



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRUEBAS DE LA CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN 2003 PARA
CARACTERIZAR EL MACIZO ROCOSO DE LA P. H. LA
PAROTA, GUERRERO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

YOLANDA BARRERA AGUIRRE

DIRECTOR DE TESIS

ING. REGINALDO HERNÁNDEZ ROMERO

MÉXICO, D.F.

JUNIO 2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A Dios por la vida.

A mi familia por el apoyo incondicional, comprensión y amor.

A la Universidad por la oportunidad.

A mi director de tesis por el apoyo y comprensión.

A los integrantes del jurado por el apoyo.

*A la Comisión Federal de Electricidad - Subgerencia de Geotécnica y Materiales
- Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones por la oportunidad de
desarrollarme y el apoyo para poder titularme.*

*A los amigos que siempre son una parte importante para poder hacer las cosas con
mayor gusto.*

INDICE

INTRODUCCIÓN	6
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	8
1.1 Localización.....	8
1.2 Antecedentes	9
1.3 Obras Principales.....	10
1.4 Geología Superficial.....	11
1.5 Estudio Geofísico.....	13
1.6 Litología y características estructurales	15
2. CARATERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	18
2.1. Clasificaciones Geomecánicas	18
2.1.1 Barton.....	18
2.1.2 Bienawski.....	22
2.1.3 Calidad del macizo rocoso con relación RMR.....	24
2.2 Ensayes en núcleos de Barrenos.....	27
2.3 Resultados de pruebas en núcleo de barrenos.....	28
3. ESTRUCTURAS.....	31
3.1 Obra de Desvío.....	31
3.1.1 Características Geométricas	31
3.1.2 Descripción geológica.....	31
3.1.3 Geología estructural de la margen derecha	32
3.1.4 Campaña de exploración.....	33
3.1.4.1 Exploración directa	33
3.1.4.2 Exploración indirecta	34
3.1.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas	35
3.2 Obra de Excedencias	35
3.2.1 Características Geométricas.....	35
3.2.2 Descripción geológica.....	36
3.2.3 Geología estructural de la margen derecha	37
3.2.4 Campaña de exploración.....	38
3.2.4.1 Exploración directa	38
3.2.4.2 Exploración indirecta	39
3.2.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas	39
3.3 Obra de Generación	40
3.3.1 Características Geométricas.....	40
3.3.2 Descripción geológica.....	41
3.3.3 Geología estructural de la margen derecha	41
3.3.4 Campaña de exploración.....	42
3.3.4.1 Exploración directa	42
3.3.4.2 Exploración indirecta	43
3.3.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas	43

3.4 <i>Obra de Contención</i>	44
3.4.1 Características Geométricas.....	44
3.4.2 Descripción geologica.....	45
3.4.3 Geología estructural de la margen derecha	45
3.4.4 Campaña de exploración.....	46
3.4.4.1 Exploración directa	46
3.4.4.2 Exploración indirecta	47
3.4.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas	48
4. CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFIA	51

TABLAS

No.	Título	
1	Clasificación Geomecánica (BARTON).....	53
2	Clasificación Geomecánica (BIENIAWSKI Y HOEK) Margen Izquierda.....	54
3	Clasificación Geomecánica (BIENIAWSKI Y HOEK) Margen Izquierda.....	55
4	Características Generales en la Masa Rocosa en la Zona de Boquilla.....	56
5	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta.....	57
6	Resumen de Propiedades Índice, Mecánicas, Sónicas y Elásticas de la Roca Intacta Tipo de roca: Gneis.....	58
7	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PG-05, zona tubería de presión, OBRA DE GENERACIÓN.....	59
8	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PE-02, zona canal de descarga, OBRA DE EXCEDENCIAS.....	60
9	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PG-12, OBRA DE GENERACIÓN.....	61
10	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PG-14, OBRA DE EXCEDENCIAS...	62
11	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PG-09, zona canal de llamada, OBRA DE GENERACIÓN.....	63
12	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PD-01, zona túnel de desvío, OBRA DE DESVÍO.....	64
13	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bno. PD-04, zona portal de salida, OBRA DE DESVÍO.....	65
14	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. Bloques y/o fragmentos irregulares de roca, LA PEDRERA.....	66
15	Sistemas principales de facturas, fallas y foliación. OBRA DE DESVIOS.....	67
16	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PD-01. OBRA DE DESVIOS.....	68
17	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PD-04. OBRA DE DESVIOS.....	69
18	Sistemas principales de facturas, fallas y foliación. OBRA DE EXCEDENCIAS.....	70
19	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PE-02, PG-09. OBRA DE EXCEDENCIAS.	71
20	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PG-09, PG-12. OBRA DE EXCEDENCIAS.	72
21	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PG-14. OBRA DE EXCEDENCIAS.....	73
22	Sistemas principales de facturas, fallas y foliación. OBRA DE GENERACIÓN.....	74
23	Propiedades Índice y Mecánicas de la Roca Intacta. PG-05. OBRA DE GENERACIÓN.....	75

FIGURAS

No.	Título	
1	Vaso del Proyecto.....	7
2	Ubicación del Proyecto, La Parota, Guerrero.....	8
3	Arreglo general de las Obras.....	10
4	Eje de Cortina.....	11
5	Afloramientos Intemperizados.....	12
6	Afloramientos del Macizo Rocoso.....	12
7	Zona de Boquilla.....	13
8	Acercamiento del afloramiento mostrado en la fig. 4.....	13
9	Capa superficial.....	14
10	Roca Sana.....	14
11	Socavón 1.....	14
12	Socavón 1.....	15
13	Perfil y Planta de la zona de Estudio.....	16
14	Ejemplo de foliación y fracturamiento.....	17
15	Deposito de talud.....	17
16	Caracterización de macizos rocosos (Hoek y Brown 1997).....	25
17	Estimación del índice GSI.....	26
18	Barrenos Extraídos.....	28
19	Barrenos Extraídos.....	28
20	Barrenos Extraídos.....	29
21	Barrenos Extraídos.....	29

CUADROS

No.	Título	
1	Índice de Calidad del Macizo rocoso según Barton (Q).....	19
2	Valores de los parámetros característicos del índice (Q) según Barton.....	19
3	Parámetros de clasificación (RMR).....	23
4	Corrección por la orientación de discontinuidades.....	24
5	Clasificación (RMR).....	24
6	Características geotécnicas (RMR).....	24
7	Orientación de las discontinuidades (RMR).....	24
8	Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.....	24
9	Clasificación según Deer, Miller para el macizo rocoso.....	30
10	Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE DESVIOS...	34
11	Resultados de la exploración geofísica. OBRA DE DESVIOS.....	34
12	Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta. OBRA DE DESVIOS.....	35
13	Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE EXCEDENCIAS.....	38
14	Resultados de la exploración geofísica. OBRA DE EXCEDENCIAS.....	39
15	Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta. OBRA DE EXCEDENCIAS.	40
16	Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta Bno. PG-05. OBRA DE GENERACIÓN.....	44
17	Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE CONTENCIÓN	47
18	Resultados de la exploración geofísica. OBRA DE CONTENCIÓN.....	47
19	Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE CONTENCIÓN.....	48
20	Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta. OBRA DE CONTENCIÓN..	48

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico La Parota construye una alternativa viable para contribuir con la demanda de energía eléctrica en el área Central del país (Ref 14).

Como datos técnicos generales son:

Altura de cortina 169 m

Potencia instalada 900 MW

Generación media anual 1 444 MW

Desnivel aprovechable 130,3 m

Escorrentamiento medio anual 4 147 m³

Gasto máximo permisible 249,5 m³/seg

Generación de energía hidráulica 1630 GWh/año

Para el embalse, el vaso de la presa tendrá capacidad total de 6 790 Mm³ y cubrirá 13 728 hectáreas de superficie de los municipios de Acapulco, J. R. Escudero y San Marcos.

La tenencia de la tierra corresponde a 17 ejidos, 3 terrenos comunales y 1 propiedad privada.

Se han identificado 14 asentamientos humanos de los cuales habitan 2 774 personas agrupadas en 527 viviendas.

El Proyecto es para usos múltiples (Producción de electricidad en horas pico, dotación de agua potable al municipio de Acapulco, saneamiento del Río La Sabana y uso recreativo del embalse).

Se calcula un monto de inversión estimada de 685 millones de dólares. Con un tiempo estimado de 10 meses en realizar los estudios faltantes y 5 años de Construcción

En 2003 se hicieron estudios de ingeniería básica como topografía, geología, geología, perforación, sismotectónica, pedraplenes de prueba, estudios de bancos de materiales y geotécnica, Prospección arqueológica y salvamento, Proyecto de camino de acceso y Gestiones sociales para obtener la aceptación del desarrollo del proyecto.

El comportamiento de estructuras como presas de tierra y enrocamiento o de concreto, el diseño de túneles, galerías, taludes, etc., depende en muchos aspectos de las propiedades mecánicas, índice y sónicas del macizo rocoso, así como características de los taludes, terraplenes, inyecciones, tratamientos en la cimentación de la cortina, etc.

Para la caracterización del macizo rocoso como parte de la ingeniería básica se debe utilizar información de diferentes disciplinas como son Topografía, Sismotectónica, Geología y Geofísica.

Las características físicas de la roca y depósitos aluviales en el cauce, así como la presencia de tectonismo, fallas activas, inestabilidad o permeabilidad de las formaciones geológicas del sitio pueden ocasionar problemas serios durante la vida útil de la obra como

la estabilidad y el buen comportamiento de la presa y aun reducir su utilidad en conjunto o aumentar el costo de la obra.

Es importante el estudio que se hace en campo: **GEOLÓGICO**: Métodos directos como: levantamientos geológicos superficiales, sondeos, galerías, trincheras y pozos a cielo abierto, Seccionamiento del subsuelo, muestreo de los materiales, sondeos (descripción, clasificación, estudio y pruebas de laboratorio), Métodos indirectos como: fotogeología, métodos geofísicos y **MECÁNICA DE ROCAS**: Pruebas físicas de resistencia, módulo de deformabilidad, permeabilidad y esfuerzos en el macizo rocoso como en laboratorio (propiedades índice, mecánicas, sónicas y elásticas) para poder hacer un análisis con una visión amplia del sitio a estudiar.

Estos datos geológicos - geotécnicos llevan a un análisis para caracterizar el macizo rocoso con el que se puede hacer el diseño de tratamientos o la recomendación de una mejor orientación de obras (Fig. 1).

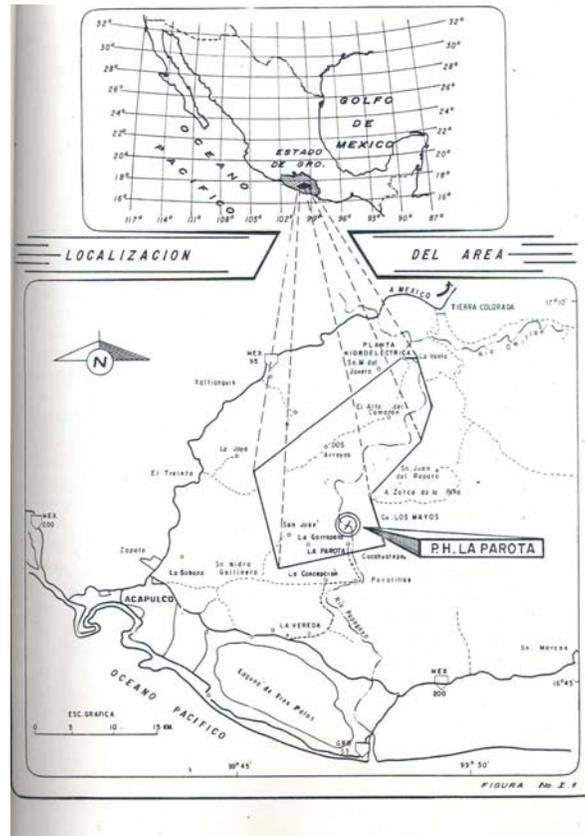


Fig. 1 Vaso del Proyecto

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Localización

El Proyecto se encuentra sobre el Río Papagayo, en la porción sur-central del estado de Guerrero, a 35 km aguas abajo de la Central Hidroeléctrica La Venta y a 45 km en línea recta al noreste del Puerto de Acapulco. Se localiza en las coordenadas geográficas 16° 56' 04" Latitud Norte y 99° 37' 40" Longitud Oeste (Fig. 2).



**Fig. 2 Ubicación del Proyecto
La Parota, Guerrero**

El acceso es por la carretera federal No. 200 (Acapulco-Pinotepa Nacional); a 23 km del recorrido desde Acapulco existe una desviación a la izquierda en el poblado denominado La Vereda y de ahí parte un camino de terracería con una longitud de 22 km hasta el sitio.

El escurrimiento medio anual captado en las cuencas de los Ríos Omitlán y Papagayo (7166 Km²) es de 4252×10^6 m³ y las cotas del cauce en los sitios La Venta y La Parota son, respectivamente, 90 y 28 msnm, respectivamente. Se estudiaron varias opciones de aprovechamiento, entre ellas, la de generación en cascada, o sea limitando la corona de la presa en La Parota a la elevación 90; las demás, presuponen la inundación de la planta hidroeléctrica y presa en La Venta, y de ellas resultó la opción más rentable construir en la Parota una presa con el coronamiento a la elevación 200 de altura máxima sobre el lecho de 172 m (y hasta la roca de unos 190m). Para este último caso y con el NAMO a la elevación 180 es posible generar 1464 GWh / año; en cambio, la generación eléctrica se reduciría a 650 GWh/año con una solución en cascada (La Venta + La Parota).

1.2 Antecedentes

La Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.A.H.R.) en 1976 realizó un estudio sobre el Río Papagayo, con el objetivo de construir una presa que se utilizaría para el abastecimiento de agua potable al Puerto de Acapulco, el sitio estudiado fue el llamado Los Llanos, simultáneamente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) estudió el sitio Las Parotas, localizado aguas arriba del sitio estudiado por la SARH.

En 1985, CFE realizó los estudios a nivel prefactibilidad y durante 1986-1987 se llevaron a cabo los estudios de factibilidad.

Debido a las malas condiciones físicas de la roca en la zona del vertedor, alternativa I, fue necesario realizar un estudio geológico en otra área para evaluar sus condiciones y determinar las características físicas de la roca para probable desplante de la obra de control de excelencias. Desde entonces se conocen las rocas que afloran en sitio, constituidas por gneis de biotita intrusionados por diques cuarzo feldespáticos y de anfibolita, clasificadas como de buena calidad para el desplante de las obras.

Por lo que el 19 de abril de 1989 fue hecha “la ampliación a los Estudios de factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico La Parota, Gro. (Vertedor Alternativa II y detalles de bancos de materiales arcillosos)”. Reubicando los lugares de las obras.

A finales del año 2002, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) solicitó la realización de los estudios de campo, los ensayos de laboratorio y las actividades de gabinete necesarias, para llegar a la etapa de preconstrucción del Proyecto Hidroeléctrico La Parota.

Los trabajos comenzaron a principios de 2003 y en abril se inició una nueva etapa de exploración para el P. H. La Parota que estuvo enfocada al estudio del sitio para construir una cortina de tipo Cara de Concreto. De acuerdo a lo programado tendrían una duración del orden de 12 meses; sin embargo, el 28 de julio de 2003 habitantes de la zona bloquearon los accesos a la obra, por lo cual los trabajos fueron suspendidos indefinidamente.

Para 2004 y con los trabajos aún suspendidos, la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos (CPH) solicitó se realizaran los análisis y diseños geotécnicos de la obras con base en la información disponible, con la finalidad de integrar una primera versión de los documentos de licitación del proyecto.

La revisión y el diseño geotécnico de los túneles de desvío fueron realizadas con base en el arreglo geométrico proporcionado por la CFE, así como con la información geológica y geofísica del sitio, derivada de los estudios realizados hasta el momento.

El arreglo y longitud de las estructuras de desvío fue definido teniendo en cuenta que la cortina será de enrocamiento con cara de concreto. El desvío esta formado por tres túneles excavados en el macizo rocoso de la margen derecha del río Papagayo y se complementa con la construcción de preataguías y ataguías de materiales graduados.

El gasto de diseño de la obra es de 11 647 m³/s, que corresponde a la avenida máxima histórica registrada en septiembre de 1967. Con una elevación de 181,00 m.

La zona donde quedarán alojadas las obras de generación, comprende un área de 160 X 700 m, quedando incluidas la obra de toma, tubería a presión, casa de máquinas, galería de oscilación, túnel de desfogue y la propia subestación eléctrica. Se realizó un análisis de la información geológica-geofísica obtenida en las diferentes etapas de exploración (factibilidad 1987), constituyendo así una retícula de investigación de la cual se tomaron 9 secciones con el eje analizado que integra a la obra de generación, cuya orientación corresponde a NE82°SW y con una longitud aproximada de 698 m.

1.3 Obras Principales

El proyecto consta de las siguientes obras principales (Fig. 3).

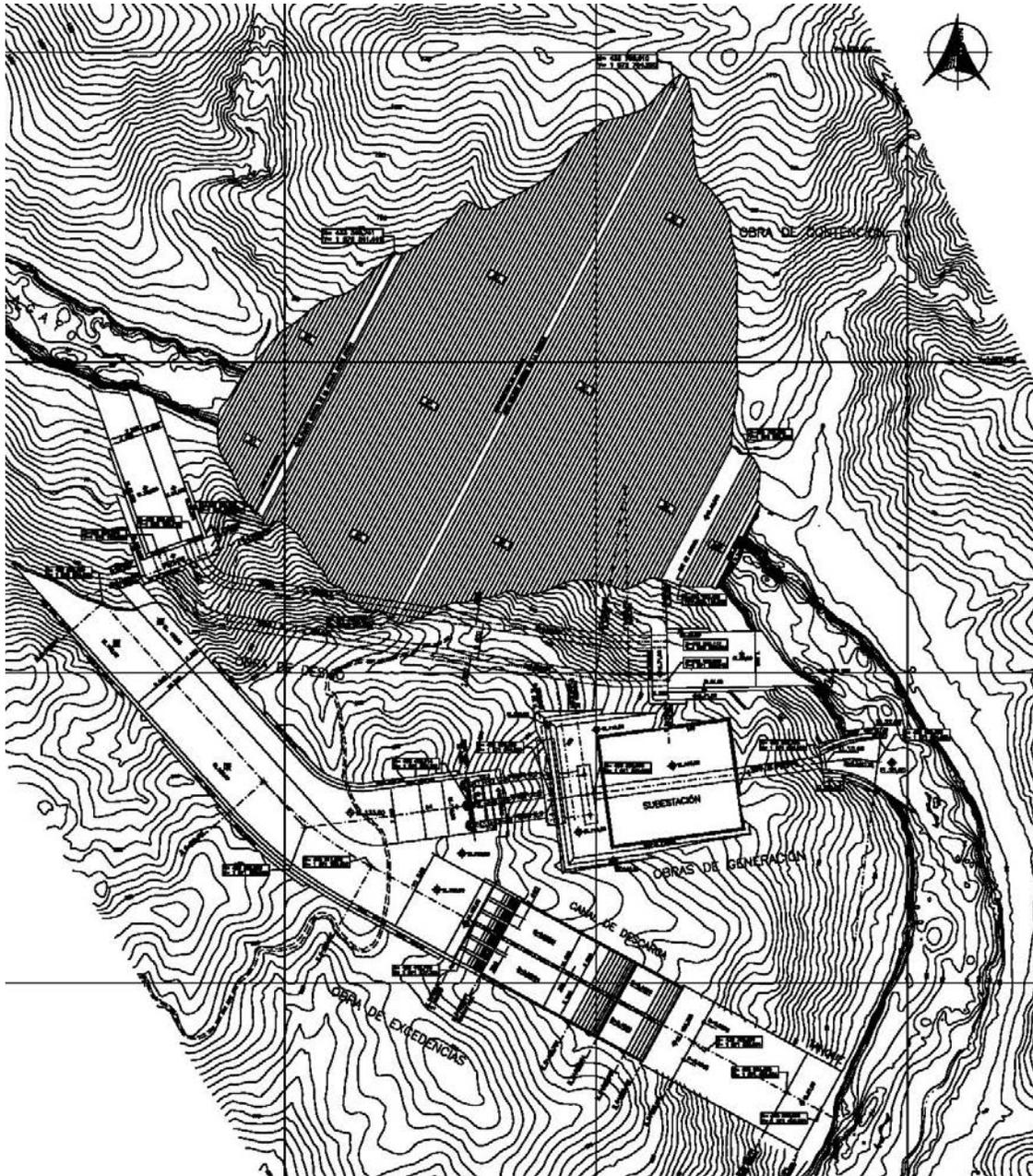


Fig. 3 Arreglo general de Obras

- **Obra de desvío**, estará formada por la preataguía de aguas arriba y un túnel de predesvío de 10 m de ancho y altura; la ataguía de aguas arriba que estará integrada al cuerpo de la cortina y la ataguía de aguas abajo, así como por 2 túneles de sección portal de 15 m de ancho y 15 m de altura, alojados en la margen derecha, diseñados con un periodo de retorno de 159 años y capaces de manejar una avenida máxima de 11 647 m³/s.
- **Obra de contención**. Será del tipo de enrocamiento y cara de concreto (ECC) con corona a la elevación +181,75 msnm, lo que implica una presa de 169 m de altura máxima y 3 m de bordo libre, con un volumen de enrocamiento del orden de 13 750 000 m³ (Fig. 4).



Fig. 4 Eje de Cortina

- **Obra de excedencias**, formada por un canal de llamada a cielo abierto común a la toma y excedencias, estructura de control, con seis compuertas radiales, canal de descarga con muro divisorio y capacidad máxima de descarga de 18 155 m³/s, cubeta deflectora y tanque disipador.
- **Obra de generación**, constituida por la obra de toma, las tuberías a presión, la casa de máquinas, los túneles de aspiración, la galería de oscilación, el túnel de desfogue y las obras auxiliares.

Aguas arriba del sitio de la presa, se construirán seis diques de contención, que serán de materiales graduados con núcleo de arcilla, con alturas que varían entre 12,4 y 25 m y con taludes exteriores 2:1 (H: V) aguas arriba y aguas abajo.

1.4 Geología Superficial

Con base en los levantamientos geológicos superficiales en el área de estudio, se denota que en general la zona se encuentra cubierta por una capa delgada de suelo que puede alcanzar espesores hasta de 0,70 m, lo que origina que se observen pocos afloramientos, aunque estos regularmente se presentan intemperizados y descomprimidos, esto acorde a las observaciones registradas en cortes sobre los caminos de acceso (Fig. 5).



Fig. 5 Afloramientos Intemperizados.

Las rocas que afloran en el área del embalse y de la boquilla son principalmente metamórficas las cuales corresponden al Complejo Xolalpa, considerados de edad Paleozoico ó Cretácico.

En la región se distinguieron dos tipos de rocas:

- 1) Esquistos de biotita, principalmente al sur del embalse
- 2) Gneis cuarzo-feldespático de biotita que afloran en la mayor parte del embalse.

El Complejo Xolalpa se encuentra intrusionado por diques de composición granítica y anfibolítica.

Fracturamiento del gneis de biotita a lo largo de los planos de foliación en la parte superficial del macizo rocoso (Fig. 6).



Fig. 6 Afloramiento del macizo rocoso.

En la zona del embalse a 35 km aguas arriba del proyecto La Parota, en las inmediaciones de la C. H. La Venta, afloran otros tipos de rocas como son: metatobas, metandesitas y metaconglomerados de la Formación Chapolaza (Triásico); calizas y dolomías

recristalizadas de color oscuro con abundante carsticidad (Cretácico) y rocas piroclásticas y derrames andesíticos-basáltico de las Formaciones Alquitrán y Papagayo (Terciario).

El aflojamiento de gneis de biotita en la zona de la boquilla. Nótese que la foliación esta orientada uniformemente (Figs. 7 y 8).



Fig. 7 Zona de Boquilla



Fig. 8 Acercamiento del afloramiento mostrado en la figura 4.

1.5 Estudio Geofísico

La capa superficial de roca alterada alcanza velocidades de onda sísmica del orden de 350 a 2000 m/s (Fig. 9), mientras que la roca fracturada alcanza velocidades hasta de 3000 m/s (Fig. 10).

La roca sana reporta velocidades de onda que van de los 4000 a 5000 m/s. (Refs. 2 y 3).



Fig. 9 Capa Superficial



Fig. 10 Roca Sana

En las figuras 11 y 12 se muestra el socavón 1 en el interior del macizo rocoso, donde las paredes se encuentran intemperizadas.



Fig. 11 Socavón 1



Fig. 12 Socavón 1

1.6 Litología y características estructurales

Todas las muestras son rocas metamórficas. Las muestras extraídas en la zona de la boquilla corresponden a gneis de biotita (mayor proporción de micas que cuarzo y feldespatos, presentando un bandeamiento bien definido debido a la intensidad de la foliación) y las muestras del área del vertedor, son gneises cuarzo feldespáticos (mayor proporción de cuarzo y feldespato que de biotita, con bandeamiento por foliación).

En los barrenos se observan diques de composición ácida e intermedia que atraviesan al gneis en forma discordante y otros en forma paralela a la foliación; sus contactos con la roca encajonante están generalmente sellados.

La discontinuidad más importante, tanto por su desarrollo como por su frecuencia, la constituye la foliación. Esta característica está mejor definida en el gneis de biotita (zona de la boquilla) donde además se observan algunas fracturas en los planos de foliación por relajación de esfuerzos en la zona superficial, a lo largo de las bandas de concentración de micas especialmente y a profundidad según se observa en los barrenos, el mayor número de las fracturas ocurre en las bandas de mica. Las fracturas que atraviesan perpendicularmente u oblicuamente a los planos de foliación son poco frecuentes, con espaciamiento de 6 a 9 m en promedio y son rugosas, planas u onduladas y cerradas, según se observa en superficie y en núcleos de barrenos.

Las muestras superficiales corresponden al gneis de biotita. Todas las que se ensayaron presentan una fractura cerrada a través de un plano de foliación y son de un mismo horizonte.

En la Geología superficial el macizo rocoso se encuentra formado casi exclusivamente por un gneis cuarzofeldespático alterado en la superficie, el cual se encuentra afectado por intrusiones consistentes en diques foliados de dos composiciones (máficos y graníticos) y un pequeño cuerpo intrusivo de naturaleza granítica (Fig. 13).

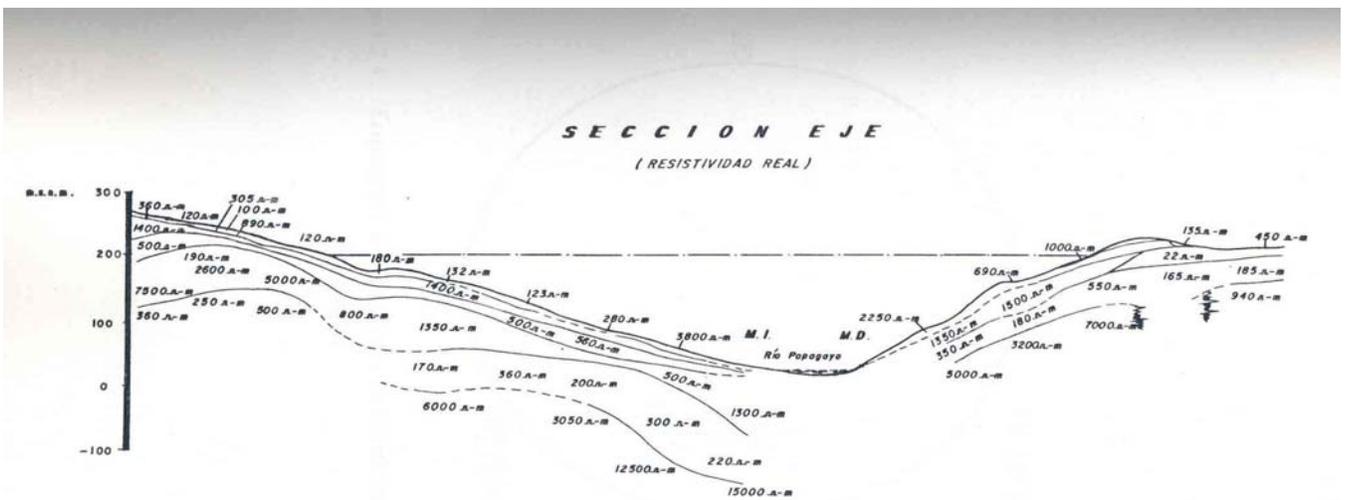
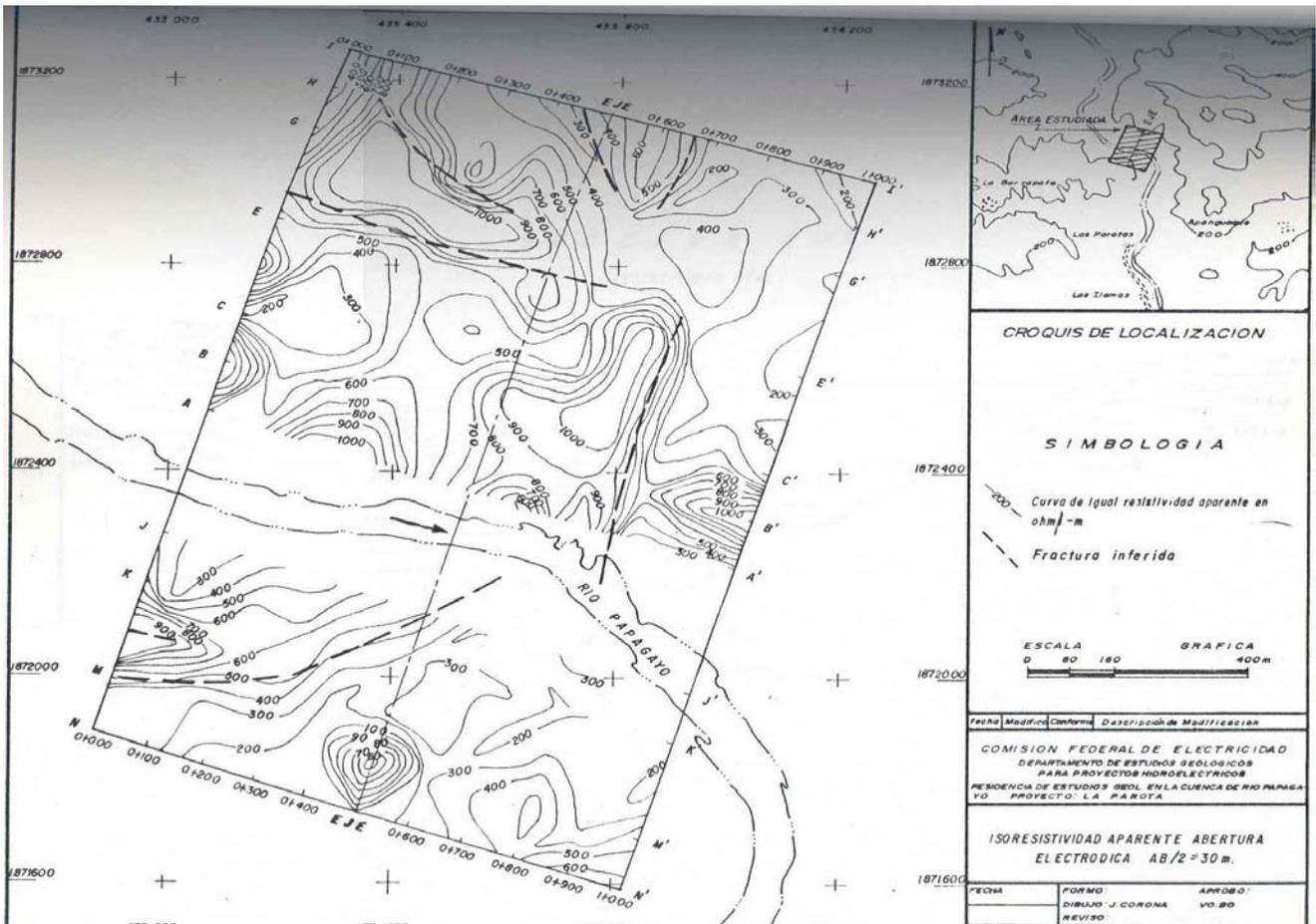


Fig. 13 Planta y perfil de la zona en estudio

Existe una foliación N01°E, con echados de 50° NW, un azimuth del echado 50°/271°, un fracturamiento escaso, debido al alto grado de alteración superficial (Fig. 14).



Fig. 14 Ejemplo de foliación y fracturamiento

Depósitos de talud (Fig. 15), a la entrada del socavón No. 1 en un espesor aproximado de 4m.



Fig. 15 Deposito de Talud

2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

2.1. Clasificaciones Geomecánicas

2.1.1 Barton

Para evaluar la geomecánica en la boquilla del Proyecto La Parota se emplearon los métodos sugeridos por **Barton Q o El índice de calidad NGI**, desarrollada 1974, está basado en la evaluación de seis parámetros, cuyos rangos de valores están definidos de acuerdo a sus características y expresados matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Q = Índice de calidad del macizo

RQD = Índice de calidad de la roca

J_n = Número de sistema de juntas

J_r = Número de la rugosidad de las fisuras

J_a = Número de la alteración de las fisuras

J_w = Factor de reducción por la presencia de agua en las juntas

SRF = Factor de reducción por esfuerzos

Cada uno de los tres factores de la expresión anterior, representan lo siguiente:

$\left[\frac{RQD}{J_n} \right]$ tamaño de los bloques

$\left[\frac{J_r}{J_a} \right]$ resistencia al corte entre los bloques

$\left[\frac{J_w}{SRF} \right]$ influencia del estado tensional

por lo que

$$Q_{\min} = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Q_{\min} = (tamaño mínimo de los bloques)*(resistencia al corte entre los bloques)*(influencia del estado tensional)

$$Q_{\max} = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Q_{\max} = (tamaño máximo de los bloques)*(resistencia al corte entre los bloques)*(influencia del estado tensional)

El Índice Q varía entre 0.001 y 1000, de acuerdo con la siguiente clasificación del macizo rocoso.

Cuadro 1 Índice de Calidad del Macizo rocoso según Barton (Q)

Q	Calidad
Entre 0.001 y 0.01	Roca excepcionalmente mala
Entre 0.01 y 0.1	Roca extremadamente mala
Entre 0.1 y 1.0	Roca muy mala
Entre 1.0 y 4	Roca mala
Entre 4 y 10	Roca media
Entre 10 y 40	Roca buena
Entre 40 y 100	Roca muy buena
Entre 100 y 400	Roca extremadamente buena
Entre 400 y 1000	Roca excepcionalmente buena

Los valores del índice Q bajos corresponden a zonas donde el fracturamiento es abundante, las estructuras están abiertas y los planos poco rugosos.

En el siguiente cuadro se muestran los criterios de valoración de cada uno de estos parámetros característicos del índice Q.

Cuadro 2 Valores de los parámetros característicos del índice (Q) según Barton

Descripción	Valor
1. Índice de calidad de roca	RQD
A. Muy mala	0 – 25
B. Mala	25 – 50
C. Media	50 – 75
D. Buena	75 – 90
E. Excelente	90 – 100
Notas:	
i. Cuando se obtienen valores del <i>RQD</i> inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular en índice Q	
ii. Los intervalos de 5 unidades para el <i>RQD</i> , es decir, 100, 95, 90, etc., tienen suficiente precisión	
2. Índice de diaclasado	J_n
A. Roca masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa	0.5 - 1.0
B. Una familia de diaclasas	2
C. Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D. Dos familias de diaclasas	4
E. Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F. Tres familias de diaclasas	9
G. Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H. Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrenos	15
I. Roca triturada, terrosa	20
Notas:	
i) En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3J _n)	
ii) En los portales de los túneles se utiliza la expresión (2J _n)	
3. Índice de rugosidad de las discontinuidades	J_r
a) Contacto entre los dos caras de la discontinuidad	
b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante	

inferior a 10 cm.		
A. Diaclasas discontinuas		4
B. Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares		3
C. Diaclasas onduladas, lisas		2
D. Diaclasas onduladas, perfectamente lisas		1.5
E. Diaclasas planas, rugosas o irregulares		1.5
F. Diaclasas planas, lisas		1.0
G. Diaclasas planas, perfectamente lisas		0.5
Nota:		
i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden		
c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante		
H. Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto con las caras de la discontinuidad		1.0
I. Zona arenosa, de grava o roca triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad		1.0
Notas:		
i) Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m, se debe aumentar al índice J_r en una unidad.		
ii) En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten alineaciones, y que dichas alineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor $J_r = 0.5$.		
4. índice de alteración de las discontinuidades	ϕ_r	J_a
a) Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedios)		
A. Discontinuidad cerrada, dura., sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	----- 25° - 35°	0.75 1.0
B. Planos de discontinuidad inalteradas, superficies ligeramente manchadas	25° - 30°	2.0
C. Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	20° - 25°	3.0
D. Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	8° - 16°	4.0
E. Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, gráfico, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas		
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)		
F. Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla, etc.	25° - 30°	4.0
G. Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	16° - 24° 12° - 26°	6.0 8.0
H. Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	6° - 12°	8.0 - 12
I. Rellenos de arcillas expansivas, es decir montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor J_a depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas		
c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)		
J. Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver	6° - 24°	6 - 8

G, H e I para K. La descripción de las condiciones de las arcillas)		ó 8.0 - 12
L. zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecibles	-----	5.0
M. Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H e I, N. para la condición de la descripción de las arcillas)	6° - 24°	10 – 13 ó 13 - 20
Notas: los valores expresados, para los parámetros J_r y J_a se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx \sigma_n \operatorname{tg}^{-1}(J_r / J_a)$)		
5. Factor de reducción por agua en las fisuras	Presión de agua kg/cm²	J_w
A. Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, localmente	< 1 1 – 2.5	1.0 0.66
B. Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos		
C. Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2.5 – 10	0.5
D. Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5 – 10	0.33
E. Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, disminuyendo con el tiempo	> 10	0.2 – 0.1
F. Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0.1–0.05
Notas: i) Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se toman medidas de drenaje, puede incrementarse el valor J _w . ii) No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación del hielo.		
6. Factor de reducción de esfuerzos	SRF	
a) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producir desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando		
A. Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)		10.0 5.0
B. Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación ≤ 50 m)		
C. Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m)		2.5
D. Múltiples zonas de fracturas en roca competente (sin arcilla), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)		7.5
E. Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), (profundidad de la excavación ≤ 50 m)		5.0
F. Zonas de fracturas aisladas en roca competente (sin arcilla), (profundidad de la excavación > 50 m)		2.5
G. Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrenos, etc. (cualquier profundidad)		5.0
Nota: i) Se reducen los valores expresados del SRF entre 20 – 50% si las zonas de fracturas sólo ejercen cierta influencia pero no interceptan la excavación		
b) Rocas competentes, problemas de esfuerzos en las rocas	σ_c / σ_1	σ_θ / σ_c SRF

H. Esfuerzos pequeños cerca de la superficie, diaclasas abiertas	> 200 200-10	< 0.01 0.01- 0.3	2.5 1.0
I. Esfuerzos medios, condiciones de esfuerzos favorables			
J. Esfuerzos elevados, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 - 5 5 - 5	0.3-0.4 0.5-0.65	0.5 - 2 5 - 50
K. Desprendido moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	3 - 2	0.65 - 1	50-200
L. Desprendimiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	< 2	> 1	200-400
M. Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas			
Notas:			
i) Si se comprueba la existencia de campos de esfuerzos fuertemente anisótropicos; cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, si se disminuye el parámetro σ_c hasta $0.75\sigma_c$; si $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se toma el valor $0.5 \sigma_c$. σ_c es la resistencia a la compresión simple, σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor y σ_θ es el esfuerzo tangencial máximo, estimado a partir de la teoría de la estabilidad.			
ii) En los casos en los que la profanidad de la clave del túnel es menor que el ancho de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor <i>SRF</i> entre 2.5 y 5 unidades (véase clase H).			
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas		σ_θ/σ_c	<i>SRF</i>
O. Presión de deformación baja		1 - 5	5 - 10
P. Presión de deformación alta		> 5	10 - 20
Notas:			
i) Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades: $H > 250 Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992). La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(\text{MPa}) \approx 7\gamma Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993).			
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua			<i>SRF</i>
Q. Presión de expansión baja			5 - 10
R. Presión de expansión alta			10 - 15
$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$			

2.1.2 Bienawski

Inicialmente fue desarrollada en 1973 y actualizada en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso y de excavación y sostenimiento en las obras subterráneas. Toma en cuenta seis parámetros básicos que son:

- 1) Resistencia de la roca inalterada (usando la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial de Deere y Miller)
- 2) El RQD (índice de la calidad de la roca, Deere)
- 3) Espaciamiento de las discontinuidades
- 4) Estado de las discontinuidades (abertura, continuidad, rugosidad, estado de las paredes, relleno en fisuras)
- 5) Las condiciones del agua subterránea
- 6) La orientación de las discontinuidades respecto a la excavación

Para realizar la clasificación ó sistema RMR, el macizo es dividido en zonas que con base en las observaciones y toma de datos de campo en los diferentes sistemas o familias de discontinuidades, presenten características geológicas más o menos uniformes y aplicando la siguiente cuadro, la cual presenta los seis parámetros descritos anteriormente y que tienen un valor numérico que se suma o resta definiendo cinco categorías de calidad de roca.

Cuadro 3 Parámetros de clasificación (RMR)

1	Resistencia de la Roca Inalterada (MPa)	Ensaye de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Resistencia a compresión Uniaxial	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciamiento de las discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua subterránea	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua / Esfuerzo Principal Mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación		15	10	7	4	0	

Cuadro 4. Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regular	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	- 2	- 5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Cuadro 5. Clasificación (RMR)

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Cuadro 6. Características geotécnicas (RMR)

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de sostenimiento y longitud	10 años con 15 m de claro	6 meses con 8 m de claro	1 semana con 5 m de claro	10 horas con 2.5 m de claro	30 minutos con 1 m de claro
Cohesión	> 4 Kg/cm ²	3-4 Kg/cm ²	2 - 3 Kg/cm ²	1 - 2 Kg/cm ²	< 1 Kg/cm ²
Angulo de fricción	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Cuadro 7. Orientación de las discontinuidades (RMR)

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Buz. 45 - 90	Buz. 20 - 45	Desfavorable
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy favorable	Media	

Como podemos ver en el cuadro 3, esta clasificación distingue cinco clases, cuyo significado geotécnico se muestra en el cuadro 6, donde a cada clase del macizo se le asigna una calidad y unas características geotécnicas. Así por ejemplo, la clase I (roca muy buena), correspondería con un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtraciones importantes de agua y poco meteorizado, mientras que una roca de calidad muy mala (clase V), correspondería con una roca poco resistente, muy fracturada, alterada, con presencia de agua y probablemente materiales arcillosos en las paredes de las discontinuidades.

Cuadro 8. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 4 kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm ²	< 15°

2.1.3 Calidad del macizo rocoso con relación RMR

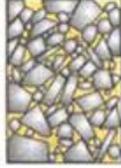
Con el fin de ampliar el rango de aplicación del criterio generalizado a macizos rocosos de baja calidad, y emplear parámetros más geológicos para la evaluación de su resistencia, Hoek (1994) y Hoek et al, (1995), introdujeron un nuevo índice de calidad llamado *GS/ (Geological Strength Index)*, que evalúa la calidad del macizo en función del grado y de las características de fracturamiento, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.

El índice *GSI* equivale al *RMR* de Bieniawski según la definición de 1976 para un macizo rocoso seco, o el *RMR* – 5 según la versión de 1989. En la figura 16, se muestra la caracterización de macizos rocosos con base en su grado de fracturamiento y estado de las juntas, mientras que en la figura 17, se observa la estimación del índice *GSI* con base a descripciones geológicas

<p>ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA <i>GSI</i> (<i>geological strength index</i>)</p> <p>A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice <i>GSI</i>.</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	<p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	80	70			
	<p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>		60	50		
	<p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.</p>			40	30	
	<p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>				20	10

Estimación del índice *GSI* en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997).

Figura 16 Caracterización de macizos rocosos (Hoek y Brown, 1997)

<p>CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA</p> <p>Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	<p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	<p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	<p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.</p>	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	<p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Caracterización de macizos rocosos en base a su grado de fracturación y estado de las juntas (Hoek y Brown, 1997).

Figura 17 Estimación del índice GSI, (Hoek y Brown, 1997)

Cabe hacer mención que el GSI no es una clasificación como tal, sin embargo, es posible obtener valores de resistencia del macizo rocoso, para lo cual debe tomarse en cuenta que:

- Este criterio es válido únicamente para macizos rocosos que presenten un comportamiento isótropo
- El índice GSI se basa en estimaciones cualitativas y en modelos simples que difícilmente se asemejan a condiciones reales
- Los resultados obtenidos, deben ser cotejados con otros métodos y con datos de campo

En la tabla 1 se pone los resultados para evaluar la geomecánicamente el macizo rocoso en la zona de la boquilla.

2.2 Ensayes en núcleos de Barrenos

Peso volumétrico (NMX-C-164-ONNCCE-2002)

El peso volumétrico (γ) se obtuvo de las probetas labradas para compresión simple, compresión simple con módulo, tensión indirecta y compresión triaxial. Se obtuvo la descripción litológica, se toma el peso seco de la muestra y el volumen de la muestra o probeta (medido directamente o por el volumen de agua desalojado). Se determinó el peso volumétrico con contenido de agua, ambiente y saturado (γ_m y γ_{sat}).

Contenido de Agua (ASTM-D-2216-98)

La prueba de contenido de agua (W), se realiza pesando el recipiente de vidrio, se regresa y se pesa muestra y recipiente, se introduce al horno de 12 a 24 hrs, a una temperatura de 110 ± 5 °C, se deja enfriar y se pesa de nuevo, los barrenos ensayados son PD-01, PD-04, PE-02, PG-05, PG-09, PG-12 y PG-14.

Índice de alteración y Absorción (ISRM)

La prueba de alteración (i), se realizó con pedacearía de muestras. Primeramente se define la litología y el estado físico de la muestra, se introduce por 24 ± 4 hrs., la muestra en el horno a 105 ± 5 °C, así se determina el peso seco y se sumerge en agua y se determina el peso húmedo haciéndose el cálculo. La prueba de absorción (a), se realizó con pedacearía de muestras. Primeramente se define la litología y el estado físico de la muestra, se introduce por 24 ± 4 hrs., la muestra en el horno a 105 ± 5 °C, así se determina el peso seco y se sumerge en agua y se determina el peso húmedo haciéndose el cálculo, los barrenos ensayados son PD-01, PD-04, PE-02, PG-05, PG-09, PG-12 y PG-14.

Intemperismo Acelerado (ASTM-C-88-99)

La prueba de intemperismo acelerado (Ia) se realizó con pedacearía de muestras. Las muestras se lavan, se pasan por maya No 50, se pesa y se mete al horno durante 24 ± 4 hrs. se saturan 48 hrs., la muestra en el horno a 105 ± 5 °C, así se determina el peso seco. Antes de empezar la prueba se sumergen en una solución (sulfato de sodio $\text{Na}_2\text{O} \times \text{H}_2\text{O}$) a 21 ± 1 °C, se mete en el horno por 6 hrs, se saca y se enfría, este procedimiento se repite 4 ciclos más. Ya que concluyen los 5 ciclos se lavan con agua a temperatura 43 ± 5 °C, eliminando el sulfato de sodio y se utiliza la prueba de cloruro de bario para revisar que no quede ningún residuo. Se introduce nuevamente por 22 ± 2 hrs a una temperatura de 105 ± 5 °C, se enfrían y se pesan y la diferencia de los pesos así se determina, los barrenos ensayados son PD-01, PD-04, PE-02, PG-05, PG-09, PG-12 y PG-14.

Compresión simple y determinación del módulo de elasticidad (NMX-C-164-ONNCCE2002, ASTM-D-2216-98 ASTM-D-3148-02)

Para la prueba de compresión simple y determinación del módulo de elasticidad (R_c y M_c), se obtienen primeramente las probetas para el ensayo, que fueron de 4.7 cm de diámetro con una relación altura/diámetro de 2.5 aproximadamente. Se saturan, se montan en la prensa, se instrumentan y se empieza la prueba llevando un control de carga de 2 ton/ min, así que la falla se produjo entre 5 y 15 minutos. La deformación axial se midió con dos

micrómetros (0.001mm) apoyados en el cuerpo de la probeta. El módulo de elasticidad se definió como la tangente de la curva esfuerzo-deformación al 50% de la carga de ruptura. Se probaron para los barrenos PD-01, PD-04, PE-02, PG-05, PG-09, PG-12 y PG-14 respectivamente.

Tensión indirecta (ASTM-D-3967-95^a)

La prueba de tensión indirecta (Rt) o prueba Brasileña, se realizó con probetas de 4.7 cm de diámetro y 2.5 cm de altura. Las muestras se deben colocar de tal forma que las muestras deben estar orientadas para que la carga axial se aplique de forma paralela a las posibles fisuras o puntas débiles, la carga se aplica en sobrecargas de forma constante, se ensayaron saturadas y los barrenos ensayados son PD-01, PD-04, PE-02, PG-05, PG-09, PG-12 y PG-14.

En la tabla 2 se observan los promedios de los ensayos por zona (Margen Izquierda, Cauce del Río, Margen Derecha)

2.3 Resultados de pruebas en núcleo de barrenos

Los resultados de las pruebas índice y mecánicas realizadas por los barrenos se presentan en las tablas de la 3 a la 11

Las propiedades del macizo rocoso, información geológica y la geofísica, nos ayuda a tener idea de la conformación de macizo rocoso, por lo que posteriormente se puede hacer una interpretación geológica – geotécnica.



Fig. 18 Barrenos Extraídos



Fig. 19 Barrenos Extraídos



Fig. 20 Barrenos Extraídos



Fig. 21 Barrenos Extraídos

Los valores indicados en la tabla son los promedios aritméticos de cada barrenos y el número de ensayos efectuados. La variación de los resultados con la profundidad se puede observar en la tabla de propiedades de cada barrenos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las diferentes concentraciones de minerales entre los gneis de la boquilla (gneis de biotita o político) y los de la zona del vertedor (gneis cuarzo-feldespático) dan como resultado diferencias en las propiedades de la roca. Los valores de peso volumétrico (γ) del gneis de biotita fueron bastante uniformes, excepto en las zonas de alta concentración de cuarzo, en donde aumentaba hasta 2.94 gr/cm^3 . El peso volumétrico del gneis cuarzo-feldespático es menor que el del gneis de biotita; esta reducción de γ es más fuerte en las zonas de alteración de feldespatos, donde resultaron valores de $\gamma=20.03 \text{ kN/cm}^3$.

PROPIEDADES MECÁNICAS

La anisotropía característica de este tipo de rocas así como las diferencias en la proporción de mica, cuarzo y feldespato de los dos tipos de gneis, además del grado de alteración de los feldespatos, repercutieron en los resultados de las pruebas mecánicas.

La resistencia a compresión simple (R_c) del gneis de biotita es máxima cuando la carga es aplicada en dirección perpendicular a los planos de foliación (barrenos 1) y se reduce entre el 30% y 50% aproximadamente, cuando la carga se aplica con un ángulo de 20 a 50° con respecto a la foliación (barrenos 3 y 4). También la resistencia se reduce –entre 40 y 80%

de la resistencia promedio con carga perpendicular a la foliación- cuando la carga se aplica inclinada a la foliación y además, hay mayor concentración de micas (barreno 4). La resistencia a compresión simple de gneis cuarzo-feldespático es mayor a la del gneis de biotita, pero se reduce en un 50%, en promedio, cuando hay alteración de feldespatos (la reducción de la resistencia fue hasta un 80% en el gneis más poroso).

En el gneis de biotita el valor promedio del módulo de elasticidad (E) en el sentido perpendicular a la foliación (barreno 1) es menor que en sentido diagonal (barreno 3) debido a la mayor compresibilidad de las micas con respecto al cuarzo y los feldespatos. El módulo de elasticidad en el barreno 4 fue bajo debido a que, aunque la dirección de la carga fue diagonal a la foliación, tenía bandas de mica de mayor espesor que en los barrenos 1 y 3. El módulo de elasticidad del gneis cuarzo-feldespático es mayor al de gneis de biotita pero se reduce un 60% en el gneis poroso (barreno G-3).

Los resultados de los ensayos a compresión simple y su clasificación correspondiente al criterio de Deer, Miller según este diagrama, la roca intacta se clasifica como sigue:

Cuadro 9. Clasificación según Deer, Miller para el macizo rocoso

Tipo	Resistencia	Relación de Módulo	Clasificación
Gneis de biotita (perpendicular a la foliación)	Media	Media	CM
Gneis de biotita (diagonal a la foliación)	Baja	Alta	DH (DM)
Gneis cuarzo feldespático (sano)	Media-alta	Alta	CH BH
Gneis cuarzo feldespático (poroso)	Baja	Media	DM

Debe notarse que la relación de módulo alto del gneis de biotita (DH) no es una característica inherente a esta roca, sino que se debe a la baja resistencia de las probetas por la inclinación de la foliación respecto a la dirección de la carga aplicada (40°-70°) lo cual provoca una falla por las discontinuidades.

Los resultados de las pruebas de compresión triaxial se ordenaron en el diagrama de Mohr, cuando la falla fue transversal a la foliación. No son representativos los resultados cuando la falla se produce por la foliación ya que en este caso la resistencia depende del ángulo de la foliación con respecto a las cargas y no de la presión confinante, por lo tanto, dichos resultados no son adecuados para clasificar la roca intacta.

3. ESTRUCTURAS (REF15)

3.1 Obra de Desvío

3.1.1 Características Geométricas

El portal de entrada estará constituido por taludes verticales que parten desde las cotas 25,50, 27,0 y 30,0 msnm y que a partir de la primera berma presentan un cambio con pendiente 0,25:1 a 0,5:1. Los canales de llamada para los túneles de desvío y predesvío, que arrancan desde el cauce del río, quedarán separados por pilares de roca in situ, que tendrán funciones principalmente hidráulicas para el pilar entre el predesvío (túnel 1) y el túnel 2, y de mejora en la estabilidad del talud frontal para caso del pilar entre los túneles de desvío 2 y 3.

La obra de desvío quedará conformada por tres túneles excavados en la masa rocosa de la margen derecha del río Papagayo y se complementa con la construcción de una preataguía y una ataguía de materiales graduados. Con el fin de poder adelantar los trabajos en la obra de desvío, se prevé la construcción de un túnel de predesvío (túnel 1) de sección portal de 10 m de ancho y alto, con longitud de 525,58 m aproximadamente. Este predesvío conducirá sólo las avenidas del estiaje.

Sensiblemente paralelos al predesvío se excavarán los dos túneles de sección portal de 15 m de ancho y alto, y de 571 y 598 m de largo aproximadamente (identificados como túneles 2 y 3), a través de los cuales se pretende descargar un gasto máximo, entre ambos, del orden de 11 mil m³/s.

El portal de salida del túnel de predesvío, se excavará con taludes verticales a partir del piso en la elevación 25,0 msnm, hasta la berma en la elevación 55,0, desde ésta, el talud concluirá hacia el terreno con pendiente de 0,25:1. El emportalamiento de salida para los túneles 2 y 3, separado del portal de predesvío, iniciará con taludes verticales desde la cota 26,0, con bermas a la elevación 52,0 y 70 en los taludes laterales frontal, respectivamente, desde estas elevaciones continúa con pendientes 0,25:1, finalizando con taludes 0,5:1 en los hasta su intersección con el terreno(REF 15).

3.1.2 Descripción geológica

Las obras de desvío se excavarán en la margen derecha del Río Papagayo al SW del Poblado de La Parota y consideran una superficie de 72 Ha que está limitada por las coordenadas UTM X= 432700 - 433900 y Y= 1 871900 – 1872500.

Los estudios geológicos realizados en distintas campañas exploratorias, han caracterizado al macizo rocoso que conforma el sitio de estas obras como rocas metamórficas del Complejo Xolapa, el cual está constituido por gneises de biotita y cuarzo-feldespáticos, fracturado e intrusionado por diques graníticos o anfibolíticos. Toda esta secuencia está cubierta por depósitos aluviales y de talud no consolidados.

Los gneises de biotita y cuarzo feldespáticos forman un paquete de potente espesor, muestran una textura granoblastica de grano medio a fino y son los de mayor ocurrencia, se distinguen por su foliación persistente, esta última, es la principal característica estructural

del macizo rocoso, representada por una alternancia en bandas de micas, cuarzo y feldespatos.

El gneis sano es de color gris claro a blanco grisáceo, duro y compacto; cuando está afectado por el intemperismo, su coloración cambia a tonalidades pardas. En la zona del portal de entrada se estima que existen de 3 a 6 m de espesor de roca intemperizada y descomprimida que sobre yace a una porción de roca de 6 a 7 m de espesor con fracturamiento moderado.

En el sitio para las obras de desvío, se han observado cuerpos intrusivos de composición granítica en forma de diques de color blanco grisáceo a pardo, siendo estos de una consistencia sólida. De acuerdo con lo observado en los reconocimientos geológico superficiales, existe la posibilidad de que a profundidad existan más cuerpos intrusivos que pueden alterar a las rocas que los encajona, además de que en otras partes cercanas al área, hay evidencia de alteraciones hidrotermales de bajo grado.

Los depósitos aluviales, residuales y de talud, cubren ampliamente a las rocas preexistentes y dependiendo del tipo de depósito, su constitución esencial varía de fragmentos de roca angulares, subredondeados y redondeados en tamaños de diámetro variable contenidos en una matriz arenosa o areno-arcillosa, en espesores que fluctúan entre los 0,10 a 4,00 m.

El área donde se proyecta la construcción de los túneles de desvío está constituida por gneises de biotita y cuarzo feldespáticos de color gris a gris verdoso, con abundante cuarzo de segregación que están intrusionados por diques graníticos y anfibolíticos. Las partes superficiales de este tipo de rocas, intemperizan a colores ocres que en combinación con la formación de suelo, constituyen la principal cubierta en forma de depósitos de talud, suelo y aluvión cuyos espesores varían de unos cuantos centímetros hasta 5 m en promedio.

Las principales discontinuidades están representadas por la foliación y los sistemas de fracturamiento, aunque existen algunas fallas, los trabajos geológicos indican que estas son de poca importancia debido a que se encuentran selladas por diques.

En términos generales el subsuelo para el emplazamiento de las obras de desvío está constituido por el gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos, a profundidad (25 a 30 m) la composición litológica del gneis cambia de biotita a cuarzo-feldespático.

3.1.3 Geología estructural de la margen derecha

A partir de las determinaciones geológico-estructurales, realizadas superficialmente en la margen derecha, se definieron como principales sistemas de discontinuidades: Las fallas, las fracturas y la foliación (tabla 12).

Fallas

La margen derecha, se encuentra afectada por planos de falla pequeños del tipo normal, lateral izquierdo e inversas de poca ocurrencia y continuidad, algunas están selladas por cuarzo de segregación o arcillas como material de relleno en espesores hasta de 2 cm, son sistemas de fallas locales paralelas al sistema de fracturamiento predominante. Las juntas se describen como onduladas o poco rugosas.

Fracturas

Existen en la mayoría de los afloramientos intemperizados y decomprimidos, en afloramientos de roca sana su ocurrencia se estima en una fractura por metro, están selladas por cuarzo de segregación o material de tipo granítico, alcanzando en algunos casos espesores de 15 cm, dando al macizo rocoso mayor consistencia. Las fracturas mayores rigen el escurrimiento superficial del área. Se agrupan por su orientación y frecuencia en tres sistemas de fracturamiento. (NW-SE; E-W y NE-SW)

Se obtuvieron del análisis de la información geológica superficial (Refs. 1 y 2) de la margen derecha. Los parámetros de resistencia se obtuvieron a partir de ensayos de corte directo realizado sobre muestras representativas de esta discontinuidad.

Foliación

Se presentan planos bien definidos por bandas negruscas de biotita de hasta 3 cm de espesor, que dan origen a superficies semiplanas rugosas-onduladas. Esta condición es parcialmente desfavorable para la estabilidad de la roca. Esta estructura se presenta sensiblemente normal a los ejes de los túneles de desvío, presentándose en el portal de salida con la orientación más desfavorable, aunque en esta zona se presentan las concentraciones del material cuarzo-feldespático. En la roca sana la foliación está cerrada o sellada por cuarzo de segregación; en algunos casos presenta deformación y plegamientos pequeños o poco definidos.

Sismicidad

De acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana descrita en la referencia 3, el área en estudio se encuentra en la zona sísmica "D", considerada como una zona de "alta sismicidad". Con base en esta clasificación, para estructuras del grupo A, desplantadas en terrenos tipo I, el coeficiente sísmico correspondiente es de 0,75.

Por otro lado, los resultados del estudio sismotectónico del sitio, reportados en la referencia 4, han determinado valores de aceleración del terreno comprendidos entre 0,25 g y 0,34 g.

3.1.4 Campaña de exploración

3.1.4.1 Exploración directa

Los barrenos asociados a los túneles de desvío son el B-01, B-05 de la etapa de 1986 y los sondeos PD-01 y PD-04 de la campaña del 2003. Éstos se realizaron de forma vertical, a excepción del barreno B-01 que se perforó con 55° de inclinación, y son de profundidades variables. La evaluación de sus registros permitió realizar la interpretación de la masa rocosa en el subsuelo, acerca de las características litológicas y estructurales, parámetros de índice de calidad (recuperaciones y RQD), pruebas de permeabilidad Lugeon, y correlaciones geológico-estructurales.

El cuadro 10 contiene el condensado de los barrenos cercanos a los túneles de desvío, ejecutados en las dos campañas de exploración de 1986 y 2003. En este mismo cuadro se incluye la clasificación litológica, los valores promedio de recuperación, del índice de calidad

de la roca (RQD), y permeabilidad global en unidades Lugeon para cada uno de los barrenos.

Cuadro 10. Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE DESVIOS

Barreno	Descripción	Intervalo (profundidad en m)	Recuperación (%)	RQD (%)	Intervalo de ensaye (profundidad en m)	Permeabilidad en UL
B-01	Gneis de biotita con diques graníticos paralelos a la filiación	16-18	100	75	10-15	4,75
		36-38	100	30	35-40	10
		103-120	100	98	105-110	2
		140-160	98	85	140-145	4
B-05	Gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos	25-30	100	100	25-30	2
		45-50	98	96	50-55	3
		80-90	99	100	90-95	16
		110-120	99	100	-	-
PD-01	Gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos	0,0-22	77	48	5-10	2
		22-35	98	89	120-125	0,04
		35-51	95	64	135-140	0,0
		51-160	97	91	155-160	0,8
PD-04	Gneis de biotita con transición a gneis cuarzo feldespático a diferentes intervalos	0,0-50	62	20	50-55	11,6
		50-61	96	56	65-70	16
		61-90	99	81	85-90	13,8

Con base en estos valores, se cataloga el macizo rocoso como de buena calidad, después de los primeros 5 m (en promedio) de roca intemperizada y descomprimida que le sobreyace. Por lo que respecta a la permeabilidad el macizo rocoso puede clasificarse como impermeable, no obstante que en algunos puntos del barreno PD-04 se registraron altos valores en las pruebas de permeabilidad, esto debido a sistemas de fracturas asociadas a la presencia de diques.

3.1.4.2 Exploración indirecta

La evaluación de la zona se complementó con trabajos geofísicos que asociada a la información geológica permitió definir los siguientes parámetros del terreno:

Cuadro 11. Resultados de la exploración geofísica. OBRA DE DESVIOS.

Descripción	Velocidad de la onda compresional, m/s	Resistividad eléctrica Ohm-m	Símbolo
Gneises y diques sanos	3700 – 5000	1017 – 5000	Gn-b
Gneises o diques alterados	700 - 2500	238 – 950	Gn-alt ; d-gr
Suelos o depósitos no consolidados	300 - 350	90 - 200	Qal - Qdt

Gnb gneis de biotita, Gn-alt gneis alterado, d-gr dique granítico, Qal aluvión, Qdt depósito de talud.

En la zona del portal de entrada los tendidos sísmicos indican que existe una porción de roca descomprimida de 2 a 7 m de espesor con velocidades de onda sísmica menores de 800 m/s y después de esta capa se encuentra la roca sana con velocidades $\geq 2\ 500$ m/s.

En la zona del portal de salida, con exploración geolétrica se obtuvieron valores de 800 a 2900 Ohms-m, pero estos valores cambian de manera notoria hacia la porción central de la zona de túneles donde aparecen valores de 300 a 450 Ohms – m. Lo anterior no permite hacer una interpretación clara de las condiciones del terreno en este sitio.

3.1.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

Con objeto de determinar las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta, se efectuaron ensayos de laboratorio en muestras de roca (gneiss) debidamente seleccionadas, a partir de los núcleos recuperados en los sondeos de exploración directa realizados en la campaña de 2003 (PD-01 y PD-04); los resultados promedio de dichos ensayos se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 12. Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta. OBRA DE DESVIOS

Ensaye	No de muestras	Promedio
Compresión simple (MPa)*	31	54,16
Módulo tangente (MPa)*	15	46832
Resistencia a la tensión indirecta (MPa)*	26	10,84
Peso volumétrico saturado (kN/m ³)	34	26,42
Contenido de agua (%) *	34	0,25

*Muestras saturadas

La tabla 13 y 14 contiene en forma resumida los resultados completos de estos ensayos de laboratorio.

3.2 Obra de Excedencias

3.2.1 Características Geométricas

El canal de llamada, tiene una longitud máxima medida sobre el eje de 638 m, el piso, se encuentra en la elevación 153,60 con rumbo general S43°E. Los taludes resultantes presentan alturas máximas de 80 m hacia las márgenes izquierda y derecha. Los taludes en la margen derecha del canal tiene pendientes de 0,25:1 (horizontal: vertical) hasta la elevación 207,00 con una berma a la elevación 182,00, desde la elevación 207,00 hasta el terreno natural se tienen una pendientes de 0,50:1, con una berma en la cota 232,00. Este talud se extiende con rumbo S43°E hasta el cadenamamiento 0+240; a partir de este último el canal cambia de dirección adoptando un rumbo de SE63° hasta llegar a la línea del cimacio (cadenamamiento 0+000).

En el piso del canal de llamada, hacia la margen izquierda se encuentra en la elevación 130,00, comenzando con pendiente de 0,25:1 hasta la elevación 207,00 con berma en la cota 182,00, a partir de la cual continúa hasta el interceptar el terreno natural con pendientes 0,50:1 con elevación de plantilla a la cota 153,60 y longitud total de 638,00m y acceso curvo en su parte media con ancho total de 105,40 m. Este talud se prolonga hasta

el talud izquierdo del cajón de obra de toma, variando su rumbo desde el S43°E, hasta el N82°.

Entre las obras de toma y estructura de control tipo Creager se dejará un pilar de roca que iniciará desde el nivel de piso del canal de llamada de excedencias (elevación 153,60). Este pilar se excavará con taludes verticales hasta la elevación 182,00, con una altura de 4,40 m, seis vanos de 14,40m y longitud total de cresta de 86,40m, pilas de 3,80 m de espesor que soportan el puente de maniobras a la elevación 182,00. El control de la descarga se logra mediante seis compuertas radiales de 14,40 X 22,248m, accionadas mediante servomotores. La elevación de la cresta es de 158,00, se prolongará hasta la zona de las estructuras de control (del cadenamiento 0-16,990 hasta el cadenamiento 0+038,977). A partir de este cadenamiento arranca el canal de descarga, el cual termina en el K 0+275,485, que corresponde al final de la cubeta deflectora.

La excavación del canal de descarga lo constituyen dos canales de 50,80m cada uno, separados por un muro intermedio que a su vez aloja la galería de drenaje, su liga con la estructura de control es mediante una curva circular, su longitud aproximada es de 237,00m, a partir del piso taludes verticales en los primeros 10 m, con una berma de 5,0 m de ancho. Por arriba de esta berma, los taludes serán de 0,25:1 y 0,5:1 hasta interceptar el terreno natural.

A partir de la cubeta deflectora con un ángulo de salida de 15°, se construirá una plataforma a la elevación 123,35, que llegará hasta el cadenamiento K 0+320,190. Desde este punto comienza una excavación de regularización del piso con pendiente del 52% para interceptar el talud superior del tanque de amortiguamiento, el cual será excavado con taludes de 0,50:1 hasta llegar al nivel +10,00 msnm. La descarga máxima es de 18156 m³/s. La velocidad máxima en la descarga es del orden de 30,00 m/s.

3.2.2 Descripción geológica

La obra de excedencias está localizada sobre la margen derecha del Río Papagayo y su desarrollo está proyectado en dos orientaciones la primera con un rumbo SE 43° NW a partir del canal de llamada hasta el cadenamiento K0-240, en este punto, continua con rumbo SE 63° NW y cruzando por la línea del cimacio (0+000) sigue por el desarrollo del canal vertedor hasta el cadenamiento K 0+506 que corresponde al límite del tanque dissipador.

Los estudios geológicos realizados en distintas campañas exploratorias, han caracterizado al macizo rocoso que conforma el sitio de emplazamiento de estas obras, como rocas metamórficas del Complejo Xolapa, el cual está constituido por gneises de biotita fracturado e intrusionado por diques graníticos o de anfíbolitas. Toda esta secuencia está cubierta por depósitos aluviales y de talud no consolidados.

Los gneises de biotita y cuarzo feldespáticos forman un paquete de potente espesor, muestran una textura granoblastica de grano medio a fino y son los de mayor ocurrencia, se distinguen por la foliación persistente, esta última, es la principal característica estructural del macizo rocoso, representada por una alternancia en bandas de micas, cuarzo y feldespatos. El gneis sano es de color gris claro a blanco grisáceo, duro y compacto; cuando está afectado por el intemperismo, su coloración cambia a tonalidades pardas.

En el sitio para la obra de excedencias, se han observado intrusivos de composición granítica en forma de diques de color blanco grisáceo a pardo, siendo estos de una consistencia sólida por el contacto roca-roca, sin alteración hacia la roca encajonante. De acuerdo con lo observado en los reconocimientos geológico-superficiales, existe la posibilidad de que a profundidad existan más cuerpos intrusivos.

Los depósitos aluviales, residuales y de talud, cubren ampliamente a las rocas preexistentes y dependiendo del tipo de depósito, su constitución esencial varía de fragmentos de roca angulares, subredondeados y redondeados en tamaños de diámetro variable contenidos en una matriz arenosa o areno-arcillosa, en espesores que fluctúan entre los 0,10 a 4,0 m.

Los detalles de las condiciones geológicas se presentan en las referencias 1 y 2.

3.2.3 Geología estructural de la margen derecha

A partir de las determinaciones geológico-estructurales realizadas superficialmente, en la margen derecha se definieron como principales sistemas de discontinuidades la foliación y las fracturas, estas últimas en dos sistemas preferenciales de familias E-W y NW-SE.

En la tabla 15 se resumen las características de los principales sistemas de discontinuidades en el área de la obra de excedencias.

A continuación se describen brevemente estas características:

Foliación

La foliación presenta una orientación general NE 05° SW/65° NW obtenido a partir de los datos recabados en la exploración geológica. Presenta planos bien definidos por bandas negruscas de biotita de hasta 3 cm de espesor, que dan origen a superficies semiplanas rugosas-onduladas. Esta estructura no presenta salida franca hacia los taludes de los canales de llamada y descarga, por lo que su conjugación con los sistemas de fracturamiento formará cuñas de diversas geometrías. En la roca sana la foliación está cerrada o sellada por cuarzo de segregación; en algunos casos presenta deformación y plegamientos pequeños o poco definidos.

Fracturas familia 1

Su frecuencia es de 1 a 4 fracturas por metro, con longitudes que van desde 1 a 10 m, en roca sana la frecuencia de fracturas disminuye de 1 a 2 por metro, algunas de ellas se encuentran selladas por cuarzo de segregación o arcillas como material de relleno en espesores de hasta 10 cm. Presenta una orientación promedio de E-W / 70° S, las juntas son planas, onduladas o poco rugosas casi lisas.

Es importante mencionar que los datos contenidos en la tabla 1, se obtuvieron del análisis de la información geológica superficial (Refs. 1 y 2) de la margen derecha. Los parámetros de resistencia se obtuvieron a partir de ensayos de corte directo realizado sobre muestras de roca foliada.

Fracturas familia 2

Existen en la mayoría de los afloramientos intemperizados y descomprimidos. En los afloramientos de roca sana su ocurrencia se estima en una fractura por metro, está sellada por cuarzo de segregación o material tipo granítico, alcanzando en algunos casos hasta 15 cm de espesor, dando al macizo rocoso mayor consistencia.

Sismicidad

De acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana descrita en la referencia 3, el área en estudio se encuentra en la zona sísmica "D", considerada como una zona de "alta sismicidad". Con base en esta clasificación, para estructuras del grupo A, desplantadas en terrenos tipo I, el coeficiente sísmico correspondiente es de 0,75.

Por otro lado, los resultados del estudio sismotectónico del sitio, reportados en la referencia 4, han determinado valores de aceleración del terreno comprendidos entre 0,25 g y 0,34 g, para sismos con períodos de retorno de 50 y 100 años, respectivamente.

3.2.4 Campaña de exploración

3.2.4.1 Exploración directa

Los barrenos asociados a la obra de excedencias son el PE-02, PG-09, PG-12, PG-14 y PG-16, de la campaña del 2003, realizados en forma vertical con profundidades variables. La evaluación de sus registros permitió caracterizar la masa rocosa, tomando en cuenta las características litológicas y estructurales, los parámetros de índice de calidad (recuperaciones y RQD) y los resultados de las pruebas de permeabilidad Lugeon.

El cuadro 13 contiene el condensado de los barrenos que se consideraron para la caracterización del terreno donde se alojará el canal de excedencias.

En términos generales el subsuelo para el emplazamiento de la obra de excedencias está constituido por gneis de biotita, con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos. En forma global, los primeros 15 a 20 m corresponden al horizonte de suelo residual (2 a 5 m) y a la roca descomprimida (de regular calidad geomecánica); y por debajo de este horizonte, la roca mejora substancialmente alcanzando una clasificación de buena a excelente calidad (RQD 90 a 100%). Por lo que respecta a la permeabilidad el macizo rocoso puede clasificarse como impermeable según los resultados obtenidos en las pruebas de permeabilidad realizados en el barreno PE-02.

**Cuadro 13. Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica.
OBRA DE EXCEDENCIAS**

Barreno	Descripción	Intervalo (profundidadm)	Recuperación (%)	RQD (%)	Intervalo de prueba (profundidad, m)	Permeabilidad en UL
B-01	Gneis de biotita con diques graníticos paralelos a la filiación	16-18	100	75	10-15	4,75
		36-38	100	30	35-40	10
		103-120	100	98	105-110	2
		140-160	98	85	140-145	4

B-05	Gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos	25-30	100	100	25-30	2
		45-50	98	96	50-55	3
		80-90	99	100	90-95	16
		110-120	99	100	-	-
PD-01	Gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibolíticos	0,0-22	77	48	5-10	2
		22-35	98	89	120-125	0,04
		35-51	95	64	135-140	0,0
		51-160	97	91	155-160	0,8
PD-04	Gneis de biotita con transición a gneis cuarzo feldespático a diferentes intervalos	0,0-50	62	20	50-55	11,6
		50-61	96	56	65-70	16
		61-90	99	81	85-90	13,8

3.2.4.2 Exploración indirecta

La evaluación de la zona se complementó con trabajos geofísicos que asociada a la información geológica permitió definir las siguientes unidades geofísicas:

**Cuadro 14. Resultados de la exploración geofísica.
OBRA DE EXCEDENCIAS**

Unidad	Descripción	Velocidad m/s
U-1	Suelos o depósitos no consolidados	350-800
U-2a	Rocas alteradas y fracturadas de mala calidad	1200-2700
U-2b	Roca poco fracturada y poco alterada de regular a buena calidad	3000-3500
U-2c	Roca sana, compacta y de buena a excelente calidad	4000-5800

En la zona del canal de llamada existe superficialmente material de la unidad U-1 con velocidades de 350 a 500 m/s y espesores variables de 1 a 3 m, estos cubren a materiales de la unidad U-2a considerada de mala a regular calidad ya que se registraron velocidades sísmicas de 1200 a 2700 m/s con espesores que fluctúan entre 4 y 25 m. Por lo que respecta a rocas de la Unidad U-2b se detectó en algunas partes a 4 m de la superficie la velocidad sísmica de 3500 m/s, sin haberse determinado su espesor; las rocas de la unidad U-2c consideradas como de excelente calidad con velocidades de onda sísmica de 4000 a 5800 m/s se registraron a profundidades máximas de 25 m.

Para la zona del vertedor, existe superficialmente material de la unidad U-1 con velocidades de 350 a 500 m/s y espesores variables de 2 a 5 m, para después continuar con el registro de velocidades sísmicas de 1300 a 1900 m/s características de la U-2a en espesores de 3 a 21 m.

La unidad U-2b se detectó en las cercanías del cimacio en contacto con la unidad U-2a determinada por un contraste lateral de velocidad, el espesor estimado es de 18 a 20 m que mostraron velocidades sísmicas de 3200 m/s. La roca considera de buena calidad (unidad U-2c) esta por debajo de los 22 m de profundidad donde se aprecian velocidades de onda sísmica de 4100 a 5800 m/s.

3.2.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

Con objeto de determinar las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta, se efectuaron ensayos de laboratorio en muestras de roca debidamente seleccionadas (gneis),

a partir de los núcleos recuperados en los sondeos de exploración directa realizados en la campaña de 2003 (PE-02, PG-09, PG-12, PG-14). Los resultados promedio de dichos ensayos se muestran en el cuadro 15 y las tablas 16, 17 y 18 contienen en forma resumida los resultados completos de estos ensayos de laboratorio.

**Cuadro 15. Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta.
OBRA DE EXCEDENCIAS**

Ensayo	No de muestras	Promedio
Compresión simple (MPa)*	60	43,56
Módulo tangente (MPa)*	50	40441,49
Resistencia a la tensión indirecta (MPa)*	23	9,07
Peso volumétrico saturado (kN/m ³)	78	26,58
Contenido de agua (%) *	78	0,46
Intemperismo acelerado (pérdida de material %)	14	0,19

Con base en estos resultados el gneis se clasifica como una roca de resistencia baja a media, por la presencia de la foliación, de densidad alta y prácticamente no susceptible a degradarse por efectos del intemperismo.

En el año de 1988, en el laboratorio de mecánica de rocas, se efectuaron una serie de pruebas de corte directo para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de las discontinuidades del macizo rocoso. Los resultados de estos ensayos están contenidos en la Ref. 5.

3.3 Obra de Generación

3.3.1 Características Geométricas

En la obra de generación se consideró el canal de llamada a obra de toma como parte las mismas. El canal de llamada presenta una dirección SE43°, con piso en la elevación 130,00 msnm, 25 m de ancho, una longitud aproximada de 417,00 m hasta el cambio de dirección a NE82°, donde se amplía a 77,40 m y desarrolla 91,00 m aproximadamente hasta el talud frontal de la obra de toma. El talud derecho tiene una altura de 23,60 m, con pendiente 0,25:1, interceptando el piso del canal de llamada de excedencias. El talud izquierdo con pendientes de 0,25:1, en los primeros 130,00 m tiene una altura de 23,60 m, y a partir de este punto hasta la obra de toma es un canal a cielo abierto; la boca toma consta de tres tomas con gasto total de 748,50 m³/s (249,50 m³/s, por toma), la obra de toma tiene bermas en las elevaciones 182,00 y 207,00 msnm, presentando a partir de esta última hasta el terreno pendiente de 0,50:1. El talud frontal con pendiente 0,25:1, arranca a la elevación 118,26 msnm, con una berma a la elevación 137,80 msnm, continuando con la misma pendiente hasta la plataforma en la elevación 182,00 msnm. Aguas debajo de la obra de toma se encuentran los conductos a presión que consisten en tres túneles con sección circular y portal de 7,0 m de diámetro interior con una longitud cada una de 180,76m y una velocidad de 6,48 m/s, que alimentan a la casa de máquinas de 122,00 m de largo por 22,2 m de ancho y 47,50 m de altura. Tres túneles de aspiración de sección rectangular de 17,90 m de ancho por 9,60 m de alto. La galería de oscilación con sección portal de arco rebajado con dimensiones de 85,00 m de largo, por 16 m de ancho y 51,50 m de altura. El túnel de desfogue de sección portal de 17,00 m de ancho por 21,00 m de altura y 289,59 m de longitud. Además de las obras auxiliares (lumbreras de buses y túneles de acceso).

3.3.2 Descripción geológica

El área de estudio donde quedarán alojadas las obras de generación, comprende un área de 160 x 700 m. En la zona se encuentran aflorando principalmente gneises de biotita, y en menor proporción cuarzo-feldespáticos; en conjunto todas estas se encuentran afectadas por cuarzo de segregación, diques graníticos y andesíticos, enmascarados por suelo y que posiblemente a profundidad se localicen diques de composición anfibolítica, ya que en zonas aledañas al área de estudio y algunos barrenos se ha reportado este tipo de litología.

De los estudios exploratorios directos e indirectos se determinó que casi todas las obras quedarán alojadas en su totalidad en rocas metamórficas compactas, duras y consistentes, correspondientes a gneises de biotita y cuarzo-feldespáticos, todas estas en un conjunto presentan la característica principal de estar foliadas y afectadas por cuarzo de segregación que se presenta en forma lenticular, de tipo boudinage, vetillas y diques. Algunas de estructuras pueden alcanzar hasta 2,0 m cuando se trata de la forma de diques. Su emplazamiento ha sido a través de los planos de foliación y fracturas, originando que casi todas las discontinuidades se encuentren selladas a profundidad; excepto el desplante en la zona de la subestación y el portal de salida de desfogue.

En las referencias 1 y 2 se pueden consultar con mayor detalle las características de la unidad litológica antes mencionada.

3.3.3 Geología estructural de la margen derecha

Desde el punto de vista estructural se observó que la roca esta afectada por 3 sistemas de discontinuidades: la foliación (fo), que es la discontinuidad principal que afecta al macizo rocoso, y las fracturas que se agrupan en dos sistemas preferenciales S1 y S2 (tabla 19).

Foliación

Esta discontinuidad constituye el sistema principal que afecta al macizo rocoso, en el cual se observan interestratos con espesores de 0,01 a 1,0 m, alcanzando en ocasiones hasta 2,0 m, todos estos se encuentran definidos por las concentraciones de minerales de biotita, cuarzo y feldespatos. Presenta una actitud general de NE05°SW con 65°NW, sin embargo en algunas partes presenta cierta variación en su rumbo que oscila entre NE07°SW y NW03°SE, debido principalmente a las deformaciones causadas por el emplazamiento del material granítico. Su traza es ondulada y continua, mientras que la rugosidad de sus paredes varía de ondulada-rugosa a plana rugosa, superficialmente, en algunas zonas existe foliación abierta hasta 0,15 m pero a profundidad tiende a cerrarse.

Sistema de fracturamiento S1

Es una familia con rumbo general E-W, tiene buzamiento de 70°S, aunque existe cierta dispersión al NE, su frecuencia en superficie es de 1 a 3 fracturas por metro y al profundizar esta se reduce a 1 a 2 fracturas por metro; su continuidad varía de 0,50 a 12 m, pueden estar abiertas hasta 0,15 m y la superficie de sus planos tiende a ser rugosa-lisa y ondulada-lisa; muchas presentan impregnaciones de sílice, óxidos y biotita; a profundidad tienden a cerrarse y muchas de las estructuras se encuentran selladas o rellenadas por cuarzo de segregación o material granítico, con espesores que varían de 0,002 a 2,0 m y algunas otras por biotita con espesores reducidos de hasta 0,01 m.

Sistema de fracturamiento S2

Corresponde al fracturamiento menos abundante y persistente, tiene una actitud de NW65°SE con 65° buzando al NE; la frecuencia con se aprecia en superficie es de 1 a 2 fracturas por metro y a profundidad se podrá encontrar 1 fractura por metro, en algunas partes se aprecia fracturamiento paralelo intenso, pero este es muy local observándose hasta 8 fracturas por metro; su continuidad varía de 1 a 6 m aunque puede ser mayor ya que muchas se encuentran enmascaradas por acumulaciones de suelo; pueden estar abiertas hasta 0,10 m y sus planos se observan ondulados-lisos con impregnaciones ocasionales de sílice, óxidos y concentraciones de biotita, a profundidad tienden a cerrarse; muchas de las estructuras se encuentran selladas o rellenas por cuarzo de segregación y material de origen granítico alcanzando espesores de hasta 1,0 m; la biotita rellena fracturas con espesor de 0,01 m.

Sismicidad

De acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana descrita en la referencia 3, el área en estudio se encuentra en la zona sísmica "D", considerada como una zona de "alta sismicidad". Con base en esta clasificación, para estructuras del grupo A, desplantadas en terrenos tipo I, el coeficiente sísmico correspondiente es de 0,75.

Por otro lado, los resultados del estudio sismotectónico del sitio, reportados en la referencia 4, han determinado valores de aceleración del terreno comprendidos entre 0,25 g y 0,34 g.

3.3.4 Campaña de exploración

3.3.4.1 Exploración directa

En la zona proyectada para la construcción de la obra de generación, se han perforado 5 barrenos, de los cuales 3 han sido concluidos (PG-05, PG-13 y PG-03) y dos de ellos hasta la fecha aun sin terminar (PG-21 y PG-23).

El barreno PG-05 se encuentra cerca de la proyección de la rama vertical de la tubería de presión 3, la litología que cortó el barreno PG-05 corresponde a un gneis de biotita y diques graníticos; sus primeros 3 m reflejan una roca de mala calidad, de este intervalo hasta la profundidad de 20,30 m se refleja una roca de regular calidad, con 93% de recuperación y RQD de 68%; de los 20,30 m hasta el final del barreno se reportó una roca de excelente calidad, con recuperación del 99% y RQD de 92%.

El sondeo PG-13, se encuentra ubicado 40 m aguas debajo de la galería de oscilación y 35 m al sur del eje del túnel de desfogue, y superficialmente en la plataforma de la subestación; tiene una longitud de perforación final de 145,65 m y en su litología se encontraron gneises de biotita y algunos diques andesíticos; de 0,00 hasta 28,40 m de profundidad se obtuvo una recuperación de 77% y un RQD de 42% clasificándose este intervalo como una roca de mala calidad, y de 28,40 hasta su terminación se obtuvo una recuperación de 95% y RQD de 83%, lo que indica una roca de buena calidad; con las pruebas de permeabilidad se clasificó a esta como impermeable (0,9 UL).

El barreno PG-03 se ubica en la traza del túnel de desfogue y tuvo un desarrollo de 90,25 m, la litología que corto corresponde a gneis de biotita; de 0,00 a 8,60 m se reportó una roca

de mala calidad, con recuperación de 30% y RQD de 13% y de 8,60 hasta los 90,25 m fue clasificada como de regular calidad, obteniéndose una recuperación de 90% y un RQD de 70%; en cuanto a la permeabilidad se determinó que la roca es impermeable, con 2,06 UL.

En el 2003 el DMRI comenzó una campaña de pruebas de campo, teniendo contempladas pruebas de placa, gato plano y roseta de deformaciones, además de la obtención de muestras cúbicas para la realización de pruebas de corte directo. Desafortunadamente, por cuestiones sociales no se concluyeron, lográndose solamente la ejecución de 4 pruebas de placa y la preparación de sitios para roseta y gato plano.

3.3.4.2 Exploración indirecta

En las exploraciones ejecutadas durante las diferentes campañas, se realizó una retícula (100 x100 m) de sísmica de refracción y resistividad eléctrica que cubre el 70% de la obra de generación; con la integración de los estudios anteriores se generó el modelo geológico contemplado para este trabajo del DMRI. En la campaña del 2003, los trabajos de geofísica no se concluyeron, debido a las condiciones antes mencionadas.

Mediante los métodos de geofísica se determinó que el macizo rocoso a profundidad se encuentra caracterizado por 4 unidades geofísicas:

Unidad U-1. Corresponde a los materiales intemperizados, definidos por su poca compacidad y fáciles de remover por medios mecánicos, representa a la capa superficial compuesta por suelo residual, depósitos de talud y roca sumamente alterada y descomprimida; las velocidades de onda sísmica compresional varían de 350 a 800 m/s, mientras que sus espesores lo hacen de 2 a 10 m.

Unidad U-2a. Se relaciona con la roca alterada y fracturamiento moderado, por lo que, se considera de mala calidad, ya que presenta velocidades de onda sísmica de 1200 a 2000 m/s, por lo que se prevé de fácil remoción con medios mecánicos, con algunas dificultades en donde se tienen velocidades superiores a los 2 700 m/s; se determinó que en las cercanías del portal de salida de desfogue tendrá su máximo espesor con 35 m.

Unidad U-2b. Se relaciona a la roca poco fracturada; en ella se reflejan variaciones de velocidad de onda sísmica de 3000 a 3500 m/s. Por sus características físicas se le considera como una roca de regular a buena calidad. Esta unidad se encontró de manera local sobre la obra de toma y tuberías de presión con un espesor promedio de 20 m.

Unidad U-2c. Esta unidad se considera como la base de la zona de estudio y corresponde al macizo de roca sana, sin un espesor definido, es compacta y dura, que se clasifica como de buena a excelente calidad, en ella se reflejan velocidades de onda sísmica de 4000 a 5800 m/s.

3.3.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

Con objeto de determinar las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta, se efectuaron ensayos de laboratorio en muestras de roca debidamente seleccionadas a partir de los núcleos recuperados en los sondeos de exploración directa realizados; para el caso de las obras de generación de los tres barrenos que caracterizan a la zona, solamente el

barreno PG-05 cuenta con ensayos a los núcleos de roca, los resultados promedio de dichos ensayos se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 16. Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta Bno. PG-05. OBRA DE GENERACIÓN

Ensaye	No de muestras	Promedio	Desviación Estándar
Compresión simple (MPa)*	20	50,57	58,88
Módulo tangente (MPa)*	20	41429	25103
Tensión indirecta* (MPa)	9	9,27	3,00
Peso volumétrico* (KN/m ³)	23	26,57	0,42
Contenido de agua* (%)	21	0,31	0,21

*Muestras saturadas

La tabla 20 contiene en forma resumida los resultados completos de estos ensayos de laboratorio

3.4 Obra de Contención

3.4.1 Características Geométricas

Obra de Contención consistirá en una cortina de enrocamiento con cara de concreto (ECC) con una altura máxima de 169, con una elevación máxima de 181,75 msnm, con dos ataguías integradas al mismo cuerpo de la misma, una longitud aproximada de 417,00 m. La cara de concreto se unirá a la cimentación mediante la losa del plinto, desde donde se realizarán los tratamientos de impermeabilización.

La zona del plinto se ubica en ambas márgenes y cauce del río Papagayo, entre las elevaciones 15 y 181,75 msnm, con un desarrollo del 1081 m. Las elevaciones para el desplante corresponden a roca de mayor competencia, con velocidades mayores de 2000 m/s y RQD mayor al 60 %, lo que significa retirar espesores de material de entre 3 y 10 m. Las tablas 2, 3 y 4 contienen los anchos teóricos y ajustados del plinto para la margen izquierda, cauce y margen derecha, calculados bajo el criterio de tratamiento de cimentaciones de los autores Pedro L. Marques Filho y B. P. Machado, editado en la publicación Concrete Face Rockfill Dams en Beijing 2000. La tabla No. 5 contiene los anchos del plinto calculados bajo el criterio de B. Materon, recomendado durante su visita realizada al Proyecto, a finales de mayo de 2004.

Para ambos criterios, se extrapolaron valores de barrenos perforados durante la campaña de exploración de 1988 y 2003, los cuales se ubican a 10 m de la traza del plinto el mas cercano, y a 200 m el mas lejano; pero que son aplicables para una evaluación preliminar, debido a las características homogéneas que prevalecen en el sitio.

La tabla No. 6 contiene la comparación realizada entre los dos criterios, en donde puede verse que finalmente los anchos totales son muy similares (diferencias en \pm un metro); sin embargo existe una diferencia importante, la cual consiste en:

- El criterio de B. Materon contempla anchos totales (plinto + losa interna) en función de la calidad de roca, y anchos de plinto variables de 4,50 y 7,0 m, equivalentes a 2/3 del ancho total.

-
-
- El criterio de Pedro L. Marques y B. P. Machado es similar, sin embargo; no indica el criterio para el ancho de plinto estructura.

Como adición al último criterio, se consideraron las recomendaciones del Consultor J. Barry Cooke (ref. 7) en donde señala, “es práctica actual usar ancho estandarizado de plinto (plinto denominado estructural) para toda la presa y extendido hacia aguas abajo con concreto simple de 20 a 30 cm de espesor sobre el terreno”. Para el P. H. El Cajón propuso estandarizar a 4 m el ancho de plinto como mínimo, que es adecuado para la formación de Ignimbrita.

Para el Proyecto Hidroeléctrico La Parota, Gro., se adoptó el mismo criterio de estandarizar un ancho de plinto de 4,50 m, extendiendo la losa hacia aguas abajo, por cuestiones de calidad de roca. En la figura No. 2 se presenta de manera esquemática los anchos del plinto que se proponen y numéricamente en las tablas 1, 2 y 3 (criterio de Pedro L. Marques).

Con la finalidad de caracterizar con más detalle la calidad de la roca y por consiguiente determinar con mayor precisión los anchos del plinto, es conveniente que se ejecuten barrenos de exploración sobre la traza definitiva del mismo, como se tiene previsto en la siguiente campaña de estudios.

3.4.2 Descripción geológica

El área de estudio donde quedarán alojadas las obras de contención, comprende un área de 800 x 700 m. En la zona se encuentran aflorando principalmente gneises de biotita, y en menor proporción cuarzo-feldespáticos; en conjunto todas estas se encuentran afectadas por cuarzo de segregación, diques graníticos y andesíticos, enmascarados por suelo y que posiblemente a profundidad se localicen diques de composición anfibolítica, ya que en zonas aledañas al área de estudio y algunos barrenos se ha reportado este tipo de litología. En el sitio donde se alojarán las principales obras, afloran rocas metamórficas constituidas por gneis de biotita, intrusionadas por fallas y diques. El gneis está foliado con bandas de biotita y cuarzo feldespato con espaciamientos que van de 1 mm hasta 5 cm, la foliación tiene una orientación general de N 01° E, con echado hacia el N 50° W.

Por debajo de la capa intemperizada y descomprimida que alcanza espesores que van de 3 a 6 m, la roca es de buena calidad geomecánica, con un RQD promedio del 85 %, prácticamente impermeable, con valores de permeabilidad de 0 a 3 Unidades Lugeon, con algunos tramos de poca permeabilidad (3 a 11 Unidades Lugeon), relacionados con discontinuidades geológicas.

La estructura más significativa además de la foliación, la constituye una falla geológica importante que se localiza en la parte alta de la margen izquierda (elevación 180).

Los detalles de la geología del sitio, se presentan en el “Informe Geológico de Factibilidad del P. H. La Parota Gro., elaborado por personal de la Superintendencia de Estudios Zona Pacífico Sur, en mayo de 1988 (ref. 6).

3.4.3 Geología estructural de la margen derecha

A partir de las determinaciones geológico-estructurales, realizadas superficialmente en la margen derecha, se definieron como principales sistemas de discontinuidades: Las fallas, las fracturas y la foliación (tabla 12).

Fallas

La margen derecha, se encuentra afectada por planos de falla pequeños del tipo normal, lateral izquierdo e inversas de poca ocurrencia y continuidad, algunas están selladas por cuarzo de segregación o arcillas como material de relleno en espesores hasta de 2 cm, son sistemas de fallas locales paralelas al sistema de fracturamiento predominante. Las juntas se describen como onduladas o poco rugosas.

Fracturas

Existen en la mayoría de los afloramientos intemperizados y decomprimidos, en aflojamientos de roca sana su ocurrencia se estima en una fractura por metro, están selladas por cuarzo de segregación o material de tipo granítico, alcanzando en algunos casos espesores de 15 cm, dando al macizo rocoso mayor consistencia. Las fracturas mayores rigen el escurrimiento superficial del área. Se agrupan por su orientación y frecuencia en tres sistemas de fracturamiento. (NW-SE; E-W y NE-SW)

Se obtuvieron del análisis de la información geológica superficial (referencias 1 y 2) de la margen derecha. Los parámetros de resistencia se obtuvieron a partir de ensayos de corte directo realizado sobre muestras representativas de esta discontinuidad.

Foliación

Se presentan planos bien definidos por bandas negruscas de biotita de hasta 3 cm de espesor, que dan origen a superficies semiplanas rugosas-onduladas. Esta condición es parcialmente desfavorable para la estabilidad de la roca. Esta estructura se presenta sensiblemente normal a los ejes de los túneles de desvío, presentándose en el portal de salida con la orientación más desfavorable, aunque en esta zona se presentan las concentraciones del material cuarzo-feldespático. En la roca sana la foliación está cerrada o sellada por cuarzo de segregación; en algunos casos presenta deformación y plegamientos pequeños o poco definidos.

Sismicidad

De acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana descrita en la referencia 3, el área en estudio se encuentra en la zona sísmica "D", considerada como una zona de "alta sismicidad". Con base en esta clasificación, para estructuras del grupo A, desplantadas en terrenos tipo I, el coeficiente sísmico correspondiente es de 0,75.

Por otro lado, los resultados del estudio sismotectónico del sitio, reportados en la referencia 4, han determinado valores de aceleración del terreno comprendidos entre 0,25 g y 0,34 g.

3.4.4 Campaña de exploración

3.4.4.1 Exploración directa

Lugeon, y correlaciones geológico-estructurales. Los barrenos asociados a los túneles de desvío son el B-01, de la etapa de 1986 y los sondeos PD-01 de la campaña del 2003. Éstos se realizaron de forma vertical, a excepción del barreno B-01 que se perforó con 55° de inclinación, y son de profundidades variables. La evaluación de sus registros permitió

realizar la interpretación de la masa rocosa en el subsuelo, acerca de las características litológicas y estructurales, parámetros de índice de calidad (recuperaciones y RQD), pruebas de permeabilidad.

Cuadro 17. Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica.

Barren o	Descripción	Intervalo (profundidad en m)	Recuperació n (%)	RQD (%)	Intervalo de ensaye (profundi- dad en m)	Permeabili- dad en UL
B-01	Gneis de biotita con diques graníticos paralelos a la filiación	16-18	100	75	10-15	4,75
		36-38	100	30	35-40	10
		103-120	100	98	105-110	2
		140-160	98	85	140-145	4
		110-120	99	100	-	-
PD-01	Gneis de biotita con horizontes de cuarzo y diques graníticos y anfibólicos	0,0-22	77	48	5-10	2
		22-35	98	89	120-125	0,04
		35-51	95	64	135-140	0,0
		51-160	97	91	155-160	0,8

Con base en estos valores, se cataloga el macizo rocoso como de buena calidad, después de los primeros 5 m (en promedio) de roca intemperizada y descomprimida que le sobreyace. Por lo que respecta a la permeabilidad el macizo rocoso puede clasificarse como impermeable.

3.4.4.2 Exploración indirecta

La evaluación de la margen derecha se complementó con trabajos geofísicos que asociada a la información geológica permitió definir los siguientes parámetros del terreno:

**Cuadro 18. Resultados de la exploración geofísica.
OBRA DE CONTENCIÓN.**

Descripción	Velocidad de la onda compresional, m/s	Resistividad eléctrica Ohm-m	Símbolo
Gneises y diques sanos	3700 – 5000	1017 – 5000	Gn-b
Gneises o diques alterados	700 - 2500	238 – 950	Gn-alt ; d-gr
Suelos o depósitos no consolidados	300 - 350	90 - 200	Qal - Qdt

Gnb gneis de biotita, Gn-alt gneis alterado, d-gr dique granítico, Qal aluvión, Qdt depósito de talud.

En la zona del portal de entrada los tendidos sísmicos indican que existe una porción de roca descomprimida de 2 a 7 m de espesor con velocidades de onda sísmica menores de 800 m/s y después de esta capa se encuentra la roca sana con velocidades $\geq 2\ 500$ m/s.

En la zona del portal de salida, con exploración geoléctrica se obtuvieron valores de 800 a 2900 Ohms-m, pero estos valores cambian de manera notoria hacia la porción central de la

zona de túneles donde aparecen valores de 300 a 450 Ohms – m. Lo anterior no permite hacer una interpretación clara de las condiciones del terreno en este sitio.

3.4.5 Trabajos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

Con objeto de determinar las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta, se efectuaron ensayos de laboratorio en muestras de roca debidamente seleccionadas a partir de los núcleos recuperados en los sondeos de exploración directa realizados.

Para caracterizar el macizo rocoso donde se cimentará la cortina y proporcionar las recomendaciones de tratamientos de la roca, se consideró la información de los siguientes barrenos:

Cuadro 19. Barrenos de exploración considerados en la caracterización geotécnica. OBRA DE CONTENCIÓN

Margen izquierda	B-04, B-06
Cauce	B-02-CR, B-03-CR, B-07-CR, B-08-CR
Margen derecha	B-01, PD-01

Para el caso de las obras de contención de los ocho barrenos que caracterizan a la zona, solamente el barreno PD-01 cuenta con ensayos a los núcleos de roca, los resultados promedio de dichos ensayos se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 20. Resumen de las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta. OBRA DE CONTENCIÓN

PROPIEDADES	TIPO DE ROCA	
	Gneis de Biotita (Gn-b)	Gneis cuarzo feldespático (Gc-f)
Resistencia a la compresión simple (MPa)	43,77	64,78
Resistencia a la tensión indirecta (MPa)	8,88	12,38
Módulo de deformabilidad E_{t50} (MPa)	40035	43117
Peso volumétrico saturado (kN/m^3)	26,46	26,12
Pérdida de materiales (%)	0,14	0,01
Índice de alteración (%)	0,33	0,58

La tabla 2 contiene en forma resumida los resultados completos de estos ensayos de laboratorio.

Con base en anterior la roca del sitio se clasifica como materiales de media resistencia y módulo de deformabilidad alto, de acuerdo con la clasificación ingenieril propuesta por Deere y Miller (Ref. 5), son densas, compactas y difícilmente alterables en los componentes de su matriz por condiciones ambientales.

4. CONCLUSIONES

Como se comentó en incisos anteriores, para ampliar la información litológica de la margen derecha y determinar la calidad de la roca a profundidad, en la zona en la que se ubican las Obras de Desvío (subterráneas y las zonas de corte para alojar a los portales de entrada y salida), Excedencias (canal de llamada, estructura de control, canal de descarga, tanque discipador), Generación (obra subterránea y zonas de cortes superficiales), personal técnico de la CFE realizaron estudios adicionales a la campaña anterior (1986), esto en el año de 2003, quedando inconclusos debido a problemas de índole social en el sitio.

En los párrafos siguientes se describen brevemente los trabajos de exploración directa e indirecta llevados a cabo.

En campo tenemos la parte **Geológica**: Métodos directos (Levantamientos geológicos (superficiales, sondeos, galerías, trincheras y pozos a cielo abierto), Seccionamiento del subsuelo, muestreo de los materiales, sondeos (descripción, clasificación, estudio y pruebas de laboratorio (petrografía)), Métodos indirectos (fotogeología, métodos geofísicos) y por parte de **Mecánica de Rocas**: Métodos directos (Pruebas físicas en campo de resistencia, módulo de deformabilidad, permeabilidad y esfuerzos en el macizo rocoso, así como pruebas de laboratorio (propiedades índice, mecánicas, sónicas y propiedades elásticas) para poder hacer un análisis con una visión amplia del sitio a estudiar).

Métodos directos

- Levantamientos geológicos superficiales – inspección detallada, reconocimientos y levantamientos detallados del sitio para precisar e identificar, clasificar y cartografiar las principales unidades geológicas existentes en el área de estudio, así como sus características litológicas y estructurales.
- Muestreo de los materiales – muestras representativas de suelos y rocas se obtienen durante los reconocimientos superficiales, de sondeos exploratorios con recuperación de material alterado o inalterado, de pozos, zanjas y galerías.
- Sondeos – Mediante perforaciones, ya sea en suelos o en rocas, que tienen por objetivo obtener muestras de materiales para su descripción, clasificación, estudio y pruebas de laboratorio (petrografía), así como pruebas mecánicas (prueba de gato goodman) y de permeabilidad (prueba tipo Lugeon)
- Pozos a cielo abierto, zanjas y galerías – Permiten el estudio directo y visual del terreno en estado prácticamente inalterado
- Seccionamiento del subsuelo – es la elaboración de secciones geológicas constituidas a partir de datos obtenidos de la geología de la superficie, de la exploración geofísica, de sondeos, pozos a cielo abierto, trincheras y galerías de exploración.

Las pruebas de campo tenemos las siguientes:

- Obtención de los parámetros de resistencia al corte en discontinuidades mediante la prueba de corte directo in situ.
- Determinación del módulo de deformidad con la prueba de placa flexible en macizos rocosos
- Determinación del estado de esfuerzos con roseta
- Determinación del estado de esfuerzos interno empleando el método del gato plano
- Determinación de permeabilidad en macizos rocosos aplicando el criterio Lugeon

Los estudios de campo lamentablemente quedaron inconclusos debido a problemas de índole social en el sitio en el año de 2003, y lo poco que se llevaba no se puede concluir un resultado en las pruebas de esfuerzos o de resistencia.

Las pruebas de laboratorio

La pepena de muestras representativas del macizo rocoso y la recuperación de núcleos en diámetro NQ (47 mm) en pruebas que definen las propiedades índice, mecánicas, sónicas y propiedades elásticas que son las siguientes:

- Peso Volumétrico (γ)
- Contenido de agua (W)
- Índice de alteración (i) y absorción (a)
- Intemperismo acelerado (Ia)
- Compresión simple (Rc) y determinación del módulo de elasticidad (Mc)
- Tensión indirecta (Rt)
- Velocidad primaria (Vp)
- Velocidad secundaria (Vs)
- Módulo de elasticidad dinámico (E)
- Relación de Poisson (ν)

Métodos indirectos

- Fotogeología – es la técnica de utilizar las fotografías aéreas para obtener información geológica, identificando e interpretando los rasgos, colores y tonalidades de la superficie terrestre.
- Métodos geofísicos – utilizando métodos geofísicos de refracción sísmica (genera ondas elásticas en el subsuelo, tomando como arriblos las ondas refractadas o reflejadas según el caso (velocidad de propagación de ondas elásticas tipo P y S)) y sondeos eléctricos verticales (generar un campo eléctrico, midiendo la corriente de entrada y el campo potencial a través de la diferencia de potencial de las diferentes unidades así como su posición).

BIBLIOGRAFIA

1. CFE, ampliación a los estudios de Factibilidad de Proyecto Hidroeléctrico La Parota, Gro. (Vertedor Alt. II y detalles de bancos de material arcilloso), Mayo de 1988, anexo V-6
2. CFE, Superintendencia de Estudios Zona Pacífico Sur, "Informe Geológico de Factibilidad del P. H. La Parota, Gro.", Mayo de 1988.
3. CFE, Superintendencia de Estudios Zona Centro, Departamento de Geología de Operación, "Informe Geológico preliminar de las Obras de Generación Subterráneas, P. H. La Parota Gro.". Septiembre de 2003.
4. CFE, Superintendencia de Estudios Zona Centro, Departamento de Geología de Operación, "Informe Geológico para las Obras de Excedencias del P. H. La Parota Gro., (Preliminar)". Agosto de 2003.
5. CFE e Instituto de Ingeniería de la UNAM, "Manual de diseño de obras civiles". Diseño por sismo. 1993.
6. CFE, Subgerencia de Estudios Geológicos Geofísicos, Departamento de Estudios Sismotectónicos, "Informe Sismotectónico, Proyecto Hidroeléctrico La Parota Gro.",. Febrero de 2003.
7. CFE, GEIC, Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones, "Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas con núcleos de roca de los barrenos 1, 3, 4, G-1 y G-3, y con muestras superficiales". Octubre de 1988
8. E. Hoek, P.K. Kaiser and W.F Bawden; A.A: Balkema/Rotterdam/Brookfield, "Support of Underground Excavations in Hard Rock". 1995.
9. CFE, GEIC, Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones, "Trazo preliminar del plinto", 28 de abril de 2004.
10. CFE, GEIC, Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones, "Definición preliminar de los anchos del plinto", 11 de junio de 2004.
11. CFE, GEIC, Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones, Informe 04-71-SGM/R, "Recomendaciones preliminares para los tratamientos desde el plinto y galerías", 30 de agosto de 2004.
12. E. T. Brown, "Rock Characterización Testing and Monitoring", ISMR Suggested Methods, Pergamon Press, 1981.
13. Stagg-Zienkiewiks, "Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica", Editorial Blume, Madrid España, Primera Edición en castellano, 1970.
14. Proyecto hidroeléctrico La Parota (actividades previas). Disponible en: <http://www.cfemex.com/cfemex/Financiada/home/cph/paginacph.htm>

15. CFE, GEIC, Departamento de Mecánica de Rocas e Inyecciones, Informe 04-125-SGM/R, "Recomendaciones de tratamientos para las Obra de Desvío, Obra de Excedencias y Obra de Generación", 30 de diciembre de 2004

Q	Q mín	Q máx	Q mín (RMR mín)	Q máx (RMR máx)
RMR	5.5 RMR mín 60	45 RMR máx 76	5.9 RMR mín (Q mín) 59	35 RMR máx 78
MODULO DE DEFORMACIÓN	20 GPa	50 GPa	19 GPa	55 GPa
CLARO MÁXIMO	4,5 m	9,8 m	4,7 m	9 m
CONSTANTES	m = 2,3 s=0,015	m = 10 s=0,08	m = 2,3 s=0,015	m = 11 s=0,09
CLASE	REGULAR	MUY BUENA	REGULAR	BUENA
LA PAROTA, GRO. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA (BARTON)				Tabla 1

No.	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Resistencia a la compresión axial	37,06 MPa	4
2	Calidad de Roca (RQD)	77%	17
3	Espaciamiento de juntas	>a 2 m Muy próximas	20
4	Estado de las fisuras	Ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Ligeramente alterada	23
5	Agua Aubterránea	Ligeramente húmedo	10
6	Ajuste por orientación de juntas	No Aplicó	
TOTAL RMR			74 BUENA ROCA
GSI			81 Buena Roca
Para evaluar el GSI se aplica un factor de corrección de (5) = 15 y (6) = 0			
LA PAROTA, GRO. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA (BIENIAWSKI Y HOEK) MARGEN IZQUIERDA			Tabla 2

