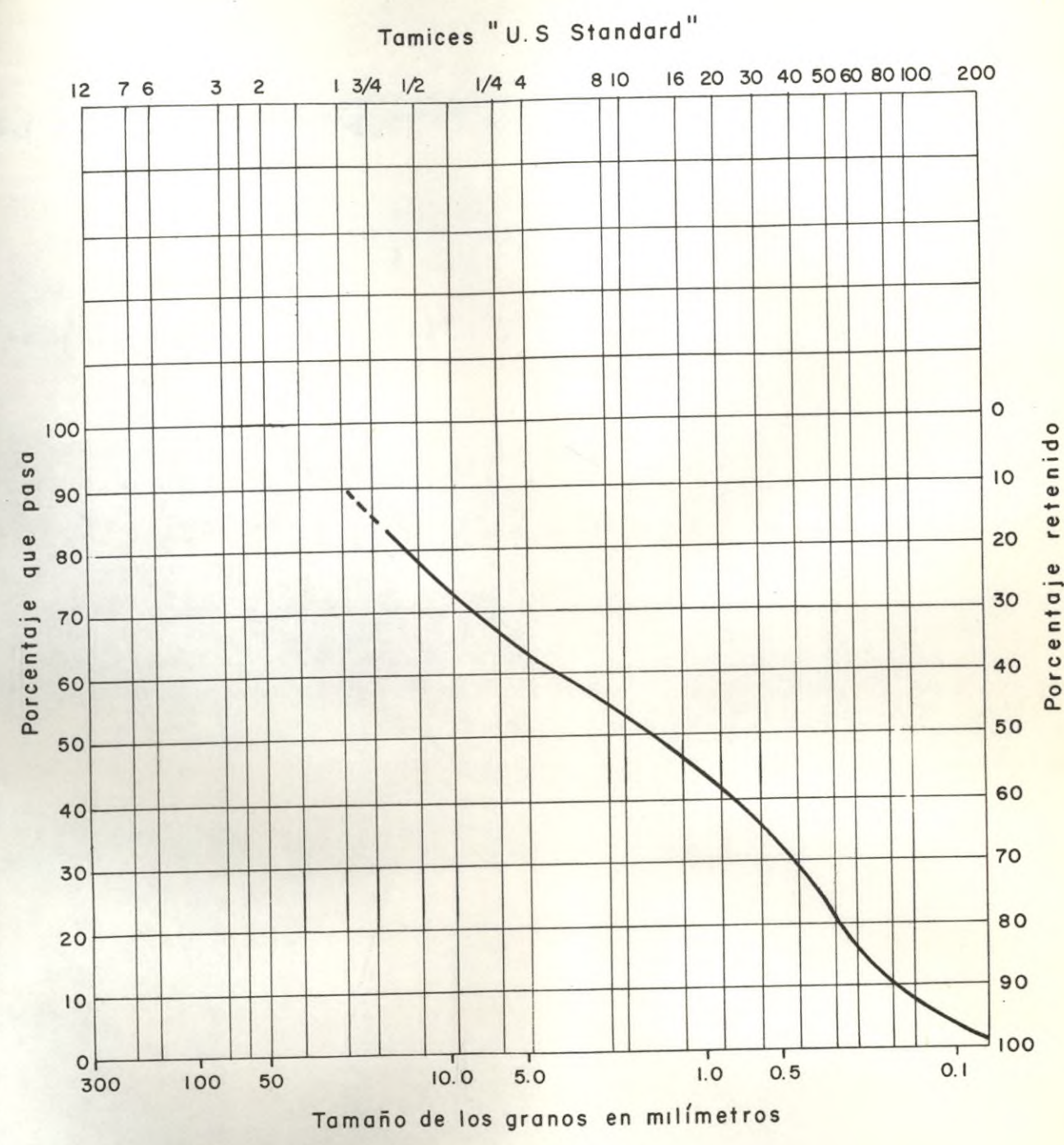



Tamices "U. S Standard"




INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
 PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA


GRANULOMETRIA ANTES Y DESPUES DEL ENSAYO DE COMPRESION UNIDIMENSIONAL
MUESTRA N°2 - ZONA N°2




 INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGIA ELECTRICA
 CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS
 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL RIO LA MIEL
 PROYECTO MIEL II - FACTIBILIDAD TECNICA
 INTERDISEÑOS - SUELOS Y FUNDACIONES - GEOCOLOMBIA

GRANULOMETRIA ARENA DE EL LLANO
ZONA N°8

FIGURA E-7

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01001379

BIBLIOTECA

Desarrollo hidroeléctrico del Río La Miel :
informe de factibilidad técnica / Consorcio Río
La Miel : Instituto Colombiano de Energía
Eléctrica, Central Hidroeléctrica de Caldas

333.9109861 C755des V.3 Ej.1

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVOLUCION
-----------------	------------	---------------------

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA