



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHICOASÉN II, EDO. DE
CHIAPAS. ESTUDIO GEOTÉCNICO. DETERMINACIÓN DE
LA PERMEABILIDAD EN LA ZONA DE LA BOQUILLA.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓLOGA
PRESENTA:
AREMI LÓPEZ GONZÁLEZ



DIRECTOR DE TESIS:
ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

MÉXICO, D.F.

JULIO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo del estudio	4
1.3 Localización y acceso	5
1.4 Descripción de las obras civiles del proyecto	6
1.5 Sismicidad	7
CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA BOQUILLA	9
2.1 Litología	9
2.1.1 Depósitos no consolidados	12
2.2 Geología estructural	15
2.2.1 Estratificación	15
2.2.2 Fallas	16
2.2.3 Fracturamiento	17
2.3 Carsticidad	19
CAPÍTULO 3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS	23
3.1 Exploración directa (perforación)	23
3.1.1 Zona de la cortina	23
3.1.2 Obra de excedencias	24
3.1.3 Obra de desvío	27
3.1.4 Ataguías	29
3.2 Permeabilidad	31
3.2.1 Equipo a utilizar e instalación	31
3.2.2 Descripción del método	32
3.2.3 Presentación de resultados	33
3.2.4 Permeabilidad en la zona de la cortina	34
3.2.5 Permeabilidad en la zona del túnel de desvío-vertedor	42
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO I: PLANO GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA	
ANEXO II: BARRENACIÓN	
ANEXO III: PERMEABILIDAD	

RESUMEN

El objetivo principal de los trabajos realizados en la zona de estudio es determinar las condiciones geológico-geotécnicas en las que se cimentarán las obras del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II y cuyo conocimiento es necesario para elaborar su diseño.

En general el alcance del presente informe se limita a conocer las condiciones geológicas del sitio así como la permeabilidad en la zona de la boquilla; estas características fueron determinadas mediante levantamientos geológicos y exploración directa (perforación).

El contacto litológico así como la calidad de la roca en ambos márgenes del río está regido por la distribución de las unidades litológicas. En margen derecha del río se tienen rocas de regular a buena calidad de la Formación Angostura en donde se diferencian dos unidades. La unidad inferior (Ksa-U1) que está constituida por una caliza fosilífera. La permeabilidad en esta unidad está relacionada directamente con fracturamiento abierto, la presencia de fallas así como también por oquedades generadas por la disolución de la roca, teniendo así que el 58% de las pruebas realizadas resultaron permeables a altamente permeables y el 42% de impermeables a poco permeables. La unidad superior (Ksa-U2) está constituida por calizas brechoides y su permeabilidad, al igual que la unidad 1, está asociada con fracturamiento, fallas y oquedades generadas por disolución, dando como resultado que el 59% de las pruebas realizadas fueran permeables, el 11% fueran poco permeables y finalmente el 30% impermeables. La estratificación en las calizas de la Formación Angostura está inclinada hacia la margen izquierda del río y tiene una orientación general N60°E/30°SE.

Hacia la margen izquierda del río se encuentran rocas de la Formación Soyalo (Tps) constituidas por lutitas y areniscas, afectadas superficialmente por una fuerte alteración que las vuelve deleznable originando una capa superficial de roca descomprimida con un espesor de hasta 20 m aproximadamente. La permeabilidad en esta formación indica que debido a la génesis de las rocas que la constituyen, aproximadamente el 70% de las pruebas realizadas resultaron impermeables, el 20% de las pruebas resultaron permeables y el 10% resultaron poco permeables.

Tanto las rocas de la Formación Angostura como de la Formación Soyalo se encuentran cubiertas por espesores importantes de depósitos no consolidados de talud (Qdt') constituidos por bloques y gravas de calizas empacados en material limo-arenoso; y aluvión (Qal), representado por gravas redondeadas a subredondeadas, arenas y limos con un espesor promedio de 20 m.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos iniciaron en 1948 los estudios de la cuenca del río Grijalva, aprovechando sus recursos con la construcción de cuatro hidroeléctricas: Nezahualcóyotl (C.H. Malpaso, 1964), Belisario Domínguez (C.H. Angostura, 1974), Manuel Moreno Torres (C.H. Chicoasén, 1980) y Ángel Albino Corzo (C.H. Peñitas, 1987). En este sistema hidroeléctrico aún quedan sitios con características apropiadas para la generación de energía eléctrica, como es el caso del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II, el cual se localiza en el segmento del río ubicado aguas abajo de la presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén) y apenas al límite con el embalse de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso). Para determinar el sitio actual, se realizaron estudios geológicos en varias alternativas y en diferentes etapas de tiempo hasta determinar el sitio actual donde se llevan a cabo los estudios del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II, con la intervención de las disciplinas de Topografía, Geofísica, Perforación, Geotecnia y Geología.

Con la información obtenida se detalla el modelo geológico del proyecto, donde los principales objetivos se lograron con las siguientes características: conocer con mayor detalle los espesores de depósitos de aluvión y de talud en la margen izquierda donde se ubica la obra del canal desvío-vertedor, las excavaciones de los taludes de dicho canal en las lutitas alteradas en esta misma margen y el relleno aluvial en el cauce donde se ubica la cortina y la casa de máquinas.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El estado de Chiapas representa una de las entidades más importantes a nivel nacional en generación de energía eléctrica, ya que aproximadamente el 70% de la energía eléctrica que se consume y requiere el país proviene de sus centrales hidroeléctricas. Dentro de su territorio, existen actualmente cuatro centrales hidroeléctricas principales, las cuales, en orden de importancia son las siguientes: Manuel Moreno Torres (Chicoasén), Nezahualcóyotl (Malpaso), Belisario Domínguez (La Angostura) y Ángel Albino Corzo (Peñitas).

Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasén): Localizada en el municipio de Chicoasén, a 40 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, esta presa representa una de las hidroeléctricas más importantes del país ya que cuenta con cinco unidades generadoras.

Central Hidroeléctrica Nezahualcóyotl (Malpaso): Localizada en el municipio de Tecpatán y construida en los años sesenta, Malpaso representa la primera de las grandes hidroeléctricas realizadas sobre el cauce del Río Grijalva y cuenta con seis unidades generadoras.

Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez (La Angostura): Este complejo hidroeléctrico fue construido en la década de los años setenta; se localiza a 63 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en el municipio de Acalá y cuenta con una cortina de 143 metros de altura.

Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (Peñitas): Constituye la presa más pequeña de las cuatro gigantes hidroeléctricas, se localiza en el municipio de Ostucán y cuenta con cuatro unidades generadoras.

Con el aprovechamiento de otras corrientes superficiales menores, se han construido otro conjunto de centrales hidroeléctricas en la entidad y mediante estudios de factibilidad se planea la construcción de otros más, como es el caso del P. H. Chicoasén II.

La ubicación del sitio apropiado para alojar la obra del actual proyecto hidroeléctrico Chicoasén II, requirió de estudios en varios sitios sobre el río Grijalva con condiciones topográficas e hidrológicas idóneas para este fin. De esta forma, en diferentes etapas de tiempo, a partir del año de 1977, se empezaron a realizar estudios geológicos en sitios como Los Cedros, Copainalá, Tres Picos y La Cueva, los cuales fueron desechados por su poca carga hidráulica aprovechable (Figura 1).

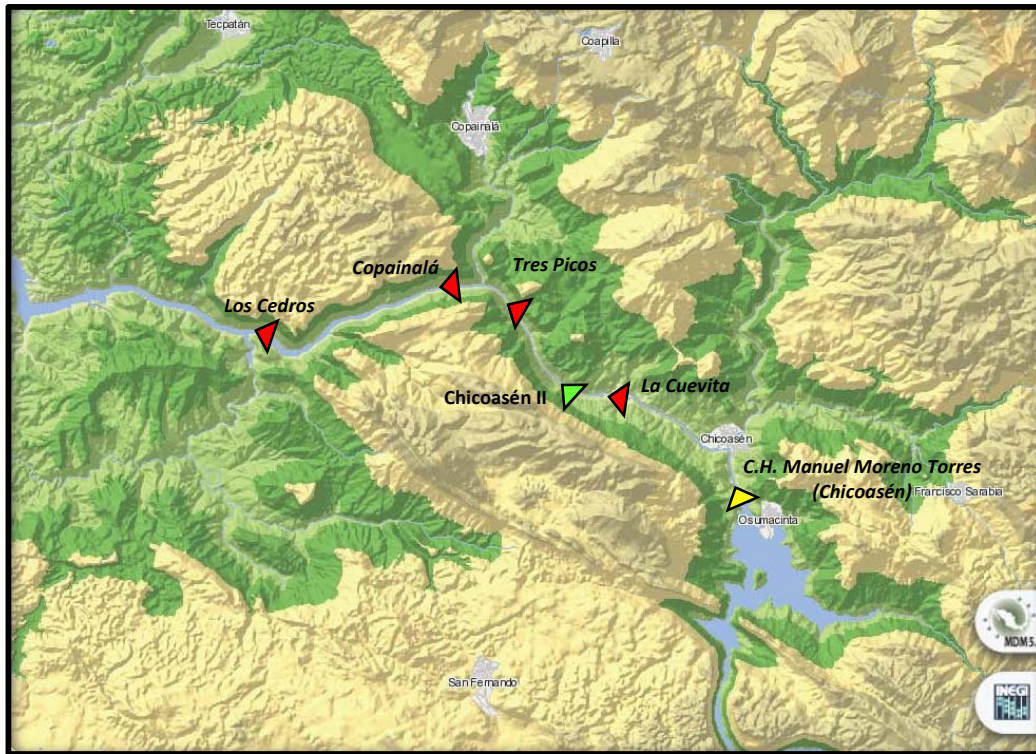


Figura 1. Diferentes sitios estudiados para el P.H. Chicoasén II.

Durante el año de 2012, en el sitio denominado Chicoasén II, se realizaron trabajos de perforación, geofísica, topografía, geomática, geología y geotecnia enfocados a afinar el modelo geológico; se llevó a cabo la geología de detalle y la perforación de barrenos con recuperación de núcleos y pruebas de permeabilidad tipo Lugeon. La información obtenida permite reafirmar el modelo geológico obtenido en etapas anteriores y detallar las características del macizo rocoso en el P. H. Chicoasén II.

1.2 Objetivo del Estudio

Los estudios realizados tienen por objeto detallar el conocimiento del modelo geológico establecido en etapas de estudio anteriores, para fundamentar las respuestas a incertidumbres geológicas del sitio referentes a:

- La permeabilidad debida al desarrollo de carsticidad en las calizas de la margen derecha del sitio y en el contacto litológico entre las Formaciones Soyaló y Angostura en la margen izquierda.

Este aspecto ayuda a determinar las condiciones geológicas en las que se cimentarán las obras y cuyo conocimiento es necesario para el apoyo al diseño del P. H. Chicoasén II.

1.3 Localización y acceso

El acceso al sitio se realiza a partir de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, por la carretera estatal 102, pasa por el poblado de San Fernando, la C. H. Manuel Moreno Torres y el poblado de Chicoasén, a partir del cual se continúa por la carretera que conduce a Copainalá y a la altura del kilómetro 7 se desprende una brecha de acceso a la zona del proyecto, con un desarrollo de 3 km (Figura 2).

El eje de la cortina del P. H. Chicoasén II se encuentra sobre el río Grijalva, a 48 km en línea recta de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, y se ubica geográficamente en las coordenadas 16°59'90" latitud norte y 93°10'02" longitud oeste del meridiano de Greenwich.

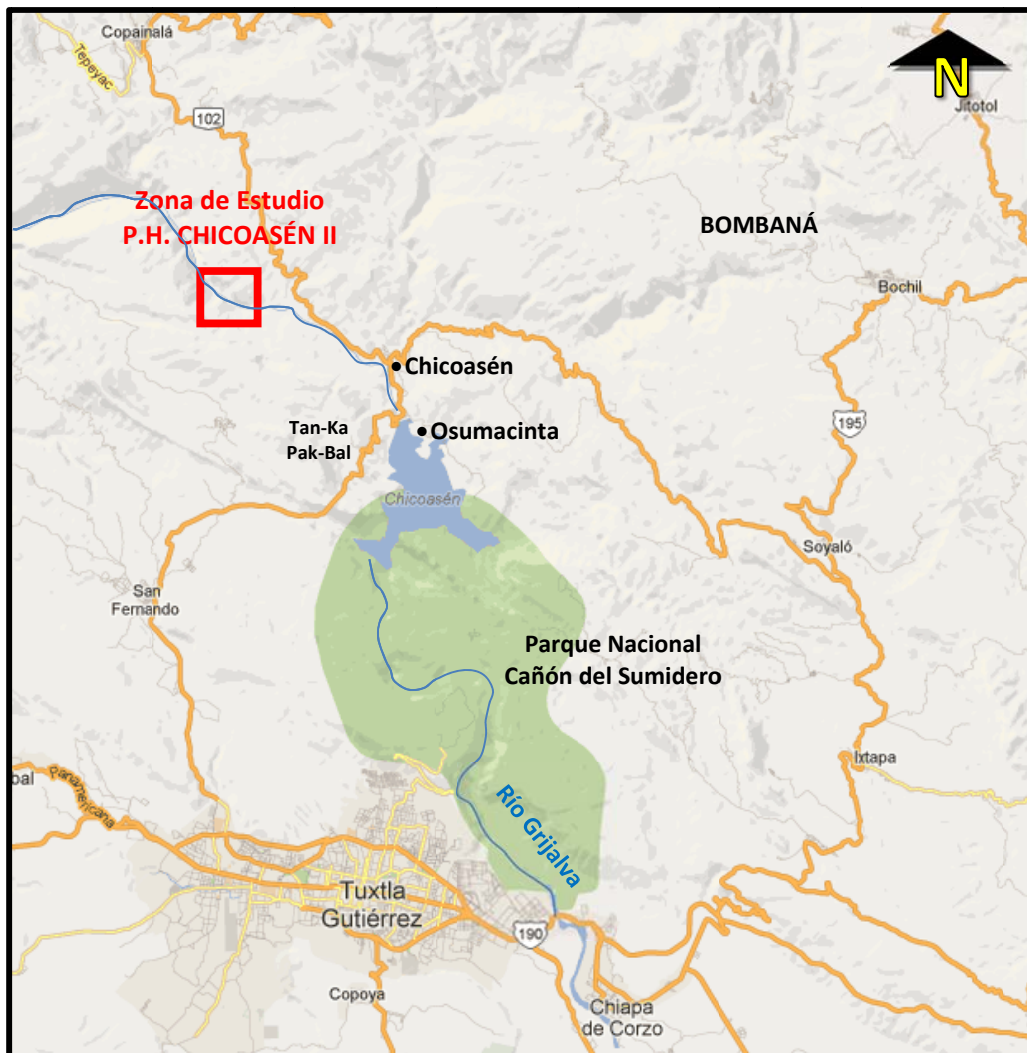


Figura 2. Localización de la zona de estudio del P. H. Chicoasén II. (Modificada de Google Maps, 2013)

1.4 Descripción de las obras civiles del proyecto

El arreglo actual de las obras civiles del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II comprende una cortina de sección gravedad de 30 m de altura; la casa de máquinas será exterior y se construirá como parte del cuerpo de la cortina, alojará 3 unidades tipo Kaplan para una capacidad instalada de 240 MW. La subestación eléctrica se sitúa en la margen derecha, aguas arriba del arroyo La Pila.

Para el desvío del río Grijalva se construirán las ataguías de materiales de aluvión y enrocamiento, el cauce del río será desviado por la margen derecha a través de un túnel, que posteriormente tendrá la función de vertedor (Figura 3), la obra de excedencias de mayor dimensión se sitúa en el canal de margen izquierda con un ancho de 52.5 m y 250 m de longitud aproximada, con una estructura de control compuesta por tres compuertas radiales de 15.5 m de ancho.

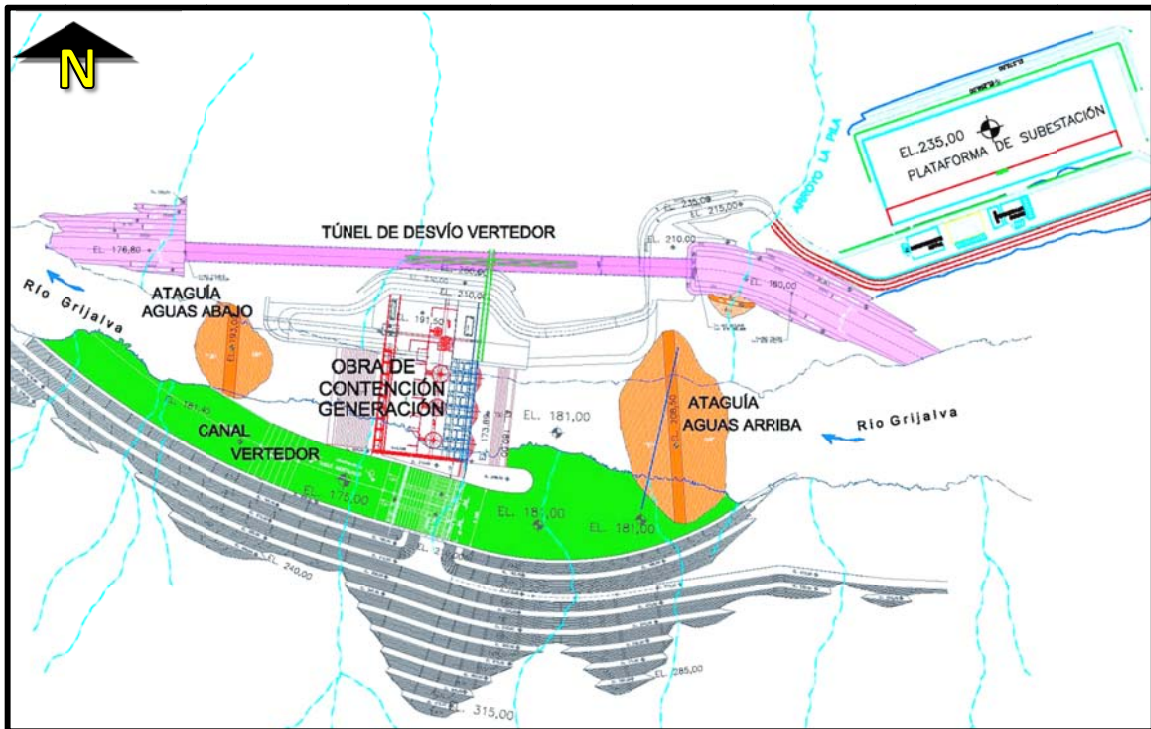


Figura 3. Esquema de ubicación de las obras civiles del P. H. Chicoasén II.

1.5 Sismicidad

El estado de Chiapas, se encuentra entre las regiones de alto índice de actividad sísmica en el país. Las principales fuentes generadoras de sismicidad en el estado se deben principalmente a la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa Norteamericana y la interacción con la Placa del Caribe.

Otro fenómeno tectónico que genera sismicidad en el estado de Chiapas es provocado por la serie de desplazamientos diferenciales que se registran a lo largo del sistema de fallas de transurrencia conocido con el nombre de Polochic-Motagua. Esta zona de debilidad de la corteza terrestre se extiende desde la frontera México-Guatemala y cruza a lo largo del territorio guatemalteco hasta llegar al mar Caribe (Figura 4).

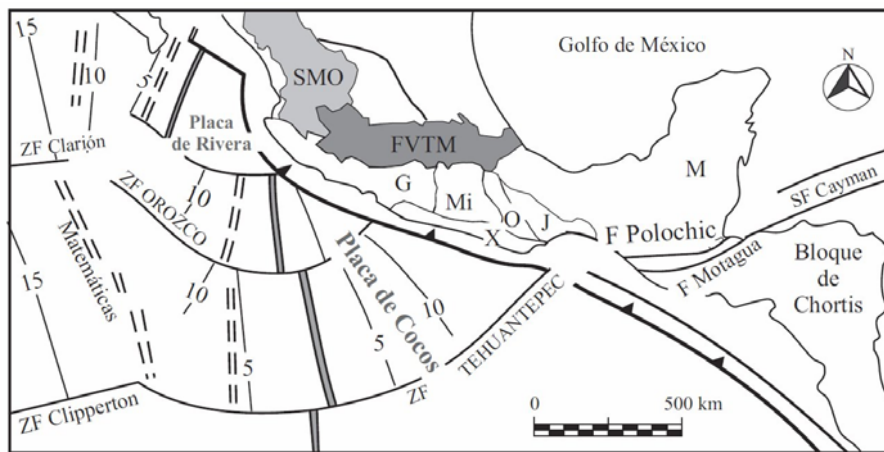
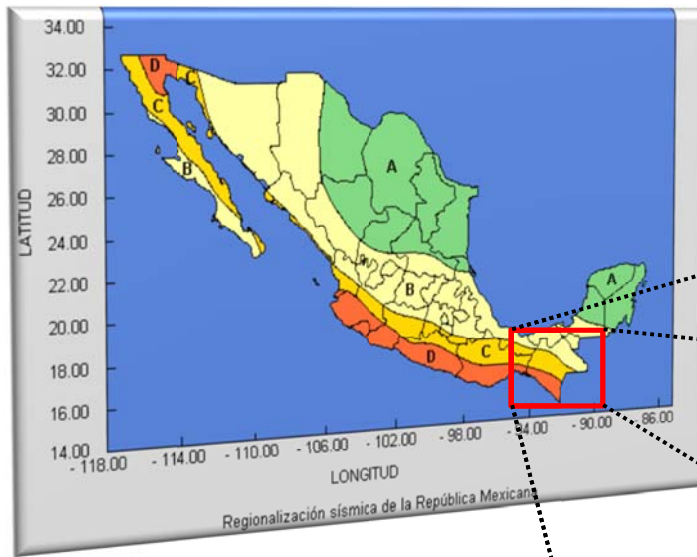


Figura 4. Principales rasgos tectónicos del sur de México. También se muestra la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos pre-cenozoicos.

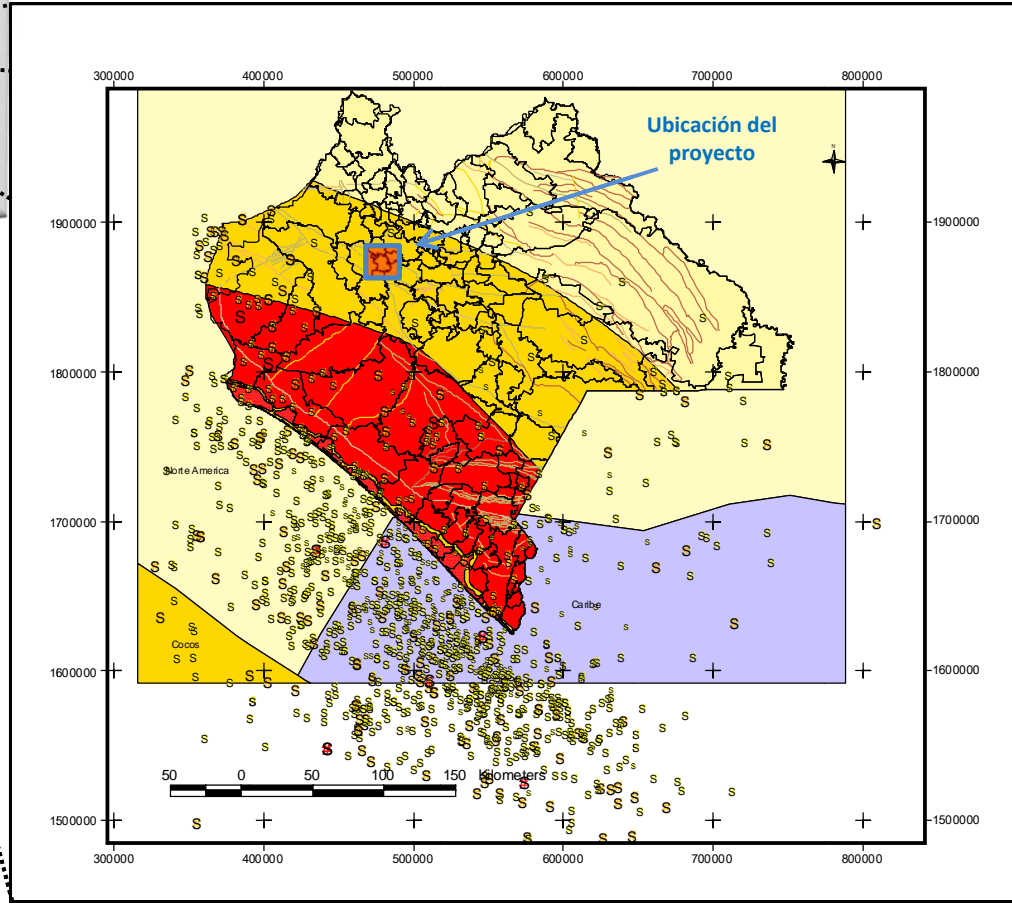
En atención a la cercanía que guarda la zona del Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II con una de las zonas de mayor índice de sismicidad en la República Mexicana y dada la presencia de las fallas regiones Chicoasén-Malpaso y Muñiz, se debe tomar especial atención en la determinación del riesgo sísmico para la obra.



**Zonificación sísmica en el Estado de Chiapas.
Periodo Enero - Noviembre de 2012.¹**

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| Peligro Sísmico | Placas Tectónicas |
| Medio Bajo | Caribe |
| Medio | Cocos |
| Alto | Norte America |

- Sismos Octubre-Noviembre 2012**
- 2.9 - 3.5
 - 3.6 - 3.9
 - 4 - 4.9
 - 5 - 7.3



¹ "Reporte de Actividad Sísmica en Chiapas. Periodo Enero- Noviembre 2012". Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE LA BOQUILLA.

2.1 Litología

En el sitio propuesto para la construcción del P. H. Chicoasén II, la margen derecha está constituida sólo por rocas calizas de la Formación Angostura, mientras que la margen izquierda por lutitas y areniscas de la Formación Soyaló, ambas unidades se encuentran sobreyacidas por depósitos no consolidados de talud y aluviales (Figura 5, ANEXO I: Plano Geología de la Boquilla).

ERA	PERIODO	EPOCA	NOMENCLATURA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO		Qal	Depósitos aluviales Gravas, arenas y limos
			Qdt' Qdt	Depósitos de talud Qdt.- Predominio de gravas en matriz areno-arcillosa. Qdt'.- Gravas y bloques de caliza empacados en material arcillo-arenoso.
TERCIARIO	PALEOCENO		Tps	Formación Soyaló Lutitas con Intercalaciones de areniscas, areniscas conglomeráticas, margas, calcarenitas y calcilutitas.
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Ksa-U2	Formación Angostura (Unidad 2) Brechas calcáreas intraformacionales masivas y calizas biógenas de grano fino con pedernal
			Ksa-U1	Formación Angostura (Unidad 1) Calizas de textura fina de color grfs pardo, con macrofósiles y estratificación de 0.30 a 2.00 m

Figura 5. Estratigrafía en el sitio de boquilla del P. H. Chicoasén II.

Al haber en cada margen roca distinta, las características morfológicas son también diferentes, mientras en la margen derecha la ladera tiene una pendiente de 30° a 35° influenciada por la estratificación de la caliza, en la margen izquierda la alteración y erosión de las calizas y lutitas originan lomas de pendiente variable. Del cauce del río hasta la cota 260 m, su pendiente es de aproximadamente 45°, al seguir ascendiendo la pendiente se vuelve más suave, del orden de 27°, y esto en parte se debe a la presencia de depósitos de talud. Hacia la parte más alta se encuentra el escarpe subvertical de las calizas de la Formación La Angostura formado por la falla regional Chicoasén-Malpasó. (Fotografía 1)



Fotografía 1. Vista hacia el sitio de boquilla; la parte baja de la ladera izquierda tiene topografía de pendiente suave en las lutitas y areniscas, hacia la parte alta la topografía es abrupta en calizas.

El contraste litológico y en calidad de la roca de una margen a otra del río Grijalva, está regido por la distribución de las unidades litológicas, de tal forma que en la margen derecha la caliza constituye una roca dura, muy consistente, de regular a buena calidad, afectada por fracturamiento y fallas, así como carsticidad que superficialmente se observa poco desarrollada. Hacia la margen izquierda la calidad del macizo rocoso cambia notoriamente al aflorar lutitas y areniscas de la Formación Soyaló, que se encuentra estratigráficamente encima de la Formación Angostura, estas rocas terrígenas están dispuestas en estratos delgados con espesores que van de escasos milímetros a 5 cm; son rocas de dureza media, y de regular consistencia; en superficie tienen una fuerte alteración por meteorización que las hace deleznable y con desarrollo de suelo, originando una capa superficial de roca descomprimida con espesor de hasta 20 m.

Abundando en las características de las calizas, destaca la diferenciación de dos tipos o unidades: una caliza brechoide que predomina en la parte superior de la formación, y que consiste en una roca de color gris claro, dura y muy consistente, constituida por fragmentos de calizas preexistentes, fósiles y algunos nódulos de pedernal (Fotografía 2); y una caliza fosilífera de color gris claro, dura y consistente, predominante hacia la base. El contacto entre ambas unidades se observa tajante en superficie, pero con los barrenos de exploración, se observa que bajo el primer contacto ocurren intercalaciones de la brecha en la caliza fosilífera en horizontes con espesores de hasta 5 m. En la brecha también se encuentran intercalaciones de estratos fosilíferos que no tienen continuidad lateral, con espesores de hasta 14 m como se encontraron en algunos barrenos de la margen derecha.



Fotografía 2. Detalle de la caliza brechoide, con bloques de caliza y nódulos de pedernal, margen derecha.

Otra característica de las calizas brechoides es que hacia la margen izquierda disminuye de manera considerable pasando de tener espesores de 100 m en margen derecha hasta 11 m hacia margen izquierda, esto confirmado con los barrenos que se realizaron en la exploración; también tienen diferencias en el espesor de la estratificación en cada una de ellas; mientras que la unidad de brecha calcárea (Ksa-U2) tiene estratificación gruesa con tendencia a masiva en espesores de hasta 5.5 m e incluso mayores, en la unidad de caliza fosilífera (Ksa-U1), los estratos tienen espesores de 0.3 a 3.5 m y a menudo se presentan estructuras estilolíticas que constituyen planos de rugosidad (Fotografías 3 y 4).



Fotografía 3. Estratificación en la caliza fosilífera. Margen izquierda, aguas abajo del sitio de cortina.



Fotografía 4. Estructura de estilolita paralela al plano de estratificación en la caliza fosilífera.

El contacto entre las calizas con las lutitas-areniscas atraviesa en forma diagonal por el cauce del río y está desplazado por fallas normales que tienen una componente de desplazamiento lateral derecho, lo cual disloca el contacto moviéndolo hacia aguas abajo y hacia la margen derecha. Este contacto es concordante con la Formación Soyaló, en los barrenos exploratorios el contacto está indicado por el cambio de brecha calcárea a calcarenitas y areniscas conglomeráticas que gradualmente cambian a las lutitas y areniscas.

En el sitio de obras civiles, la unidad superior brechoide de la caliza aflora en la margen derecha del río, mientras que hacia margen izquierda sus afloramientos se encuentran aguas abajo del sitio de obras, hacia la zona de descarga del vertedor y de la ataguía de aguas abajo. La unidad inferior se encuentra en el subsuelo de margen derecha y tiende a aflorar a poco más de 100 m aguas abajo del sitio de obras en ambas márgenes del río.

El macizo calcáreo tiene un carst poco desarrollado controlado estructuralmente por fallas y estratos. Especial influencia en el carst tienen las capas de arcilla que se formaron por el sobrecorrimiento entre estratos cuando la caliza estuvo sujeta a deformación; la fricción roca-roca entre los planos de estratificación originó una harina de falla que posteriormente se alteró y ahora se encuentran como una capa de arcilla de color pardo rojizo. Estas capas de arcilla se encontraron en algunos barrenos y en superficie es difícil observarlas por la alteración y disolución de la caliza. Por las características de las unidades de la caliza, estas capas de arcilla ocurren con mayor frecuencia en la unidad inferior (Ksa U-1) debido a que la estratificación es de menor espesor que en la unidad brechoide. Su espesor se ha observado de hasta 0.06 m, pero como ocurre con los rellenos de falla, puede adelgazarse o engrosarse lateralmente, su continuidad es la del plano de estratificación, pero al estar la formación dislocada por fallas, éstas interrumpen también la continuidad de las capas arcillosas.

2.1.1 Depósitos no consolidados

Depósitos de Talud (Qdt')

Están constituidos por gravas y bloques de calizas provenientes de la erosión de las partes altas y se encuentran empacados en material arcillo-arenoso, los tamaños de los bloques que predominan son de 1 a 6 m pero pueden llegar hasta los 25 m y se distribuyen con mayor frecuencia en la parte media y baja de ambas márgenes (Fotografía 5). Estos depósitos de bloques se encuentran intercalados y cubiertos parcialmente con aluvión en la parte baja de la margen izquierda.



Fotografía 5. Vista del cauce del río. En ambas márgenes se observa la acumulación de bloques con un espesor visible de unos 6 m.

Se determinó que en el cauce existen estos depósitos y que la zona más profunda que tiene este tipo de depósitos se encuentra en el desplante de la cortina, llegando hasta la cota 147, en donde con la exploración geofísica y los resultados de perforación se determinó que se tratan de bloques de caliza con matriz de grava arena (Figura 6).

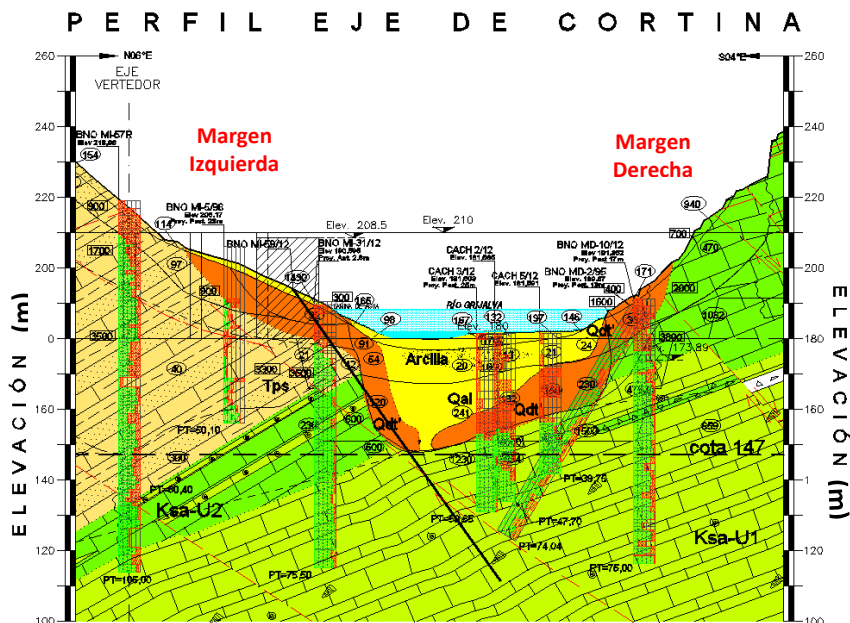


Figura 6. Espesores de bloques de caliza en el cauce del río en el eje de cortina.

Depósitos de aluvión (Qal)

Está representado por gravas, arenas y limos; las arenas y los limos son producto de la erosión de la Formación Soyaló y de otras formaciones más lejanas. Los clastos de gravas son redondeados a subredondeados que provienen de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. El espesor promedio es de 20 m, sin embargo, en los barrenos realizados en el cauce del río el aluvión junto con bloques de caliza desprendidos de la ladera tienen un espesor de hasta 29.5 m sobre el eje de la cortina y de 26.6 m en el eje de casa de máquinas. En los barrenos del cauce, se tiene registro de un lente de material limo-arcilloso que no tiene continuidad lateral, ya que los barrenos ubicados aguas arriba y aguas abajo del eje de cortina no encontraron este material (Fotografía 6 y 7).



Fotografía 6. Vista del cauce del río donde se observa la distribución de los depósitos de talud (Qdt') y aluvión (Qal).



Fotografía 7. Aluvión en el cauce del río. Se observa la forma redondeada a subredondeada de los materiales.

2.2 Geología estructural

Las principales estructuras geológicas identificadas en el sitio son: la estratificación, las fallas, las fracturas y los contactos litológicos entre las formaciones Soyaló y Angostura. Las fallas y la estratificación son estructuras de mayor continuidad por lo que se asume que son las que condicionan el movimiento que tiene el agua en el interior del macizo rocoso y el desarrollo de carsticidad en las calizas.

2.2.1 Estratificación

Es la estructura geológica más frecuente en el macizo rocoso y se caracteriza por ser la más persistente, está inclinada hacia la margen izquierda y hacia aguas arriba, con una actitud general de rumbo N60°E y una inclinación promedio de 30° hacia el SE (Figura 7), aunque llega a ser hasta de 50° en calizas de la Formación Angostura. En los núcleos de los barrenos se observan los estratos sellados roca-roca, sin embargo, en los estratos en los que se ha formado una capa de arcilla presentan condiciones favorables para el flujo de agua, así como en superficies rugosas de estilolitas que tienen también material arcilloso de relleno con tonalidades oscuras al estar selladas y de tonos pardos al presentar oxidación (Fotografía 8). Estas estructuras de presión-disolución se encuentran paralelas a los estratos; en los barrenos que perforaron la Formación Angostura se observan éstas, siendo más notorias en la Unidad 1, en promedio con una inclinación de 30° a 40° y paralela a la estratificación.

En la Formación Soyaló se determinó también una estratificación con orientación N28°E/25°SE.

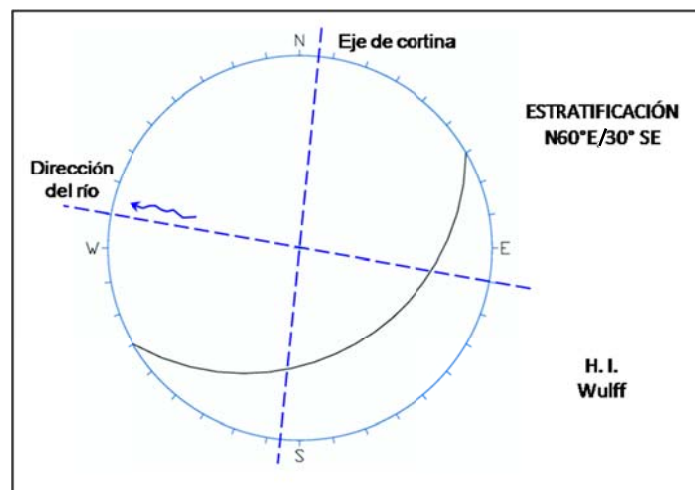
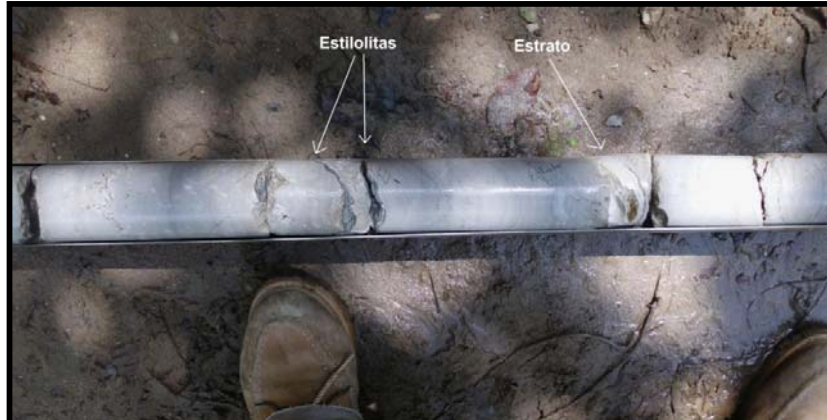


Figura 7. Estereograma de la estratificación determinada en el P.H. Chicoasén II.



Fotografía 8. Estructuras de estilolitas paralelas a un plano de estrato en el barreno MD-34.

2.2.2 Fallas

El estrechamiento de la boquilla del P.H. Chicoasén II está afectado por fallas de tipo normal con desplazamiento lateral derecho, que tienen continuidad en ambas márgenes con buzamientos predominantemente hacia el NW. Por evidencias de campo en superficie e información de geología de los barrenos, se infiere que los saltos de estas fallas no son relevantes.

Se identifican dos sistemas de fallas (Figura 8), el primero (F_1), tiene orientación $N22^\circ E/74^\circ NW$ y controla el curso de los principales arroyos. El segundo sistema (F_2) es el de rumbo $N6^\circ E/67^\circ SE$ y a menudo estas fallas están interrumpidas por las fallas del primer sistema. Estas estructuras geológicas están orientadas en sentido prácticamente perpendicular al curso del río.

De acuerdo con las condiciones expuestas se espera que durante la excavación del recinto de casa de máquinas el aporte de agua ocurra en los taludes excavados paralelos al río ya que con ellos se atravesarán las fallas captando el agua que fluya por ellas.

En los taludes perpendiculares al río, las fallas no favorecen el aporte de agua, éste probablemente se verá influenciado por los sistemas de fracturas.

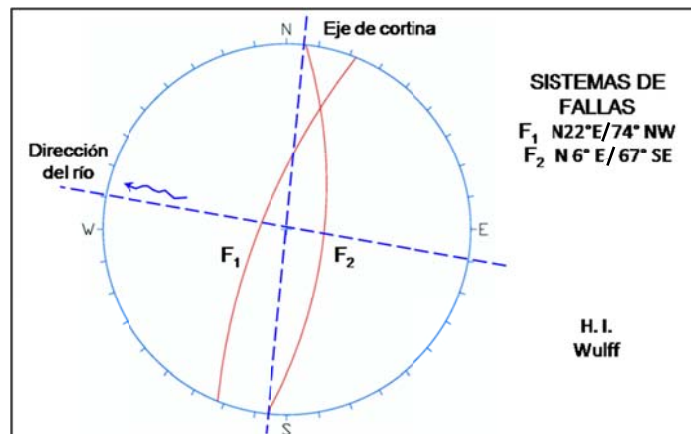


Figura 8. Estereograma de las principales fallas en el P. H. Chicoasén II, Chiapas.

2.2.3 Fracturamiento

Margen Derecha

Las calizas de la Formación Angostura están afectadas por tres sistemas de fracturamiento (Figura 9). Se observa que el rumbo del fracturamiento tiende a ser perpendicular al curso del río, similar a la orientación de las principales fallas, pero con inclinación hacia aguas arriba.

Sistema 1 (S_1). Es el más importante en el macizo rocoso, su longitud varía entre 1 y 10 m, con superficie rugosa y ondulada; el espaciamiento es de 1 a 2 fracturas por metro. Su orientación es $N34^\circ E/77^\circ SE$.

Sistema 2 (S_2). Subparalelo al curso del río, tiene una longitud variable entre 1 y 10 m y frecuencia de 1 a 3 fracturas por metro, están ligeramente abiertas con planos poco rugosos y ondulados. Su orientación es $N60^\circ W/77^\circ SW$.

Sistema 3 (S_3). Fracturamiento secundario ligeramente abierto; poco continuo con planos rugosos. Su orientación es $N12^\circ W/78^\circ NE$.

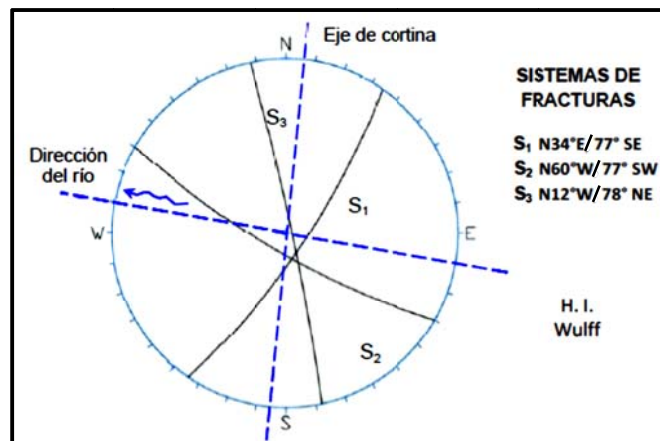


Figura 9. Sistemas de fracturamiento en las calizas de la margen derecha.

Margen Izquierda

Las calizas de la Formación Angostura, afloran en la zona de la ataguía de aguas abajo. En este macizo rocoso se definen dos sistemas de fracturamiento principales y uno secundario (Figura 10).

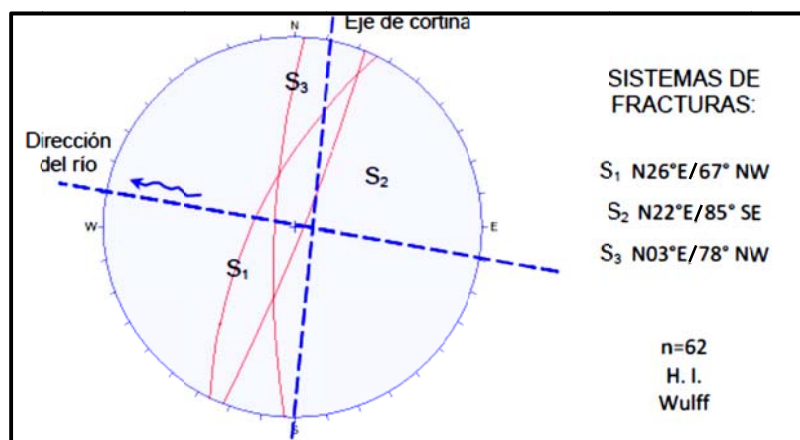


Figura 10. Estereograma de fracturas en la Formación Angostura en margen izquierda.

Sistema 1 (S_1). Es paralelo al sistema de fallas principal, con paredes rugosas y onduladas. Su orientación es $N26^\circ E/67^\circ NW$.

Sistema 2 (S_2). Presenta casi la misma orientación que el primero, pero se inclina a vertical. Su orientación es $N22^\circ E/85^\circ SE$.

Sistema 3 (S_3). Con longitud variable entre 2 y 3 m, paredes rugosas y onduladas, en ocasiones se observa desarrollo de carst en sus planos. Su orientación es $N3^\circ E/78^\circ NW$.

En la Formación Soyaló se determinaron 3 familias de fracturas (Figura 11). El primero (S_1) con una orientación $N71^\circ W/71^\circ NE$; el segundo sistema (S_2) con una orientación $N2^\circ E/88^\circ SE$; el tercer sistema (S_3 y S_3'), con una orientación de $N36^\circ E/51^\circ NW$ y $N20^\circ E/70^\circ NW$, respectivamente siendo similares al sistema de fallas principal y semi-perpendicular al río, con un espaciamiento de 3 a 7 fracturas por metro, continuidad entre 1 y 10 m, con relleno de carbonato de calcio (calcita) de 0.5 a 1 cm de espesor, con planos rugosos y ondulados; adicional a estos sistemas se presenta un cuarto (S_4) que en particular es similar a la estratificación, con orientación $N28^\circ E/25^\circ SE$.

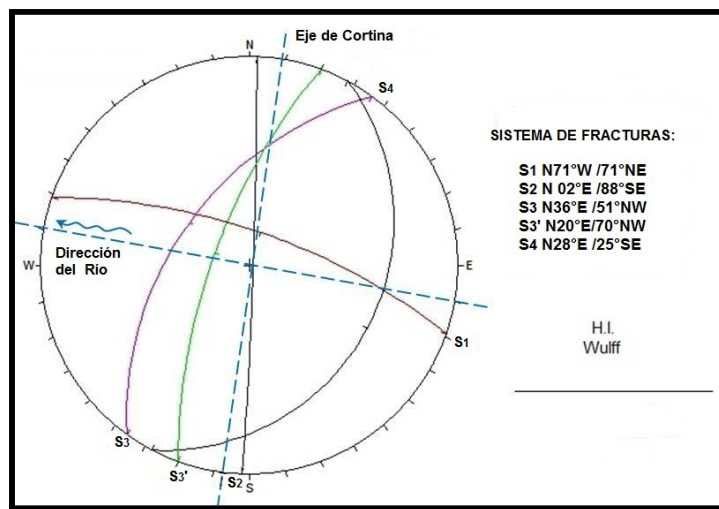


Figura 11.- Estereograma del fracturamiento en la Formación Soyaló en margen izquierda.

2.3 Carsticidad

Las calizas del sitio en estudio se ven afectadas por el proceso de disolución conocido como carst, el cual se lleva a cabo por el agua superficial o subterránea que por su contenido de CO_2 , al circular en la roca caliza, disuelve el carbonato de calcio de la roca favoreciendo el desarrollo de oquedades y en un proceso muy desarrollado origina otras estructuras mayores como cavernas.

La disolución que afecta a las calizas del sitio en estudio ocurre principalmente en la margen derecha del río Grijalva, debido a que estas rocas constituyen en su totalidad el macizo rocoso de la misma. En la margen izquierda las calizas están cubiertas por las lutitas, sus afloramientos se restringen solamente hacia aguas abajo del sitio de las obras del proyecto, donde aflora superficialmente y es en esa zona donde se observa a la roca afectada por este proceso. Hay que considerar que por la fluctuación del nivel freático es probable encontrar carsticidad en la caliza debajo de las lutitas.

Carsticidad Superficial

Las evidencias superficiales del patrón de desarrollo del carst están dadas por la existencia de cavidades que se alojan principalmente en los planos de estratos, asimismo se encuentran cavidades de mayor desarrollo en la intersección de los planos de estratificación con los planos de falla, cuyo relleno arcilloso ha inhibido el crecimiento de las cavidades a lo largo del estrato pero lo favorece sobre el plano de la falla (Fotografía 9).

En el macizo calcáreo de la zona de la boquilla, no se observan estructuras cársticas como son dolinas, lo que indica que el carst que afecta al sitio está poco desarrollado, y de acuerdo a las evidencias mencionadas en el párrafo anterior, la carsticidad está controlada estructuralmente por fallas, fracturas y planos de estratificación.



Fotografía 9. Cavidades cársticas en planos de estrato de aproximadamente 0.5 m de diámetro. Margen Izquierda, aguas abajo del sitio de cortina del P. H. Chicoasén II.

Carsticidad en Margen Derecha

En los núcleos de roca obtenidos con los barrenos exploratorios se observó desarrollo de oquedades de dimensiones en su mayoría menores a 0.2 m, en ocasiones con relleno arcilloso y asociadas a fracturamiento. (Tabla 1)

CARSTICIDAD MARGEN DERECHA		
BARRENO	TAMAÑO > 0.5 m	ELEVACIÓN (m)
MD-16	1.45	173.23
MD-18	0.70	203.41 a 201.11
	2.15	187.51 a 185.36
	0.60	160.61 a 159.41
MD-20	0.95	295.93
BPI2-1	1.05	176.00
	2.00	167.00
MD-14	0.60	214.99
	2.20	191.38 A 189.18

Tabla 1. Cavidades en margen derecha, mayores a 0.5 m.

De lo anterior se infiere que la mayor probabilidad de ocurrencia de carsticidad se encuentra en un rango de elevaciones entre 165 y 190 m, relacionándose probablemente con la fluctuación del nivel freático.

Carsticidad en Margen Izquierda

Las cavidades cársticas destacables por sus dimensiones en margen izquierda, tienen dimensiones mayores a 0.6 m, presentan asociación con fallas, estratos o la combinación de ambos (Tabla 2).

Algunos barrenos ubicados en las cercanías de las ataguías manifiestan zonas con disolución en la Unidad 1 de caliza fosilífera (Ksa-U1), mientras que el barreno MI-47 demostró que la zona con oquedades se ubica en la Unidad 2 de brechas calcáreas (Ksa-U2).

CARSTICIDAD MARGEN IZQUIERDA		
BARRENO	TAMAÑO > 0.5 m	ELEVACIÓN (m)
MI-27	0.85	155.78
	2.25	151.48
	1.20	147.38
	1.15	143.83
	0.50	138.33
MI-53	1.43	163.04
	0.70	159.52
	2.05	155.77
MI-55	0.60	156.46
	2.70	148.16
MI-47	2.95	130.56

Tabla 2. Cavidades en margen izquierda mayores a 0.5 m.

Se infiere que la mayor probabilidad de ocurrencia de carsticidad en esta margen se encuentra en un rango de elevaciones entre 142 y 155 m.

Uno de los objetivos de estos estudios es investigar el grado de disolución en la Formación Angostura, en los trabajos de perforación se encontraron zonas de disolución, las cuales se registraron y se realizó una clasificación por tamaño y elevación, dando como resultado su distribución como se muestra en la figura 12. Para fines del proyecto el intervalo importante está entre las cotas 130 y 210, donde se alojarán las obras civiles, en dicho intervalo se presentan dos casos:

a) Margen Derecha

La mayor concentración nos indica que la disolución tiene pequeños huecos menores de 0.1 m, el siguiente intervalo de oquedades varía de 0.2 a 0.35 m y un tercer intervalo donde las oquedades varían de 1 a 2.25 m (9 oquedades).

b) Margen Izquierda

Se investigó el contacto entre las Formaciones Soyaló y Angostura, en las calizas se registraron elementos de disolución desde concentraciones de pequeños huecos a oquedades mayores de hasta de 2.90 m en el barreno MI-47. Las concentraciones principales en cuanto a tamaño varían de 0.005 a 0.05 m y de 0.45 a 2.25 m (11 oquedades).

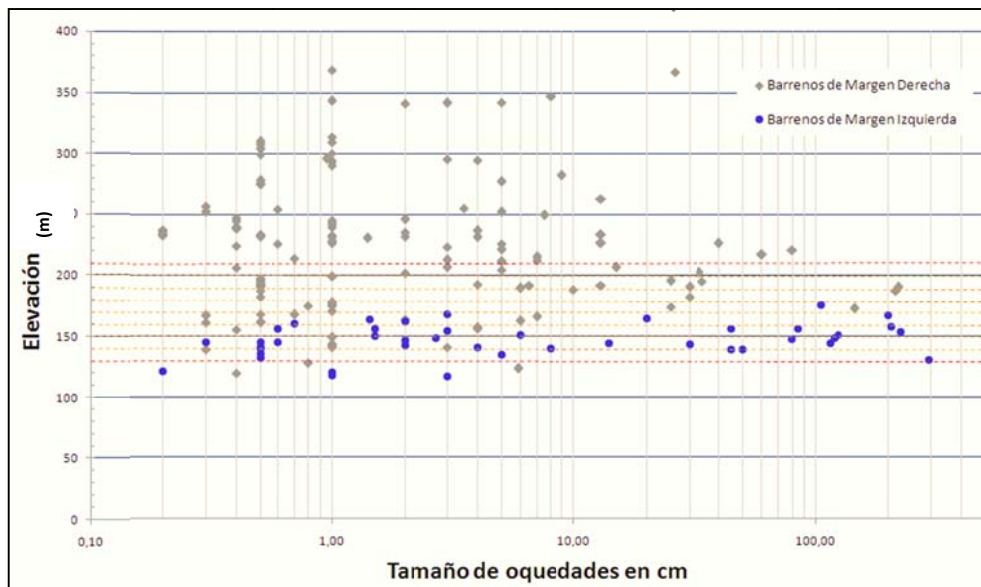


Figura 12. Densidad de oquedades por tamaños y su registro por elevaciones, para cada margen.

Es importante mencionar que con los estudios en los barrenos no se registraron oquedades mayores a los 3 m, sin embargo no se descarta la posibilidad que existan.

CAPÍTULO 3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.1 Exploración Directa (Perforación)

La exploración directa se llevó a cabo mediante la perforación de barrenos en diámetro HQ (96.6 mm), distribuidos en el sitio de las futuras obras del proyecto; incluyó el control topográfico, la recuperación continua de núcleos de roca, descripción litológica, registro fotográfico y de índices geotécnicos de recuperación (R%) y de calidad de la roca (RQD%) (Rock Quality Designation) así como la ejecución de pruebas de permeabilidad tipo Lugeon (Fotografía 10 y 11).

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos a partir de la exploración directa para algunos de los sitios donde se desplantarán las obras civiles. El compendio de información de algunos barrenos (registro de recuperación, RQD y registro fotográfico) se documenta en el ANEXO II: BARRENACIÓN.



Fotografía 10. Equipo para la perforación de barrenos.



Fotografía 11. Recuperación de muestras para toma de recuperación R% y RQD%.

3.1.1 Zona de la cortina

La zona que se ha evaluado con más detalle es el Eje de Cortina; cubre 110 m hacia aguas abajo y 105 m aguas arriba. Esta área corresponde al sitio de mayor estrechamiento donde se alojará la cortina y casa de máquinas.

De acuerdo con la información obtenida en los barrenos, en margen derecha el macizo rocoso presenta espesores de depósitos de talud (Qdt'), que varían desde los 5 m hasta

los 20 m; estos depósitos se encuentran desde la cota 116, hasta la cota 200, y se extienden a lo largo de la orilla del río, engrosándose e intercalándose con material de acarreo (Qal). Por debajo de estos depósitos y aflorando hacia la ladera de margen derecha están las brechas calcáreas de la Unidad 2 (Ksa-U2), donde se tiene un espesor promedio de 85 m, obtenido de la información de 5 barrenos perforados a lo largo del eje de cortina (Figura 13).

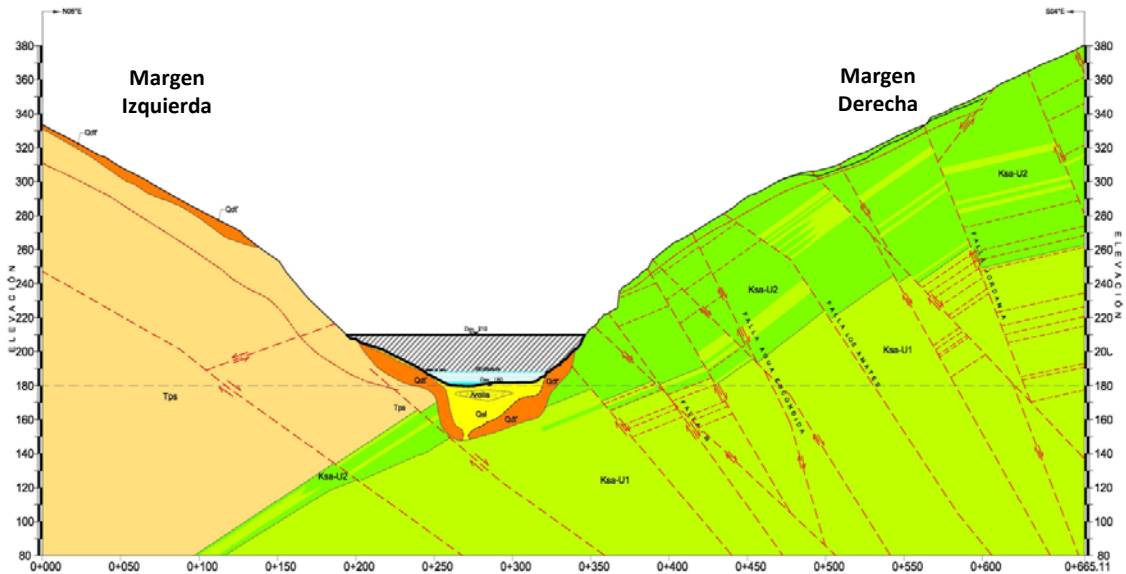


Figura 13.- Representación de la asimetría del eje de cortina.

En margen izquierda los espesores de talud (Qdt') van de 6 a 30 m. Las características de la roca que se encuentra en margen izquierda son favorables para efectuar los cortes que se requieren para la construcción del canal vertedor y el desplante de la cortina, donde los barrenos MI-37, MI-39, MI-57 y MI-59 (*este último se presenta en el Anexo II: Barrenación*) atravesaron lutitas, en algunos casos, con espesores aproximados de 140 m.

En el aspecto estructural se intersecarán al menos 6 fallas geológicas importantes, así como el contacto de la Formación Soyaló (Tps) con la Formación Angostura (Ksa-U2). También estarán afectados por los sistemas de fracturamiento característico de cada unidad que atraviesen.

3.1.2 Obra de excedencias

La obra de excedencias siempre se ha considerado su ubicación en la margen izquierda. Consiste en un canal de llamada con piso en la cota 181, una zona de estructuras para compuertas, un muro divisorio de concreto para ligar con la cortina y una zona de descarga. Su longitud propuesta es del orden de 580 m. Adicionalmente para el manejo

del río Grijalva se excavará un túnel de desvío en margen derecha de sección portal de 16 x 16 m, con una longitud de 453.48 m (Figura 14).

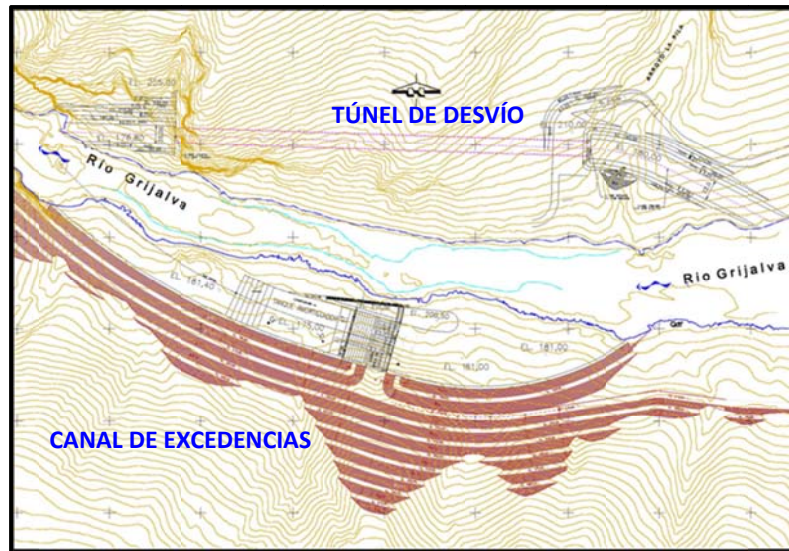


Figura 14. Localización de las Obras de Excedencias-Desvío

La margen izquierda donde se excavará el canal de excedencias, está conformada por una amplia terraza aluvial, que cubre las lutitas y areniscas de la Formación Soyaló (Figura 15). En particular la terraza aluvial, está conformada por una intercalación de arenas, gravas y depósitos de talud, dispuestos en capas con tendencia a acuñarse de forma lateral.

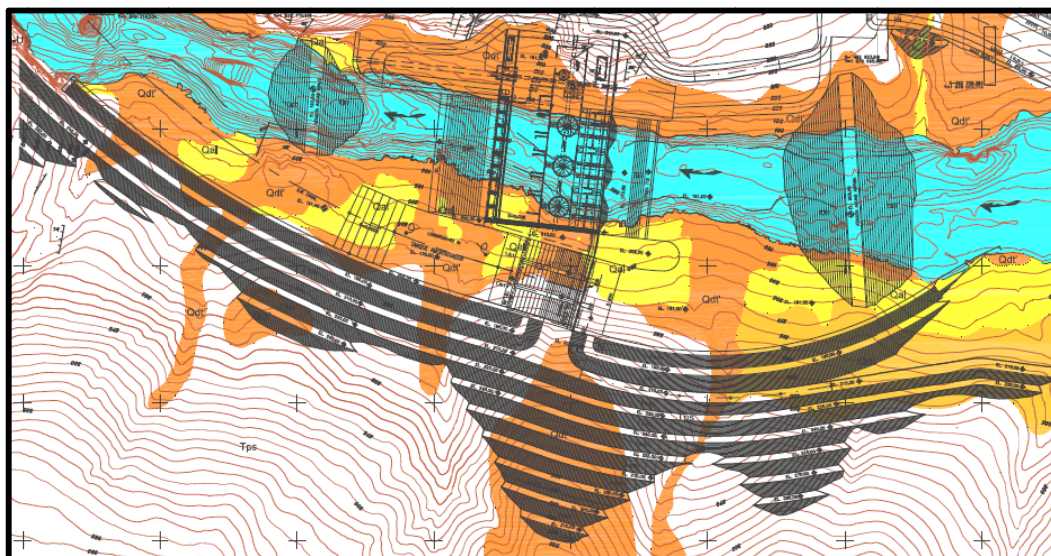


Figura 15.- Distribución superficial de los materiales no consolidados y la proyección de las obras.

El resultado de la exploración del área en donde se realizará el corte a la cota 181, demostró que el 78.61% se realizará en roca ya sea en las lutitas, areniscas y calcarenitas de la Formación Soyaló (Tps) o en las calizas brechoides de la Formación Angostura (Ksa-U2).

Como se observa en la tabla 3, la distribución de los barrenos exploratorios a lo largo y ancho del canal de excedencias, donde los resultados obtenidos a nivel de desplante del piso (cota 181), se tiene roca con un índice de calidad de roca que va desde 0% en la zona del canal de llamada, varía de 35% a 60% al aproximarse a la zona del eje de cortina y posteriormente, hacia el canal de salida, el índice de calidad de roca disminuye hasta 35%.

BARRENO	R.Q.D. (%)	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS
MI-11/96	8	Lutitas de color pardo muy fracturadas
MI-13/96	35	Calcarenitas y calcilitas muy fracturadas
MI-15/96	38	Lutitas calcáreas muy fracturadas
MI-17/96	60	Arenisca de grano grueso, estratos de 0.1-0.2 m
MI-21-96	15	Calcarenitas muy fracturadas
MI-23/96	35	Lutitas de color gris verdoso fracturadas
MI-25/12	0	Bloques de caliza empacados en arena (Qdt')
MI-27/12	0	(Qdt') bloques de calizas empacadas en arena
MI-31/12	0	Depósito de talud (Qdt')
MI-41/12	54	Lutitas de color pardo oscuro fracturadas
MI-43/12	0	(Qdt') bloques de calizas empacadas en arena.
MI-45/12	0	Depósito de talud y aluvión
MI-47/12	47	Lutitas de color pardo oscuro fracturadas
MI-53/12	0	(Qdt') bloques de calizas empacadas en arena
MI-55/12	77	Brechas calcáreas fracturadas

Tabla 3.- Resultados de barrenos sobre calidad de roca a nivel de desplante (cota 181) del canal de excedencias.

En el aspecto estructural se intersecarán al menos 6 fallas geológicas importantes, así como el contacto de la Formación Soyaló (Tps) con la Formación Angostura (Ksa-U2). También estarán afectados por los sistemas de fracturamiento característico de cada unidad que atraviesen.

El muro divisorio es una estructura que tiene la función de ligar la zona de la cortina con la geometría donde se alojarán las compuertas del vertedor, tendrá una longitud de 133 m y altura variable entre 28.5 y 30 m, su cimentación será aproximadamente a la cota 178 y será desplantado en la margen izquierda, paralelo al cauce del río Grijalva. Durante la exploración, la zona donde se cimentará el muro, fue estudiada mediante los barrenos MI-21, MI-31, MI-5, MI-19, MI-51 y MI-29 (estos últimos se presentan en el Anexo II: Barrenación). Es conveniente destacar que la zona donde se alojará el muro divisorio, está cubierta por un grueso paquete de depósitos de talud (Qdt') de 18 m de espesor en promedio, consistentes en bloques de tamaño grande empacados con arena (Qal). (Fotografía 12)

Debido al gran tamaño y dureza de los bloques de caliza que habrá que retirar, es recomendable considerar la utilización de explosivos para fragmentarlos. Lo anterior para hacer más eficiente el proceso constructivo.



Fotografía 12.- Obsérvese el tamaño de los bloques de roca que habrá que remover para cimentar el muro divisorio.

3.1.3 Obra de desvío

En el esquema del proyecto, el túnel de desvío está ubicado en la margen derecha del río Grijalva, con una sección portal de 16 x 16 m. La obra consiste en cinco frentes de excavación: canal de llamada, portal de entrada, túnel, portal de salida y canal de salida.

La exploración efectuada en la zona del túnel consistió en levantamientos geológicos de detalle y cinco barrenos con recuperación de núcleos (Tabla 4) cuyo objetivo fue explorar las condiciones del macizo rocoso en la zona de los portales de entrada y salida del túnel,

así como sobre el trazo, desde la superficie hasta niveles inferiores a la elevación donde se ubica el piso del túnel.

BARRENO	R.Q.D. (%)	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS
MD-26	58	Contacto entre la brecha calcárea de la Formación Angostura (Ksa-U2) y caliza fosilífera de color blanco de grano fino (Ksa-U1). Barreno perforado en el portal de entrada.
MD-14	85	Caliza fosilífera de color gris claro parcialmente fracturada (Ksa-U1), perforado sobre el trazo del túnel.
MD-28	84	Contacto entre la Brecha calcárea de la Formación Angostura (Ksa-U2) y Caliza fosilífera de color blanco de grano fino (Ksa-U1). Barreno perforado sobre el trazo del túnel.
MD-30	79	Brecha calcárea (Ksa-U2), perforado arriba del trazo del túnel.
MD-32	78	Caliza fosilífera de color gris claro parcialmente fracturada (Ksa-U1), perforado sobre el trazo del túnel.