No.	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Resistencia a la compresión axial	88,63 MPa	7
2	Calidad de Roca (RQD)	87%	17
3	Espaciamiento de juntas	>a 2 m Muy próximas	20
4	Estado de las fisuras	Ligeramente rugosas. Separación < 1 mm. Ligeramente alterada	23
5	Agua Aubterránea	Ligeramente húmedo	10
6	Ajuste por orientación de juntas	No Aplicó	
TOTAL RMR			77 BUENA ROCA
GSI			69 BUENA ROCA
Para evaluar el GSI se aplica un factor de corrección de (5) = 15 y (6) = 0			
LA PAROTA, GRO. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA (BIENIAWSKI Y HOEK) MARGEN DERECHA			Tabla 3

	MARGEN IZQUIERDA	CAUCE DEL RIO	MARGEN DERECHA
PARÁMETRO :	Tipo de roca: Gneis de biotita foliado		
RQD promedio, en %	77	83	87
Pemeabilidad promedio, en UL	2.0	2.1	3.7
Velocidad de onda compresional, en m/s	Vp = 850 (suelo residual y roca decomprimida, espesor de 3 a 8 m)	Vp < 500 m/s (aluvión, espesor de 5 a 10 m)	Vp = 400 m/s (suelo residual, espesor menor a 2 m)
			Vp = 1700 a 3000 (roca decomprimida, espesor máx. 20 m)
	Vp = 4 450 m/s (roca sana)	Vp = 5 000 m/s (roca sana)	Vp = 4 900 m/s (roca sana)
Barrenos de exploración	No. 4 y 6	No. 2, 7, 8 y 9	No. 1, 3 y 5
LA PAROTA, GRO. GENERALES DE LA MASA ROCOSA EN LA ZONA DE BOQUILLA			Tabla 4

	MARGEN IZQUIERDA	CAUCE DEL RIO	MARGEN DERECHA
Tipo de roca	Gneis de biotita		
	Bandas delgadas y gruesas de mica y cuarzo	Bandas delgadas de mica y cuarzo	Bandas delgadas de mica y cuarzo
Inclinación de la foliación	40 - 60°	50 - 70°	0 - 15°
PARÁMETRO:			
Resistencia a compresión simple (MPa)	37.06	57.75	88.63
Resistencia a tensión indirecta (MPa)	8.82	11.27	10.98
Módulo de deformabilidad Et50 (MPa)	31 800	49 300	38 300
Peso volumétrico (kN/m ³)	26.98	26.98	26.98
Porosidad (%)	1.18	1.08	1.21
Índice de alteración (%)	0.19	-	0.18
Barreno de exploración	No. 4	No. 3	No. 1
Posición del barreno	Vertical	50° al N	55° al E
LA PAROTA, GRO. PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA			Tabla 5

SONDEO	TIPO DE ROCA	LOCALIZACIÓN	PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS					PROPIEDADES SÓNICAS Y ELÁSTICAS					
			γ _r Amb. (kN/m ³)	γ _r Sat. (kN/m ³)	ω _{Sat.} (%)	i (%)	I _a (%)	a (%)	R _c Sat. (MPa)	R _c Amb. (MPa)	E ₁₅₀ Sat. (MPa)	Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta R _t Sat. (MPa)	Velocidades P y S				
															V _p (m/s)	V _s (m/s)	γ (kN/m ³)	E (MPa)	v
PD-01	Gneis de biotita	Túnel de Desvío	26.61	26.62	0.19	0.12	0.02	0.22	51.79	--	46632	57/40	57/86	11.85	--	--	--	--	--
PD-04	Gneis de biotita, cuarzo feldespático, brecha y lentes de cuarzo	Portal de salida, obra de desvíos	26.18	25.96	0.35	0.49	0.01	0.73	48.51	--	47135	84/56	90/50	9.45	--	--	--	--	--
PE-02	Gneis de biotita y diques graníticos	Canal de Descarga	26.33	26.49	0.92	0.43	0.14	0.69	26.67	--	29274	63/43	60/47	5.83	--	--	--	--	--
PG-05	Gneis de biotita y diques graníticos	Tubería de presión	26.53	26.53	0.31	0.22	0.16	0.27	50.57	--	41429	63/43	60/42	9.27	--	--	--	--	--
PG-09	Gneis de biotita, cuarzo feldespáticos y diques graníticos y cuarzo	Canal de llanada	26.65	26.69	0.23	0.14	0.00	0.28	39.90	--	37323	60/33	75/45	9.94	--	--	--	--	--
PG-12	Gneis de biotita, cuarzo feldespáticos y diques de cuarzo y granito	Obra de Geración	26.32	26.41	0.66	0.79	0.15	1.22	43.65	--	41696	57/48	88/48	7.26	--	--	--	--	--
PG-14	Gneis de biotita, cuarzo feldespáticos y diques de cuarzo y granito	Obra de Excedencias	26.46	26.53	0.47	0.15	0.48	0.44	45.32	--	36851	70/40	88/46	8.53	--	--	--	--	--
PG-14	Gneis cuarzo feldespáticos	La Pedrera	20.03	--	0.24	0.26	0.00	0.43	--	168.34	--	Horizontal	90	--	5047.67	2318.33	2.65	39777.67	0.37
Número de Pruebas :			176	181	178	34	26	33	123		79			58	3	3	3	3	3

promedios:	25.64	26.46	0.42	0.33	0.12	0.54	43.77	168.34	40049	70/40	88/46	8.88	5047.67	2318.33	2.65	39777.67	0.37
Valor máximo:	26.65	26.69	0.92	0.79	0.48	1.22	51.79	168.34	47135	0	90	11.85	5047.67	2318.33	2.65	39777.67	0.37
Valor mínimo:	20.03	25.96	0.19	0.12	0.00	0.22	26.67	168.34	29274	0	90	5.83	5047.67	2318.33	2.65	39777.67	0.37
Desviación estándar :	2.27	0.24	0.25	0.23	0.16	0.34	8.59	--	6217	--	--	1.94	--	--	--	--	--
Coefficiente de variación (%) :	8.86	0.90	60.09	71.37	134.89	62.63	19.63	--	16	--	--	21.80	--	--	--	--	--

SIMBOLOGÍA			
γ _r sat.	peso volumétrico saturado	R _t Amb.	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
γ _r Amb.	peso volumétrico ambiente	R _t Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
ω _{Amb.}	contenido de agua de la roca en estado ambiente	I _a	impermeabilidad acelerada (% pérdida de peso)
ω _{Sat.}	contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
R _c Amb.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
R _c Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	V _p	velocidad primaria
E ₁₅₀ Amb.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R _c , en estado ambiente	V _s	velocidad secundaria
E ₁₅₀ Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R _c en estado saturado	E	

LA PAROTA, GRO.
Resumen de propiedades índice, mecánicas, sónicas y elásticas de la roca intacta
Tipo de roca: Gneis

Tabla 6

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS				
			Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez	γ _{Amb.} (kN/m ³)	γ _{Sat.} (kN/m ³)	ω _{Sat.} (%)	i (%)	la (%)	a (%)	Compresión simple		Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta Rt Sat. (MPa)
												R _c Sat. (MPa)	E ₁₅₀ Sat. (MPa)			
M - 1	6.50	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada, bandeamiento fino	4.75	13.00	2.74	26.72	--	--	0.36	--	0.45	--	--	56	--	--
M - 2	10.70		4.75	2.02	0.43	26.31	26.42	0.63	--	--	--	--	--	--	--	6.12
M - 3	20.45	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada.	4.76	12.98	2.73	26.27	26.34	0.25	--	--	--	21.23	20589	57	56	--
M - 4	20.65		4.75	2.42	0.51	26.15	26.24	0.35	--	--	--	--	--	--	--	7.71
M - 5	34.40		4.75	13.01	2.74	26.28	26.37	0.94	--	0.49	--	3.98	3866	47	42	--
M - 6	41.50		4.75	12.99	2.73	26.56	26.61	0.37	--	--	--	16.81	22121	54	50	--
M - 7	45.40		4.76	2.30	0.48	25.94	25.99	0.46	--	--	--	--	--	--	--	6.62
M - 8	47.50		4.75	12.99	2.73	26.54	26.58	0.18	--	--	--	48.94	74927	43	65	--
M - 9	55.15		4.75	2.36	0.50	26.58	26.65	0.27	--	--	--	--	--	--	--	7.90
M - 10	57.40		4.77	12.99	2.72	26.74	26.79	0.21	--	--	--	23.61	32035	47	47	--
M - 11	61.10		4.75	13.00	2.74	26.90	26.97	0.30	0.22	--	0.29	18.80	30970	59	60	--
M - 12	66.15		4.76	2.22	0.47	26.73	26.80	0.37	--	--	--	--	--	--	--	8.27
M - 13	71.70	Ktigi, compacta y dura, contactos sellados con roca encajonante, altera silificación 1m en cada lado, fragmentos de gneis	4.75	12.99	2.73	26.84	26.87	0.15	--	--	--	70.23	54017	54	88	--
M - 14	78.00		4.75	13.00	2.74	26.87	26.90	0.19	--	--	--	29.03	32260	49	49	--
M - 15	82.70	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada	4.76	2.30	0.48	26.56	26.58	0.18	--	--	--	--	--	--	--	10.83
M - 16	89.25		4.75	12.99	2.73	26.88	26.91	0.17	--	--	--	43.52	50494	44	44	--
M - 17	97.10		4.75	12.98	2.73	26.63	26.67	0.24	--	--	--	22.86	38658	63	60	--
M - 18	110.80		4.75	12.99	2.73	--	--	--	0.15	--	0.15	--	--	--	--	--
M - 19	139.90		4.76	12.95	2.72	25.80	25.81	0.22	--	0.00	--	103.53	55071	--	80	--
M - 20	154.10		4.76	2.20	0.46	25.68	25.73	--	--	--	--	--	--	--	--	16.09
M - 21	159.35		4.75	12.98	2.73	--	--	--	0.25	--	0.33	--	--	--	--	--
M - 22	172.00		4.75	12.99	2.73	26.97	--	--	--	--	--	--	--	50	--	--
M - 23	190.30		4.76	12.95	2.72	26.83	--	--	--	--	--	--	--	51	--	--
M - 24	195.90		4.75	2.41	0.51	26.94	26.99	--	--	--	--	--	--	--	--	9.81
		4.76	12.99	2.73	26.81	--	--	--	--	--	--	--	48	--	--	
		4.75	12.99	2.73	25.46	25.49	0.27	0.10	--	0.19	233.60	103087	--	90	--	
		4.75	12.98	2.73	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		4.75	12.98	2.73	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
		4.75	2.33	0.49	26.59	26.63	--	--	--	--	--	--	--	--	10.09	
		4.76	12.99	2.73	26.88	26.91	0.17	--	0.00	--	55.29	38550	56	52	--	
		4.76	12.99	2.73	26.94	26.97	0.24	0.21	--	0.21	16.54	23363	46	50	--	

Número de Pruebas : 27 23 20 6 3 6 14 14 16 14 9

promedios:	26.53	26.53	0.31	0.22	0.16	0.27	50.57	41429	52	60	9.27
Valor máximo:	26.97	26.99	0.94	0.36	0.49	0.45	233.60	103087	63	90	16.09
Valor mínimo:	25.46	25.49	0.15	0.10	0.00	0.15	3.98	3866	43	42	6.12
Desviación estándar:	0.42	0.43	0.19	0.09	0.28	0.11	58.88	25104	6	16	3.00
Coefficiente de variación (%):	1.57	1.61	61.35	41.47	173.21	40.84	116.43	61	11	27	32.40

SIMBOLOGÍA			
γ _{sat.}	peso volumétrico saturado	Rt _{Amb.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
γ _{Amb.}	peso volumétrico ambiente	Rt _{Sat.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
ω _{Amb.}	contenido de agua de la roca en estado ambiente	la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
ω _{Sat.}	contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
R _c Amb.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
R _c Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Gn-b	Gneis de biotita
E ₁₅₀ Amb.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente	Ktigi	Dique granítico
E ₁₅₀ Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bno. PG-05, zona tubería de presión, OBRA DE GENERACIÓN,
433 455,873, 1 871 812,321, 190,097, prof. 200,05m

Tabla 7

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS				
						Yr Amb. (kN/m³)	Yr Sat. (kN/m³)	ω Sat. (%)	i (%)	la (%)	a (%)	Compresión simple		Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta Rt Sat. (MPa)
			Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez							Rc Sat. (MPa)	E150 Sat. (MPa)			
M - 1	8.70	* Gn-b, sana, dura y compacta, minerales de cuarzo, feldespato y biotita, cuarzo de segregación paralelo a la foliación. Alteraciones por hematita y clorita y hay mineralización (pirita)	4.70	12.96	2.76	25.43	26.36	5.67	--	--	--	0.23	--	60	60	--
			4.70	2.35	0.50	24.72	22.91	5.11	--	--	--	--	--	--	--	0.85
M - 2	16.70		4.75	12.97	2.73	26.63	26.74	0.58	0.71	--	--	10.91	7269	54	57	--
			4.74	2.45	0.52	26.37	26.48	0.43	--	--	--	--	--	--	--	4.41
M - 3	24.30		4.75	13.01	2.74	26.00	26.08	0.49	--	--	--	25.62	19329	63	88	--
M - 4	28.25		4.76	12.97	2.72	26.91	29.97	0.40	--	0.00	--	28.20	22676	48	48	--
M - 5	33.90	Brecha de cuarzo, gradúa a un material arcilloso con relictos de roca de gneis .	4.76	13.00	2.73	26.38	--	--	--	--	--	--	--	44	--	--
			4.76	2.31	0.49	25.92	25.99	0.37	--	--	--	--	--	--	--	8.51
M - 6	37.00		4.75	12.98	2.73	26.72	26.82	0.58	0.41	--	1.17	18.80	15485	50	51	--
M - 7	38.20	*	4.76	13.00	2.73	26.73	--	--	--	--	--	--	--	43	--	--
M - 8	47.20	Qd-d con trazas de hematita, es dura y compacta	4.76	12.99	2.73	26.20	26.24	0.21	--	--	--	44.94	38550	47	47	--
M - 9	50.50	*	4.77	13.00	2.73	26.31	26.33	0.14	--	0.27	--	23.31	40409	60	59	--
M - 10	48.00		4.77	13.00	2.73	26.37	26.40	0.14	0.18	--	0.21	13.71	27919	50	47	--
			4.76	2.08	0.44	26.53	26.58	0.20	--	--	--	--	--	--	--	5.92
M - 11	57.15		4.75	13.00	2.74	26.95	27.01	0.56	--	--	--	25.11	27098	54	57	--
M - 12	57.50		4.76	13.00	2.73	26.77	26.81	0.29	--	--	--	48.02	55071	47	47	--
M - 13	63.10		4.76	13.00	2.73	26.64	26.68	0.13	--	--	--	37.34	38550	50	48	--
			4.76	12.99	2.73	26.50	26.54	0.21	--	--	--	43.84	29654	51	51	--
M - 14	69.60		4.76	2.16	0.45	26.26	26.31	0.19	--	--	--	--	--	--	--	9.47
Número de Pruebas :						19	17	17	3	2	2	12	11	14	12	5

promedios:	26.33	26.49	0.92	0.43	0.14	0.69	26.67	29274	52	55	5.83
Valor máximo:	26.95	29.97	5.67	0.71	0.27	1.17	48.02	55071	63	88	9.47
Valor mínimo:	24.72	22.91	0.13	0.18	0.00	0.21	0.23	7269	43	47	0.85
Desviación estándar :	0.54	1.28	1.69	0.27	0.19	0.68	14.75	13361	6	12	3.44
Coefficiente de variación (%) :	2.04	4.82	183.15	61.33	141.42	98.38	55.30	46	12	21	58.94

SIMBOLOGÍA			
Yr sat.	peso volumétrico saturado	Rt Amb.	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
Yr Amb.	peso volumétrico ambiente	Rt Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
ω Amb.	contenido de agua de la roca en estado ambiente	la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
Rc Amb.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
Rc Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Gn-b	Gneis de biotita
E150 Amb.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente	Qd-d	Dique diorico
E150 Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bno. PE-02, zona canal de descarga, OBRA DE EXCEDENCIAS,
433 788,773, 1 871 563,433, 108,322, prof. 70,35m

Tabla 8

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS				
						Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez	Yr Amb. (kN/m³)	Yr Sat. (kN/m³)	ω Sat. (%)	i (%)	la (%)	a (%)	Compresión simple	
			Rc Sat. (MPa)	E150 Sat. (MPa)												
M - 0	12.60	Gn-b, poco compacta, vetillas de cuarzo, óxidos de hierro // a la fol	4.76	2.32	0.49	24.97	25.31	2.22	0.19	--	0.19	--	--	--	--	2.15
M - 1	34.60	Gn-b, compacta y dura medianamente fracturada, presencia hematita, vetillas de cuarzo	4.74	12.90	2.72	26.82	26.89	0.61	--	--	--	27.44	25917	78	90	--
M - 2	36.70	Gn-b, compacta y dura medianamente fracturada, presencia hematita, vetillas de cuarzo	4.74	12.90	2.72	26.96	27.02	0.34	--	--	--	10.55	38876	57	57	--
M - 3	47.80	Gn-b, compacta y dura, vetillas de cuarzo, micro fracturas rellenas y selladas por calcita	4.74	12.80	2.70	25.57	25.82	2.62	3.23	--	5.27	3.94	1767	43	43	--
			4.75	2.24	0.47	24.42	24.81	3.83	--	--	--	--	--	--	--	1.76
M - 4	56.40	Gn-b, compacta y dura fracturamiento inducido trazas de pirla y clorita	4.74	13.00	2.74	26.69	26.72	0.17	--	--	--	25.44	45736	49	49 Y 46	--
M - 5	79.40	Gn-b, compacta y dura, escasas vetillas, poco fracturamiento	4.74	13.00	2.74	26.76	26.79	0.21	--	0.41	--	23.44	47515	48	48	--
M - 6	61.10	Gn-b, compacta y dura poco fracturada	4.74	13.00	2.74	27.44	27.46	0.17	--	--	--	68.59	53621	55	88	--
			4.76	2.27	0.48	27.27	27.30	0.27	--	--	--	--	--	--	--	14.78
M - 7	64.50	Gn-b, compacta y dura poco fracturada	4.74	13.00	2.74	26.84	26.86	0.16	--	--	--	89.14	59725	50	50	--
M - 8	69.10		4.74	13.00	2.74	26.00	26.09	0.31	0.26	--	0.33	42.21	46990	80	80	--
M - 9	75.20	Tdc, muy compacto y duro de aspecto brechoide	4.74	13.00	2.74	25.39	25.45	0.54	--	0.05	--	36.93	45736	53	76	--
			4.74	2.23	0.47	25.43	25.50	0.30	--	--	--	--	--	--	--	6.26
M - 10	76.10	Gn-b, compacta y dura, escasas vetillas, poco fracturamiento	4.74	13.00	2.74	26.92	26.94	0.18	--	--	--	57.76	62201	52	52	--
M - 11	81.50	Tdc, compacto y duro de aspecto brechoide, poco fracturada, trazas de pirla y clorita	4.75	13.00	2.74	26.51	26.54	0.18	0.15	--	0.15	90.97	48390	52	88	--
M - 12	86.40	Gn-b compacta y dura, fuerte silificación de la roca	4.74	13.00	2.74	26.38	26.43	0.21	--	--	--	27.49	40922	52	52	--
M - 13	93.85		4.75	13.00	2.74	26.41	26.46	0.23	--	--	--	62.49	35193	52	85	--
			4.74	2.28	0.48	26.41	26.46	0.28	--	--	--	--	--	--	--	11.37
M - 14	96.20		4.74	13.00	2.74	26.67	26.72	0.21	--	0.00	--	24.99	43195	52	52	--
M - 15	98.80	4.76	2.20	0.46	26.59	26.63	0.19	0.12	--	0.18	63.42	29654	52	52	--	
Número de Pruebas :						20	20	20	5	3	5	15	15			5

promedios:	26.32	26.41	0.66	0.79	0.15	1.22	43.65	41696	55	65	7.26
Valor máximo:	27.44	27.46	3.83	3.23	0.41	5.27	90.97	62201	80	90	14.78
Valor mínimo:	24.42	24.81	0.16	0.12	0.00	0.15	3.94	1767	43	43	1.76
Desviación estándar :	0.79	0.70	1.01	1.37	0.22	2.26	27.00	14805	10	18	5.72
Coefficiente de variación (%) :	2.99	2.66	151.95	172.79	145.88	184.87	61.85	36	19	27	78.72

SIMBOLOGÍA			
Yr sat.	peso volumétrico saturado	Rt Amb.	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
Yr Amb.	peso volumétrico ambiente	Rt Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
ω Amb.	contenido de agua de la roca en estado ambiente	la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
Rc Amb.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
Rc Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Gn-b	Gneis de biotita
E150 Amb.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente	Tdc	Dique de cuarzo
E150 Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bno. PG-12, OBRA DE GENERACIÓN,
433 391,483, 1 871 714,607, 207,808, prof. 100,10m

Tabla 9

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS					
			Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez	Yr Amb. (kN/m³)	Yr Sat. (kN/m³)	ω Sat. (%)	i (%)	Ia (%)	a (%)	Compresión simple		Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta Rt Sat. (MPa)	
												Rc Sat. (MPa)	E ₅₀ Sat. (MPa)				
M - 1	9.90	Gn-b, poco descomprimida y semi-dura, moderadamente fracturada, vetillas de cuarzo, hematita	4.74	13.00	2.74	25.87	26.23	1.60	--	--	--	6.67	2781	85	85	--	
M - 2	13.15	Gn-b, poco compacta y fácil de triturar	4.66	11.84	2.54	25.60	25.88	1.47	0.24	--	0.31	4.25	--	50	57	--	
M - 3	27.00	Ktigi muy dura, compacta y silicificada, compuesta por cuarzo y feldespatos poco fracturada	4.74	13.00	2.74	25.94	26.00	0.38	--	--	--	67.20	35341	70	90	--	
M - 4	35.00	Gn-b, compacta y dura con vetillas de cuarzo, fracturas casi vert. Trazas de piritas y clorita	4.75	11.34	2.39	26.05	26.08	0.22	--	--	--	35.62	--	43	53	--	
M - 5	43.80		4.74	13.00	2.74	26.64	26.68	0.23	0.08	0.00	0.20	49.43	38876	56	55	--	
			4.75	2.08	0.44	26.32	26.35	0.10				--	--	--	12.25		
M - 6	43.90		4.75	13.00	2.74	26.71	26.74	0.18	--	--	--	31.68	--	53	53	--	
M - 7	54.50		4.75	13.00	2.74	26.76	26.79	0.24	--	--	--	35.21	55225	67 Y 75	67	--	
			4.76	2.41	0.51	26.51	26.56	0.17				--	--	--	7.07		
M - 8	57.60		Gn-b, compacta y muy dura, vetillas de cuarzo, alto grado de silicificación	4.76	13.00	2.73	27.58	27.61	0.18	--	--	--	55.18	--	54	88	--
M - 9	65.10			4.76	13.00	2.73	27.51	27.55	0.19	0.10	--	0.24	23.13	38550	35	35	--
				4.76	13.00	2.73	27.69	27.73	0.19	--	--	--	29.26	--	50	50	--
M - 10	66.15			4.76	2.08	0.44	27.43	27.43	0.19	--	--	--	--	--	--	--	10.71
M - 11	71.50	Gn-b, compacta y dura con vetillas de cuarzo, foliación de aspecto nodular	4.76	13.00	2.73	26.00	26.06	0.46	--	0.00	--	65.95	55071	60	88	--	
M - 12	75.90		4.76	13.00	2.73	25.90	25.93	0.26	0.13	--	0.30	77.10	--	57	88	--	
			4.76	2.50	0.53	26.55	26.59	0.17				--	--	--	9.02		
M - 13	77.50	4.76	13.00	2.73	26.18	26.22	0.24	--	--	--	46.26	48187	65	65	--		
M - 14	82.20	Gcf, muy silicificada y poco fracturada, clcita y trazas de arcilla en los planos de fractura.	4.71	13.00	2.76	26.29	26.32	0.24	--	--	--	84.09	--	50	87	--	
M - 15	86.00	Gn-b, vetillas de cuarzo, poco fracturamiento	4.76	13.00	2.73	27.25	27.45	1.34	--	0.97	--	8.82	4981	60	al saturarse	--	
			4.76	2.17	0.46	26.65	26.78	0.86				--	--	--	3.44		
M - 16	99.25	* fracturas selladas rellenas de clorita y piritas	4.78	13.00	2.72	27.01	27.12	1.26	0.19	--	1.14	12.30	--	47	46	--	
M - 17	103.00	* Gn-b, compacta y dura con vetillas de cuarzo	4.76	13.00	2.73	26.45	26.50	0.34	--	--	--	35.20	42773	45	45	--	
M - 18	104.20		4.78	13.00	2.72	26.51	26.59	1.02	--	0.93	--	11.74	--	48	48	--	
M - 19	108.00	Tdc, compacta y dura de aspecto brechoide	4.76	13.00	2.73	25.31	25.35	0.25	--	--	--	83.71	46727	60	90	--	
			4.76	2.27	0.48	25.50	25.55	0.19				--	--	--	8.66		
M - 20	109.80	Gn-b, compacta y muy dura alto grado de silicificación	4.77	13.00	2.73	25.63	25.68	0.21	--	--	--	143.61	--	40 Y 56	87	--	

Número de Pruebas : 26 26 26 5 4 5 20 10 6

promedios:	26.46	26.53	0.47	0.15	0.48	0.44	45.32	36851	55	67	8.53
Valor máximo:	27.69	27.73	1.60	0.24	0.97	1.14	143.61	55225	85	90	12.25
Valor mínimo:	25.31	25.35	0.10	0.08	0.00	0.20	4.25	2781	35	35	3.44
Desviación estándar :	0.67	0.65	0.46	0.07	0.55	0.39	34.51	18608	11	19	3.06
Coefficiente de variación (%) :	2.52	2.46	98.98	44.67	115.52	90.18	76.16	50	20	29	35.92

SIMBOLOGÍA	
Yr sat.	peso volumétrico saturado
Yr Amb.	peso volumétrico ambiente
ω Amb.	contenido de agua de la roca en estado ambiente
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación
Rc Amb.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente
Rc Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado
E ₅₀ Amb.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente
E ₅₀ Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado
Rt Amb.	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
Rt Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
Ia	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
i	índice de alteración
a	absorción
Gn-b	Gneis de biotita
Ktigi	Granito
Tdc	Dique de cuarzo

<p>LA PAROTA, GRO. Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta Bno. PG-14, OBRA DE EXCEDENCIAS, 433 218,771, 1 871 864,005, 218,974, prof. 110,00m</p>	<p>Tabla 10</p>
---	------------------------

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES INDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS					
			Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez	γ _{Amb.} (kN/m ³)	γ _{Sat.} (kN/m ³)	ω _{Sat.} (%)	i (%)	la (%)	a (%)	Compresión simple		Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta R _{t Sat.} (MPa)	
												R _{c Sat.} (MPa)	E _{50 Sat.} (MPa)				
M - 1	4.30	Gn-b , descomprimida	4.71	13.00	2.76	25.86	25.88	0.21	--	--	--	87.18	--	--	75	--	
			4.75	2.31	0.49	25.31	25.33	0.29	--	--	--	--	--	--	--	7.33	
M - 2	16.30	Gn-b, compacta y dura, presenta foliación delgada a laminar, cristales de cuarzo y feldespatos	4.73	13.00	2.75	26.50	26.50	0.54	--	--	--	5.57	--	45	46	--	
M - 3	28.60		4.77	13.00	2.73	26.92	26.94	0.14	--	--	--	38.39	--	--	60	--	
M - 4	36.35	Gn-b, compacta y dura, presenta foliación delgada a laminar, cristales de cuarzo y feldespatos, no muy abundante	4.74	13.00	2.74	26.60	26.60	0.16	--	--	--	95.80	43195	54	52	--	
M - 5	46.40		4.71	13.00	2.76	26.85	26.87	0.15	--	0.00	--	49.50	--	--	85	--	
			4.76	2.25	0.47	26.22	26.27	0.19	--	--	--	--	--	--	--	15.15	
M - 6	67.15	Gn-b, compacta y dura, fol. Delgada	4.74	13.00	2.74	27.04	27.04	0.19	0.10	--	0.23	69.42	55536	57	86	--	
M - 7	76.90	Qd-d , compacta, contactos encajonantes, se altera por silificación, muestran sellados	4.76	13.00	2.73	28.42	28.44	0.18	--	--	--	97.20	--	--	59	--	
M - 8	88.90	Gn-b, compacta y dura, textura granoblástica gruesa a media y foliación gruesa hasta 0,05m	4.76	13.00	2.73	26.82	26.82	0.32	--	--	--	41.30	32125	45	49	--	
			4.76	2.39	0.50	26.99	26.99	0.17	--	--	--	--	--	--	--	13.66	
M - 9	98.50		4.76	13.00	2.73	26.72	26.74	0.14	--	--	--	66.09	--	--	57	--	
			4.76	2.25	0.47	26.63	26.66	0.18	--	--	--	--	--	--	--	9.55	
M - 10	103.00		4.76	13.00	2.73	26.89	26.89	0.16	0.15	0.05	0.15	66.36	48187	12,36,28	56	--	
			4.76	2.27	0.48	27.73	27.74	0.18	--	--	--	--	--	--	--	9.82	
M - 11	109.45		4.73	13.00	2.75	26.46	26.48	0.13	--	--	--	61.91	--	--	63	--	
			4.76	2.47	0.52	26.12	26.17	0.26	--	--	--	--	--	--	--	9.35	
M - 12	114.55		4.73	13.00	2.75	27.00	27.00	0.24	--	0.00	--	17.26	35136	45	43	--	
			4.76	2.33	0.49	27.14	27.18	0.09	--	--	--	--	--	--	--	17.21	
M - 13	124.10		4.74	13.00	2.74	26.94	26.96	0.14	--	--	--	66.92	--	--	84	--	
			4.76	2.26	0.47	26.22	26.25	0.09	--	--	--	--	--	--	--	13.86	
M - 14	127.00		4.77	13.00	2.73	26.69	26.70	0.15	0.19	--	0.24	41.07	29488	40	43	--	
			4.76	2.42	0.51	26.58	26.58	0.17	--	--	--	--	--	--	--	10.72	
M - 15	128.40		4.76	13.00	2.73	26.23	26.24	0.15	--	0.00	--	31.67	--	--	55	--	
			4.76	2.37	0.50	25.77	25.80	0.18	--	--	--	--	--	--	--	12.50	
M - 16	134.85		Gn-b, compacta y dura, granoblástica y foliación gruesa, menos contenido de botita	4.74	13.00	2.74	26.29	26.30	0.24	0.11	--	0.24	69.88	67515	40	53	--
			4.76	2.34	0.49	25.73	25.75	0.09	--	--	--	--	--	--	--	14.90	
M - 17	147.30		4.76	13.00	2.73	26.71	26.72	0.19	--	--	--	16.52	--	--	40	--	
M - 18	145.00		Gn-b, compacta y dura, textura granoblástica gruesa a media y foliación gruesa	4.75	13.00	2.74	26.81	26.81	0.13	--	--	--	81.13	77533	48	51	--
				4.76	2.28	0.48	25.80	25.82	0.09	--	--	--	--	--	--	--	10.85
M - 19	150.10	4.75		13.00	2.74	27.59	27.59	0.12	0.06	--	0.17	42.03	--	--	40	--	
		4.76		2.38	0.50	26.92	26.92	0.09	--	--	--	--	--	--	--	13.16	
M - 20	154.40	4.75		13.00	2.74	26.64	26.64	0.37	--	--	--	21.84	30970	50	50	--	
		4.76		2.27	0.48	26.40	26.42	0.28	--	--	--	--	--	--	--	10.28	
M - 21	154.80	4.75		13.00	2.74	26.41	26.42	0.32	0.08	0.03	0.27	20.46	--	--	49	--	
		4.76		2.34	0.49	25.96	25.99	0.18	--	--	--	--	--	--	--	9.47	
Número de Pruebas :				36	36	36	6	5	6	21	9	15					

promedios:	26.61	26.62	0.19	0.12	0.02	0.22	51.79	46632	47	57	11.85
Valor máximo:	28.42	28.44	0.54	0.19	0.05	0.27	97.20	77533	57	86	17.21
Valor mínimo:	25.31	25.33	0.09	0.06	0.00	0.15	5.57	29488	40	40	7.33
Desviación estándar :	0.60	0.59	0.09	0.05	0.02	0.05	27.26	17199	6	14	2.74
Coefficiente de variación (%) :	2.25	2.23	47.86	41.43	143.89	21.38	52.64	37	12	25	23.09

SIMBOLOGÍA	
γ _{Sat.}	peso volumétrico saturado
γ _{Amb.}	peso volumétrico ambiente
ω _{Amb.}	contenido de agua de la roca en estado ambiente
ω _{Sat.}	contenido de agua de la roca después de la saturación
R _{c Amb.}	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente
R _{c Sat.}	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado
E _{50 Amb.}	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R _c , en estado ambiente
E _{50 Sat.}	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R _c en estado saturado
R _{t Amb.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
R _{t Sat.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
i	índice de alteración
a	absorción
Gn-b	Gneis de biotita
Qd-d	Dique dorítico

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bno. PD-01, zona túnel de desvío, OBRA DE DESVÍO,
433 369,649, 1 872 052,29, 182,520, prof. 160,05m

Tabla 12

NO. MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE						PROPIEDADES MECÁNICAS				
			Diámetro Prom (cm)	Altura (cm)	Relación de esbeltez	$\gamma_{r \text{ Amb.}}$ (kN/m ³)	$\gamma_{r \text{ Sat.}}$ (kN/m ³)	$\omega_{\text{Sat.}}$ (%)	i (%)	la (%)	a (%)	Compresión simple		Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Ángulo de falla respecto a la horizontal (grados)	Tensión indirecta Rt Sat. (MPa)
												R _{c Sat.} (MPa)	E _{150 Sat.} (MPa)			
M - 1	13.35	Gn-b, semi alterado	4.75	13.00	2.74	25.43	25.43	0.45	--	--	--	30.44	--	55	85	--
M - 2	23.50	*	4.77	12.90	2.70	25.79	25.80	0.36	--	--	--	108.86	45162	53 Y 45	88	--
			4.76	2.27	0.48	--	25.79	0.38	--	--	--	--	--	--	--	15.24
M - 3	42.50	Gcf, sana, dura y compacta, text. Granoblastica,	4.80	13.00	2.71	25.22	25.22	0.49	1.39	--	1.65	24.37	--	84	74	--
			4.76	2.33	0.49	--	25.46	0.66	--	--	--	--	--	--	--	7.37
M - 4	53.60		4.73	13.10	2.77	26.22	26.24	0.57	--	--	--	67.11	51980	65	56 Y 60	--
			4.76	2.35	0.49	--	26.32	0.36	--	--	--	--	--	--	--	10.26
M - 5	56.35		4.80	13.00	2.71	25.71	25.72	0.61	--	--	--	40.73	--	72	72	--
			4.76	2.35	0.49	--	26.09	0.57	--	--	--	--	--	--	--	6.80
M - 6	57.90	* Gn-b, textura granoblástica, contiene cuarzo, feldspatos y biotita, hay cuarzo de segregación paralelo al echado de la foliación, entre los planos de fracturas se aprecian trazas de hematita, clorita o arcilla. Hay zonas de mineralización (pirita), paralelismo entre el cuarzo y la foliación.	4.75	13.00	2.74	26.30	26.32	0.42	0.27	0.00	0.70	32.40	45608	70	70	--
			4.76	2.27	0.48	--	25.67	0.38	--	--	--	--	--	--	--	6.93
M - 7	61.75		4.70	13.00	2.77	26.71	26.71	0.25	--	--	--	27.79	--	62	67	--
			4.76	2.33	0.49	--	26.05	0.18	--	--	--	--	--	--	--	7.76
M - 8	62.60		4.72	13.10	2.78	26.09	26.09	0.27	--	--	--	69.83	35692	90	90	--
			4.76	2.29	0.48	--	25.45	0.28	--	--	--	--	--	--	--	6.12
M - 9	64.20		4.70	13.00	2.77	27.38	27.38	0.21	--	--	--	37.51	--	58	60	--
M - 10	69.80		4.73	13.10	2.77	26.21	26.21	0.31	--	0.00	--	30.67	55772	50	50	--
			4.76	2.38	0.50	--	25.57	0.18	--	--	--	--	--	--	--	12.45
M - 11	77.80		4.70	13.00	2.77	27.07	27.07	0.20	0.17	0.02	0.29	40.44	--	62	62	--
			4.76	2.32	0.49	--	26.15	0.18	--	--	--	--	--	--	--	10.52
M - 12	81.00	*, pequeños lentes de cuarzo de 0,05m, duro y compacto	4.74	13.10	2.76	25.53	25.54	0.28	--	--	--	66.09	48594	78	88	--
			4.76	2.44	0.51	--	25.03	0.27	--	--	--	--	--	--	--	10.42
M - 13	89.00	*	4.70	13.00	2.77	26.66	26.66	0.18	0.13	0.00	0.27	54.45	--	56	88	--
			4.76	2.37	0.50	--	25.10	0.28	--	--	--	--	--	--	--	10.07

Número de Pruebas :

13	24	24	4	4	4	13	6			11
----	----	----	---	---	---	----	---	--	--	----

promedios:

26.18	25.96	0.35	0.49	0.01	0.73	48.51	47135	67	75	9.45
-------	-------	------	------	------	------	-------	-------	----	----	------

Valor máximo:

27.38	27.38	0.66	1.39	0.02	1.65	108.86	55772	90	90	15.24
-------	-------	------	------	------	------	--------	-------	----	----	-------

Valor mínimo:

25.22	25.03	0.18	0.13	0.00	0.27	24.37	35692	50	50	6.12
-------	-------	------	------	------	------	-------	-------	----	----	------

Desviación estándar :

0.65	0.60	0.15	0.60	0.01	0.65	24.07	6890	12	13	2.78
------	------	------	------	------	------	-------	------	----	----	------

Coefficiente de variación (%) :

2.48	2.31	42.26	123.04	200.00	88.82	49.61	15	18	18	29.42
------	------	-------	--------	--------	-------	-------	----	----	----	-------

SIMBOLOGÍA

$\gamma_{r \text{ sat.}}$	peso volumétrico saturado	R _{t Amb.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
$\gamma_{r \text{ Amb.}}$	peso volumétrico ambiente	R _{t Sat.}	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
$\omega_{\text{Amb.}}$	contenido de agua de la roca en estado ambiente	la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
$\omega_{\text{Sat.}}$	contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
R _{c Amb.}	resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
R _{c Sat.}	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Gn-b	Gneis de biotita
E _{150 Amb.}	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente	Gc-f	Gneis cuarzo feldespático
E _{150 Sat.}	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bno. . PD-04, zona portal de salida, OBRA DE DESVÍO,
433 694,911, 1 871 996,663, 106,694, prof. 90,25m

Tabla 13

NO. MUESTRA	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS			PROPIEDADES ÍNDICE					PROPIEDADES MECÁNICAS								
				γ_r Amb.	ω Sat.	i	la	a	Compresión simple	Posición de foliación respecto a la horizontal (grados)	Angulo de falla respecto a la horizontal	Velocidades P y S					
	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	R _c Amb. (MPa)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)			E (MPa)	v				
M - 1	5.41	13.49	2.49	26.30	0.16	0.51	0.00	0.58	135.15	HORIZONTAL	90	4216	1853	2.68	25401	0.38	
M - 2	5.41	13.49	2.49	26.26	0.19	--	--	--	129.87		90	--	--	--	--	--	--
M - 3	5.47	13.46	2.46	26.37	0.16	--	--	--	130.53		90	--	--	--	--	--	--
M - 4	5.48	13.46	2.46	25.85	0.38	0.17	0.00	0.38	199.86		90	5177	2289	2.64	38047	0.38	
M - 5	5.48	11.86	2.16	25.77	0.28	--	--	--	200.69		90	--	--	--	--	--	--
M - 6	--	--	--	--	--	--	--	--	--		--	--	--	--	--	--	--
M - 7	5.48	10.35	1.89	25.82	0.25	0.10	0.00	0.32	196.53		90	5750	2813	2.63	55885	0.34	
M - 8	5.48	13.65	2.49	25.87	0.26	--	--	--	185.73		90	--	--	--	--	--	--
M - 9	--	--	--	--	--	--	--	--	--		--	--	--	--	--	--	--
Número de Pruebas :				7	7	3	3	3	7			3	3	3	3	3	

promedios:	26.03	0.24	0.26	0.00	0.43	168.34	--	90	5047.67	2318.33	2.65	39777.67	0.37
Valor máximo:	26.37	0.38	0.51	0.00	0.58	200.69	0	90	5750.00	2813.00	2.68	55885.00	0.38
Valor mínimo:	25.77	0.16	0.10	0.00	0.32	129.87	0	90	4216.00	1853.00	2.63	25401.00	0.34
Desviación estándar :	0.26	0.08	0.22	0.00	0.14	34.52	--	0	775.14	480.67	0.03	15315.51	0.02
Coefficiente de variación (%) :	1.01	32.72	84.35	0.00	31.91	20.50	--	0	15.36	20.73	1.00	38.50	6.30

peso volumétrico saturado	R _t Amb.	resistencia a la tensión indirecta, en estado ambiente
peso volumétrico ambiente	R _t Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado
contenido de agua de la roca en estado ambiente	la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)
contenido de agua de la roca después de la saturación	i	índice de alteración
resistencia de la roca en compresión simple, en estado ambiente	a	absorción
resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado		
módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc, en estado ambiente		
módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		

LA PAROTA, GRO.
Propiedades índice y mecánicas de la roca intacta
Bloques y/o fragmentos irregulares de roca, LA PEDRERA

Tabla 14

SISTEMAS DE FRACTURAS Y FALLAS	RUMBO	ECHADO	Az Máx. PENDIENTE	ESPESOR DEL RELLENO	TIPO DE RELLENO	FRECUENCIA SUPERFICIAL (m)	CONTINUIDAD	CONDICIÓN		PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE *	
								SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD	ÁNGULO DE FRICCIÓN	c (kg/cm ²)

FOLIACIÓN												
Fol.	N02°W	58°SW	268			5/m	indefinida >>				45 min	50 -100

FRACTURAS - FALLAS												
Fracturas-S1	N55°W	57°NE	35			1/m	4 m				35-45	0
S2	E-W	71°S	180			2/m	10 m				35-45	0
S3	N62°E	67°SE	152			2/m	5 m				35-45	0

* VALOR TOMADO DE REFERENCIA 6

**LA PAROTA, GRO.
SISTEMAS PRINCIPALES DE FRACTURAS, FALLAS Y FOLIACIÓN
OBRA DE DESVIOS**

Tabla 15

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	MUESTRA NO.	Propiedades								
				INDICE						MECÁNICAS		
				γ_r Amb.	γ_r Sat.	ω Sat.	i	la	a	R _c Sat.	E ₁₅₀ Sat.	R _t Sat.
PD-01	4.30	Gn-b , descomprimida	1	25.59	25.61	0.25	--	--	--	87.18	--	7.33
	16.30	Gn-b, compacta y dura, presenta foliación delgada a laminar, cristales de cuarzo y feldespato	2	26.50	26.50	0.54	--	--	--	5.57 *	--	--
	28.60		3	26.92	26.94	0.14	--	--	--	38.39	--	--
	36.35		4	26.60	26.60	0.16	--	--	--	95.80	43195	--
	46.40	Gn-b, compacta y dura, presenta foliación delgada a laminar, cristales de cuarzo y feldespato, no muy abundante	5	26.54	26.57	0.17	--	0.00	--	49.50	--	15.15
	67.15	Gn-b, compacta y dura, fol. Delgada	6	27.04	27.04	0.19	0.10	--	0.23	69.42	55536	--
	76.90	Qd-d , compacta, contactos encajonantes, se altera por silificación, muestran sellados	7	28.42	28.44	0.18	--	--	--	97.20	--	--
	88.90	Gn-b, compacta y dura, textura granoblástica gruesa a media y foliación gruesa hasta 0,05m	8	26.91	26.91	0.25	--	--	--	41.30	32125	13.66
	98.50		9	26.68	26.70	0.16	--	--	--	66.09	--	9.55
	103.00		10	27.31	27.32	0.17	0.15	0.05	0.15	66.36	48187	9.82
	109.45		11	26.29	26.33	0.20	--	--	--	61.91	--	9.35
	114.55		12	27.07	27.09	0.17	--	0.00	--	17.26 *	35136	17.21
	124.10		13	26.58	26.61	0.12	--	--	--	66.92	--	13.86
	127.00		14	26.64	26.64	0.16	0.19	--	0.24	41.07	29488	10.72
	128.40		15	26.00	26.02	0.17	--	0.00	--	31.67	--	12.50
	134.85	Gn-b, compacta y dura, granoblástica y foliación gruesa, menos contenido de botita	16	26.01	26.03	0.17	0.11	--	0.24	69.88	67515	14.90
	147.30	Gn-b, compacta y dura, textura granoblástica gruesa a media y foliación gruesa	17	26.71	26.72	0.19	--	--	--	16.52 *	--	--
	145.00		18	26.31	26.32	0.11	--	--	--	81.13	77533	10.85
	150.10		19	27.26	27.26	0.11	0.06	--	0.17	42.03	--	13.16
	154.40		20	26.52	26.53	0.33	--	--	--	21.84	30970	10.28
	154.80		21	26.19	26.21	0.25	0.08	0.03	0.27	20.46	--	9.47

**LA PAROTA, GRO.
PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA
OBRA DE DESVIOS**

Tabla 16

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	MUESTRA NO.	Propiedades								
				INDICE						MECANICAS		
				γ_r Amb.	γ_r Sat.	ω Sat.	i	la	a	R_c Sat.	E_{150} Sat.	R_t Sat.
PD-04	13.35	Gn-b, semi alterado	1	25.43	25.43	0.45	--	--	--	30.44	--	--
	23.50	*	2	25.79	25.80	0.37	--	--	--	108.86	45162	15.24
	42.50	Gcf, sana, dura y compacta, text. Granoblastica.	3	25.22	25.34	0.58	1.39	--	1.65	24.37	--	7.37
	53.60	* Gn-b, textura granoblástica , contiene cuarzo, feldspatos y	4	26.22	26.28	0.47	--	--	--	67.11	51980	10.26
	56.35	biotita, hay cuarzo de segregación	5	25.71	25.91	0.59	--	--	--	40.73	--	6.80
	57.90	paralelo al echado de la foliación,	6	26.30	26.00	0.40	0.27	0.00	0.70	32.40	45608	6.93
	61.75	entre los planos de fracturas se	7	26.71	26.38	0.22	--	--	--	27.79	--	7.76
	62.60	aprecian trazas de hematita,	8	26.09	25.77	0.28	--	--	--	69.83	35692	6.12
	64.20	clorita o arcilla . Hay zonas de	9	27.38	27.38	0.21	--	--	--	37.51	--	--
	69.80	mineralización (pirita), p	10	26.21	25.89	0.25	--	0.00	--	30.67	55772	12.45
	77.80	*, pequeños lentes de cuarzo de	11	27.07	26.61	0.19	0.17	0.02	0.29	40.44	--	10.52
	81.00	0,05m, duro y compacto	12	25.53	25.29	0.28	--	--	--	66.09	48594	10.42
	89.00	*	13	26.66	25.88	0.23	0.13	0.00	0.27	54.45	--	10.07

No. de Pruebas	34	34	34	10	9	10	34	15	26
Promedio	26.18	26.00	0.35	0.49	0.01	0.73	48.51	47134.67	9.45
Valor máximo	27.38	27.38	0.59	1.39	0.02	1.65	108.86	55772.00	15.24
Valor mínimo	25.22	25.29	0.19	0.13	0.00	0.27	24.37	35692.00	6.12
Desviación estandar	0.65	0.57	0.14	0.60	0.01	0.65	24.07	6890.10	2.78
Coefficiente de Variación (%)	2.48	2.19	40.45	123.04	200.00	88.82	49.61	14.62	29.42

SIMBOLOGIA		
γ_r sat.	peso volumétrico saturado	i índice de alteración
γ_r Amb.	peso volumétrico ambiente	a absorción
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación	Gn-b Gneis de biotita
R_c Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Qd-d Dique diorico
E_{150} Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R_c en estado saturado	Gcf Gneis cuarzo feldespático
R_t Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado	
la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)	

**LA PAROTA, GRO.
PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA
OBRA DE DESVIOS**

Tabla 17

SISTEMAS DE FRACTURAS Y FALLAS	RUMBO	ECHADO	Az Máx. PENDIENTE	ESPESOR DEL RELLENO	TIPO DE RELLENO	FRECUENCIA SUPERFICIAL (m)	CONTINUIDAD	CONDICIÓN		PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE *	
								SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD	ÁNGULO DE FRICCIÓN	c (kg/cm2)

FOLIACIÓN

Fol.	N 05° E	65° NW	275			0.002 a 0.20	-----	abiertos	cerrados	35	min 45	5 a 10
------	---------	--------	-----	--	--	--------------	-------	----------	----------	----	--------	--------

FRACTURAS

S1	E-W	70° S	180	0.1 a 15 cm	cuarzo, granito	0.25 a 1.0	1 a 10	abiertos	selladas o rellenas	35	min 45	0
S2	N 65° W	65° NE	25	0.1 a 15 cm	cuarzo, granito	0.50 a 1.0	hasta 40	cerrados	cerrados sellados	35	min 45	0

* VALOR TOMADO DE REFERENCIA 6

**LA PAROTA, GRO.
SISTEMAS PRINCIPALES DE FRACTURAS, FALLAS Y FOLIACIÓN
OBRA DE EXCEDENCIAS**

Tabla 18

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	MUESTRA NO.	Propiedades								
				INDICE						MECÁNICAS		
				γ_r Amb.	γ_r Sat.	ω Sat.	i	la	a	R _c Sat.	E ₁₅₀ Sat.	Rt Sat.
PE-02	8.70	* Gn-b, sana, dura y compacta, minerales de cuarzo, feldespato y biotita, cuarzo de segregación paralelo a la foliación.	1	25.08	24.64	5.39	--	--	--	0.23 *	--	0.85 *
	16.70	Alteraciones por hematita y clorita y hay	2	26.50	26.61	0.51	0.71	--	--	10.91 *	7269 *	4.41
	24.30		3	26.00	26.08	0.49	--	--	--	25.62	19329	--
	28.25		4	26.91	29.97	0.40	--	0.00	--	28.20	22676	--
	33.90		Brecha de cuarzo, gradúa a un material arcilloso con relictos de roca de gneis .	5	26.15	25.99	0.37	--	--	--	--	--
	37.00	Qd-d con trazas de hematita, es dura y compacta	6	26.72	26.82	0.58	0.41	--	1.17	18.80	15485	--
	47.20		8	26.20	26.24	0.21	--	--	--	44.94	38550	--
	50.50		9	26.31	26.33	0.14	--	0.27	--	23.31	40409	--
	48.00		10	26.45	26.49	0.17	0.18	--	0.21	13.71 *	27919	5.92
	57.15		11	26.95	27.01	0.56	--	--	--	25.11	27098	--
	57.50		12	26.77	26.81	0.29	--	--	--	48.02	55071	--
	63.10		13	26.64	26.68	0.13	--	--	--	37.34	38550	--
	69.60		14	26.38	26.43	0.20	--	--	--	43.84	29654	9.47
	PG-09	5.90	Gn-b, descomprimida, hematita, vetillas de cuarzo	1	25.62	25.99	1.77	--	--	--	1.16 *	544 *
31.70		Gn-b, poco fracturamiento, hematitas y facil rompimiento	2	26.25	26.31	0.21	--	--	--	19.91	--	--
35.80			3	25.77	25.81	0.26	--	--	--	41.93	48526	--
39.60		Gn-b, fuerte fracturamiento, hematitas, facil rompimiento	4	26.21	26.28	0.39	0.22	--	0.63	22.09	--	--
44.90		Gn-b con vetilleo de cuarzo paralelo a la foliación, compacta y dura, fuerte brechamiento	5	26.58	26.60	0.20	--	--	--	25.51	55458	9.52
49.00			6	27.19	27.21	0.21	--	--	--	31.50	--	--
50.20		Tdc, cuarzo de segregación, brechoide, compacto y duro, biotita y clorita	7	26.09	26.12	0.22	--	--	--	55.46	51761	--
52.90		Gn-b poco compacta y dura, vetillas de cuarzopirita, trazas de anhidrita, fracturas inducidas	8	26.71	26.73	0.60	--	0.00	--	137.7 *	--	--
62.60		Gn-b, presencia de sílice, vetilleo de cuarzo, fracturamiento inducido, micromarcas de deslizamiento	9	26.74	26.77	0.19	--	--	--	33.32	45355	7.96
67.50			10	26.75	26.77	0.16	0.12	--	0.24	40.53	--	--
68.00			11	27.61	27.63	0.16	--	--	--	38.15	38985	--
72.40		Gn-b vetillas de cuarzo, el contacto de cuarzo, encajonante sellado	12	26.63	26.66	0.11	--	--	--	70.49	--	--
78.70		Gn-b, compacta y dura, vetillas de cuarzo, pirita y anhidrita en planos de fractura	13	27.20	27.22	0.18	--	0.00	--	15.53 +	23890	9.69
86.70			14	26.56	26.59	0.14	0.15	--	0.20	30.29	--	--
94.15	15		26.69	26.72	0.10	--	--	--	23.46	42103	--	
97.00	16		26.14	26.17	0.15	--	--	--	23.78	--	--	
101.60	17		27.17	26.86	0.25	--	--	--	38.20	45930	8.07	
112.30	Gcf, compacta y dura con clorita y trazas de sericita, fracturamiento	18	25.92	25.96	0.15	--	0.00	--	72.45	--	--	

**LA PAROTA, GRO.
PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE ROCA INTACTA
OBRA DE EXCEDENCIAS**

Tabla 19

				Propiedades									
				INDICE					MECANICAS				
PG-09	115.35	* Gn-b, compacta y dura, vetillas de cuarzo	19	26.74	26.78	0.16	--	--	--	33.72	36112	--	
	117.00		20	26.17	26.21	0.13	0.17	--	0.17	52.67	--	9.93	
	121.50		21	26.78	26.81	0.19	--	--	--	40.48	35242	--	
	126.20		22	27.96	27.97	0.08	--	--	--	51.98	--	--	
	129.00		23	26.16	26.19	0.13	--	--	--	39.87	39991	10.56	
	131.75		24	27.08	27.10	0.13	--	0.00	--	32.54	--	--	
	143.60		* contacto sellado	25	26.74	26.77	0.21	--	--	--	44.78	28676	--
	149.80		*	26	26.90	27.45	0.13	0.04	--	0.18	52.94	--	13.87
	153.30		Gn-b, compacta y dura, vetillas de cuarzo, sin fracturamiento.	27	26.74	26.77	0.27	--	0.00	--	43.03	28676	--
157.70		28	26.56	26.58	0.18	--	--	--	11.89 *	--	--		
PG-12	12.60	Gn-b, poco compacta, vetillas de cuarzo, óxidos de hierro // a la fol	0	24.97	25.31	2.22	0.19	--	0.19	--	--	2.15 *	
	34.60	Gn-b, compacta y dura medianamente fracturada, precencia hematita, vetillas de cuarzo	1	26.82	26.89	0.61	--	--	--	27.44	25917	--	
	36.70		2	26.96	27.02	0.34	--	--	--	10.55 *	38876	--	
	47.80	Gn-b, compacta y dura, vetillas de cuarzo,	3	25.00	25.32	3.23	3.23	--	5.27 *	3.94 *	1767 *	1.76 *	
	56.40	Gn-b, compacta y dura fracturamiento inducido trazas de pirita y clorita	4	26.69	26.72	0.17	--	--	--	25.44	45736	--	
	79.40	Gn-b, compacta y dura, escasas vetillas, poco fracturamiento	5	26.76	26.79	0.21	--	0.41	--	23.44	47515	--	
	61.10	Gn-b, compacta y dura poco fracturada	6	27.36	27.38	0.22	--	--	--	68.59	53621	14.78	
	64.50		7	26.84	26.86	0.16	--	--	--	89.14	59725	--	
	69.10		8	26.00	26.09	0.31	0.26	--	0.33	42.21	46990	--	
	75.20	Tdc, muy compacto y duro de aspecto brechoide	9	25.41	25.48	0.42	--	0.05	--	36.93	45736	6.26	
	76.10	Gn-b, compacta y dura, escasas vetillas, poco	10	26.92	26.94	0.18	--	--	--	57.76	62201	--	
	81.50	Tdc, compacto y duro de aspecto brechoide, poco fracturada, trazas de pirita y clorita	11	26.51	26.54	0.18	0.15	--	0.15	90.97	48390	--	
	86.40	Gn-b compacta y dura, fuerte silificación de la roca	12	26.38	26.43	0.21	--	--	--	27.49	40922	--	
	93.85		13	26.41	26.46	0.26	--	--	--	62.49	35193	11.37	
	96.20		14	26.67	26.72	0.21	--	0.00	--	24.99	43195	--	
98.80	15		26.59	26.63	0.19	0.12	--	0.18	63.42	29654	--		

LA PAROTA, GRO.
MECÁNICAS DE ROCA INTACTA

PROPIEDADES ÍNDICE Y
OBRA DE

Tabla 20

EXCEDENCIAS

			Propiedades									
			INDICE						MECANICAS			
PG-14	9.90	Gn-b, poco descomprimida y semi-dura, moderadamente fracturada, vetillas de cuarzo, hematita	1	25.87	26.23	1.60	--	--	--	6.67 *	2781*	--
	13.15	Gn-b , poco compacta y fácil de triturar	2	25.60	25.88	1.47	0.24	--	0.31	4.25 *	--	--
	27.00	Ktigi muy dura , compacta y silicificada , compuesta por cuarzo y feldspatos poco fracturada	3	25.94	26.00	0.38	--	--	--	67.20	35341	--
	35.00	Gn-b, compacta y dura con vetillas de cuarzo, fracturas casi vert. Trazas de piritas y clorita	4	26.05	26.08	0.22	--	--	--	35.62	--	--
	43.80		5	26.48	26.52	0.17	0.08	0.00	0.20	49.43	38876	12.25
	43.90		6	26.71	26.74	0.18	--	--	--	31.68	--	--
	54.50	Gn-b, compacta y muy dura, vetillas de cuarzo. alto grado de silicificación	7	26.64	26.68	0.21	--	--	--	35.21	55225	7.07
	57.60		8	27.58	27.61	0.18	--	--	--	55.18	--	--
	65.10		9	27.51	27.55	0.19	0.10	--	0.24	23.13	38550	--
	66.15		10	27.56	27.58	0.19	--	--	--	29.26	--	10.71
	71.50	Gn-b , compacta y dura con vetillas de cuarzo, foliación de aspecto nodular	11	26.00	26.06	0.46	--	0.00	--	65.95	55071	--
	75.90		12	26.23	26.26	0.22	0.13	--	0.30	77.10	--	9.02
	77.50		13	26.18	26.22	0.24	--	--	--	46.26	48187	--
	82.20	Gcf, muy silicificada y poco fracturada, clcita y trazas de arcilla en los planos de fractura.	14	26.29	26.32	0.24	--	--	--	84.09	--	--
	86.00	Gn-b, vetillas de cuarzo, poco fracturamiento	15	26.95	27.12	1.10	--	0.97	--	8.82 *	4981 *	3.44
	99.25	* fracturas selladas rellenas de clorita y piritita	16	27.01	27.12	1.26	0.19	--	1.14	12.3 *	--	--
	103.00	* Gn-b, compacta y dura con vetillas de cuarzo	17	26.45	26.50	0.34	--	--	--	35.20	42773	--
	104.20		18	26.51	26.59	1.02	--	0.93	--	11.74 +	--	--
	108.00	Tdc, compacta y dura de aspecto brechoide	19	25.41	25.45	0.22	--	--	--	83.71	46727	8.66
	109.80	Gn-b, compacta y muy dura alto grado de silicificación	20	25.63	25.68	0.21	--	--	--	143.61 *	--	--

No. de Pruebas	78	78	78	18	14	17	60	50	23
Promedio	26.42	26.50	0.52	0.47	0.34	0.34	50.35	44746.41	9.28
Valor máximo	27.58	27.61	3.23	3.23	0.97	1.14	90.97	62201.00	14.78
Valor mínimo	24.97	25.31	0.16	0.08	0.00	0.15	23.13	25917.00	3.44
Desviación estandar	0.65	0.60	0.66	0.97	0.44	0.31	22.26	9150.00	3.43
Coefficiente de Variación (%)	2.47	2.28	126.98	207.22	131.58	91.03	44.22	20.45	36.93

SIMBOLOGÍA			
γ_r sat.	peso volumétrico saturado	i	índice de alteración
γ_r Amb.	peso volumétrico ambiente	a	absorción
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación	Gn-b	Gneis de biotita * Valores no considerados en la estadística
R_c Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Qd-d	Dique diorico
E_{150} Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de R_c en estado saturado	Tdc	Dique de cuarzo
R_t Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado	Gcf	Gneis cuarzo feldespático
la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)	Ktigi	Granito

**LA PAROTA, GRO.
MECÁNICAS DE ROCA INTACTA**

EXCEDENCIAS

**PROPIEDADES ÍNDICE Y
OBRA DE**

Tabla 21

SISTEMAS DE FRACTURAS Y FALLAS	RUMBO	ECHADO	Az Máx. PENDIENTE	ESPESOR DEL RELLENO	TIPO DE RELLENO	FRECUENCIA SUPERFICIAL (m)	CONTINUIDAD	CONDICIÓN		PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE *	
								SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD	ÁNGULO DE FRICCIÓN	c (kg/cm2)

FOLIACIÓN												
Fol.	N 05E	65NW	275			0.002 a 0.20	-----	abiertos	cerrados	35	min 45	5 a 10

FRACTURAS												
S1	E-W	70S	180	0.1 a 15 cm	cuarzo, granito	0.25 a 1.0	1 a 10	abiertos	selladas o rellenas	35	min 45	0
S2	N 65W	65NE	25	0.1 a 15 cm	cuarzo, granito	0.50 a 1.0	hasta 40	cerrados	cerrados sellados	35	min 45	0

* VALOR TOMADO DE REFERENCIA 6

**LA PAROTA, GRO.
SISTEMAS PRINCIPALES DE FRACTURAS, FALLAS Y FOLIACIÓN
OBRA DE GENERACIÓN**

Tabla 22

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE ROCA	MUESTRA NO.	Propiedades								
				INDICE						MECANICAS		
				γ_r Amb.	γ_r Sat.	ω Sat.	i	la	a	R _c Sat.	E ₁₅₀ Sat.	R _t Sat.
PG-05	6.50	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada, bandeamiento fino	1	26.52	26.42	0.63	0.36	--	0.45	--	--	6.12
	10.70		2	26.21	26.29	0.30	--	--	--	21.23	20589	7.71
	20.45	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada.	3	26.28	26.37	0.94	--	0.49	--	3.98	3866	--
	20.65		4	26.25	26.30	0.42	--	--	--	16.81	22121	6.62
	34.40		5	26.56	26.62	0.23	--	--	--	48.94	74927	7.90
	41.50		6	26.74	26.79	0.21	--	--	--	23.61	32035	--
	45.40		7	26.82	26.89	0.34	0.22	--	0.29	18.80	30970	8.27
	47.50		8	26.84	26.87	0.15	--	--	--	70.23	54017	--
	55.15	Falla normal, incl. 74° sin relleno, con alteración secundaria	9	26.72	26.74	0.19	--	--	--	29.03	32260	10.83
	57.40	Gn-b, compcta, dura y algo fracturada	10	26.88	26.91	0.17	--	--	--	43.52	50494	--
	61.10		11	26.63	26.67	0.24	--	--	--	22.86	38658	--
	71.70	Ktigi, compacta y dura, contactos sellados con roca encajonante, altera silificación 1m en cada lado, fragmentos de gneis	13	25.74	25.77	0.22	--	0.00	--	103.53	55071	16.09
	97.10	Gn-b, compacta y dura, foliación mediana a gruesa	17	26.89	26.99	--	--	--	--	--	--	9.81
	139.90		19	25.46	25.49	0.27	0.10	--	0.19	233.60	103087	--
159.35	21		26.59	26.63	--	--	--	--	--	--	10.09	
172.00	22		26.88	26.91	0.17	--	0.00	--	55.29	38550	--	
190.30	Ktigi, contactos sellados con gneis	23	26.94	26.97	0.24	0.21	--	0.21	16.54	23363	--	

No. de Pruebas	23	23	21	4	3	4	20	20	9
Promedio	26.53	26.57	0.31	0.22	0.16	0.29	50.57	41429.14	9.27
Valor máximo	26.94	26.99	0.94	0.36	0.49	0.45	233.60	103087.00	16.09
Valor mínimo	25.46	25.49	0.15	0.10	0.00	0.19	3.98	3866.00	6.12
Desviación estandar	0.42	0.42	0.21	0.11	0.28	0.12	58.88	25103.94	3.00
Coefficiente de Variación (%)	1.58	1.59	67.60	47.90	173.21	41.47	116.43	60.59	32.40

SIMBOLOGIA

γ_r sat.	peso volumétrico saturado	i	índice de alteración
γ_r Amb.	peso volumétrico ambiente	a	absorción
ω Sat.	contenido de agua de la roca después de la saturación	Gn-b	Gneis de biotita
R _c Sat.	resistencia de la roca en compresión simple, en estado saturado	Ktigi	Granito
E ₁₅₀ Sat.	módulo de deformabilidad tangente al 50% de Rc en estado saturado		
R _t Sat.	resistencia a la tensión indirecta, en estado saturado		
la	intemperismo acelerado (% pérdida de peso)		

**LA PAROTA, GRO.
MECÁNICAS DE ROCA INTACTA**

GENERACIÓN

**PROPIEDADES ÍNDICE Y
OBRA DE**

Tabla 23