Tabla 4.- Valores promedio de RQD sobre o cerca del túnel a la cota 180.

El túnel se excavará en las calizas de la Formación Angostura, atravesando las dos unidades litológicas que se han logrado diferenciar (Ksa-U2 y Ksa-U1). En el aspecto estructural se intersecarán al menos 7 fallas geológicas importantes, cortándolas de forma transversal, lo cual es favorable a la excavación así como el contacto entre ambas unidades. La estratificación es una discontinuidad presente en toda la obra, sobre todo en la unidad de caliza inferior (Ksa-U1), en el túnel. También estarán afectadas las unidades litológicas por los sistemas de fracturamiento.

En el portal de entrada se perforó el barreno MD-26, en el cual la roca se encuentra muy fracturada, con disolución y resultó con un RQD de 46%.

Se ejecutaron tres barrenos sobre el trazo del túnel. El barreno MD-14 indica que al nivel de bóveda del túnel, se encontrará roca con un RQD de 94% y en piso de 85%. Cabe destacar que se encontraron en el barreno dos cavidades cársticas rellenas de arcilla en las cotas 195.84 y 189, de 0.18 m y 0.55 m de espesor respectivamente.

El barreno MD-28 indica que a nivel de bóveda del túnel se encontrará roca con un RQD de 87% y 52% en el piso. En este barreno se encontraron dos fallas, la primera a la cota 188.69 con relleno de arcilla de 0.002 m, y la zona de la Falla III con roca facturada y con un plano de falla con arcilla plástica de 0.002 m de espesor, de la cota 178.09 a 180.54.

Con el barreno MD-32 se observa que a nivel de bóveda se encontrará un RQD de 70% y a nivel de piso de 67% lo que indica una roca poco a regularmente fracturada.

3.1.4 Ataguías

El arreglo de cortina de concreto contempla la construcción de dos ataguías, la de aguas arriba con la corona a la cota 208.50 y la de aguas abajo con la corona a la cota 193 m. (Figura 16)

Ataguía de aguas arriba

En el anteproyecto general esta ataguía se ubica a 178 m aguas arriba del eje de cortina, tendrá una altura de 28.5 m hasta la cota 208.5, una longitud de corona de 169 m con una pantalla plástica impermeable. En este se efectuaron levantamientos geológicos de detalle, así como la exploración mediante barrenos con recuperación de núcleos en los empotramientos de ambas márgenes, hacia aguas abajo se efectuaron tres barrenos con recuperación continua de núcleos, cuya información fue correlacionada e interpolada a la ataguía.

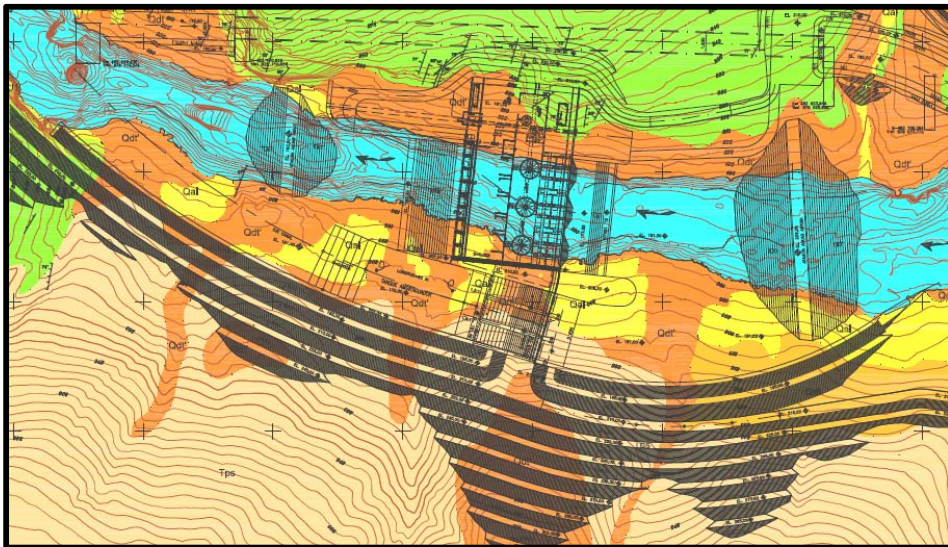


Figura 16. Esquema de obra civil donde se muestra la posición de las ataguías.

Los resultados de dichas exploraciones, nos indican que el empotramiento de la ataguía en la margen derecha, se realizará en las calizas de la Formación Angostura de la Unidad 2 (Ksa-U2), la cual se presenta parcialmente alterada (meteorizada), mientras que en la margen izquierda será en lutitas y areniscas parcialmente alteradas de la Formación Soyalo (Tps). (Fotografía 13)

Debe considerarse en la ejecución de la pantalla impermeable en esta ataguía las características de los depósitos de aluvión y los posibles bloques de roca de tamaño heterogéneo y horizontes de arcilla.



Fotografía 13. Se ilustra aproximadamente la zona donde se empotrará la ataguía de aguas arriba en la margen izquierda.

Ataguía de aguas abajo

Esta ataguía se ubicará a 216 m aguas abajo del eje de cortina, con una longitud de corona propuesta de 79 m a la cota 193 m. También se construirá una pantalla plástica, con la finalidad de impermeabilizar el recinto de donde se construirá la cortina. En margen derecha, la litología de los empotramientos será en rocas calizas fosilíferas (Ksa-U1) y en brechas calcáreas (Ksa-U2) para la margen izquierda. De igual manera, en margen derecha, los depósitos de talud fueron determinados con el barreno *MD-34* (*este último se presenta en el Anexo II: Barrenación*) y se determinó un índice de calidad de roca de 71% para la caliza fosilífera y de 80% para la brecha calcárea en margen izquierda. En general, los espesores de aluvión en el cauce se distribuyen de forma irregular y se encuentran sobre grandes bloques de roca. El espesor promedio de aluvión (Qal) y depósitos de talud (Qdt') sobre el eje de la ataguía es de 16 m.

3.2 Permeabilidad

Se realizaron pruebas de permeabilidad tipo Lugeon en tramos de 5 m de longitud en barrenos de margen derecha y margen izquierda. La mayoría de los tramos probados en ambas márgenes, se ubican por debajo de la cota 210, donde se realizarán las excavaciones de las obras, además de ser la elevación a la cual quedará ubicada la corona de la cortina.

3.2.1 Equipo a utilizar e instalación

Manómetro: El manómetro debe tener escala en Pascales y capacidad para medir de 0.0 a 1.4 MPa (14.27 kg/cm²), apropiado para líquidos, comercialmente es conocido como de glicerina.

Medidor de Agua: El medidor de agua necesario es de tipo reloj o disco, con doble registro para regresar a “cero” y que permita diferenciar hasta unidades de litro. Se requiere además comprobar su exactitud con un recipiente de volumen conocido.

Bomba: La bomba apropiada es una de vacío progresivo, es decir de flujo constante, con capacidad para 300 l/min a una presión de 0.245 MPa (2.49 kg/cm²). También se puede usar una de pistones de 140 l/min pero asociada a un tanque regulador de presión y en terrenos de baja permeabilidad. En lugares con baja disponibilidad de agua es necesario contar con un tanque auxiliar de 3.0 m³.

Obturador: Considerando que es recomendable realizar la prueba conforme avanza la perforación, el obturador debe ser de un solo empaque, el cual se recomienda que sea neumático. Adicionalmente se requiere un tanque de aire comprimido (nitrógeno) para inflar el obturador. Se podrá usar un obturador mecánico cuando las condiciones del macizo rocoso impidan el uso del neumático, con la condición que aisle eficientemente el tramo de prueba. (Fotografías 14, 15, 16 y 17)

Cronómetro: Es necesario un cronómetro para tomar el tiempo de cada una de las mediciones.



Fotografías 14 y 15. Equipo necesario para ejecutar las pruebas de permeabilidad.



Fotografías 16 y 17. Equipo necesario para ejecutar las pruebas de permeabilidad.

En la Figura 17 se ilustra la instalación típica del equipo de prueba.

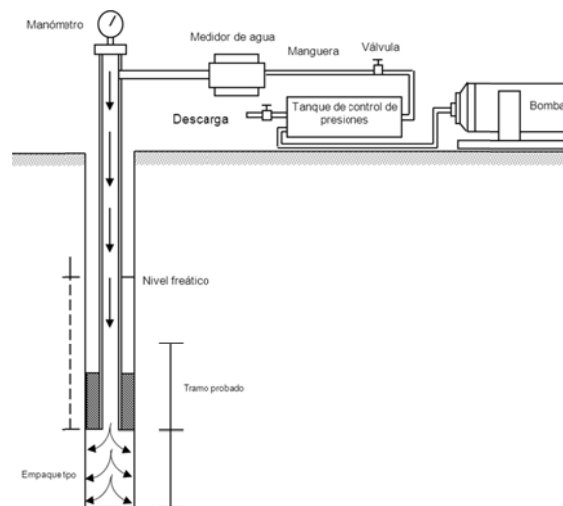


Figura 17. Instalación típica del equipo para pruebas de permeabilidad tipo Lugeon.

3.2.2 Descripción del método

La perforación donde se efectúa la prueba, preferentemente debe ser hecha con brocas con insertos de diamante o impregnada, de diámetro NQ (75.3 mm) o HQ (96.6 mm), y se debe usar agua limpia.

Antes de la primer prueba el barreno debe ser lavado cuidadosa e intensamente con agua limpia, con la finalidad de eliminar en lo posible cualquier obstrucción natural o artificial.

El tramo de prueba no debe ser mayor de 5.0 m. En los tramos muy fracturados es preferible una menor longitud.

Previo a la prueba es necesario conocer la litología, recuperación, RQD, si existe o no el nivel freático y la evolución del nivel de agua de la perforación, ya que dichos elementos son la base para determinar la longitud del tramo de prueba, la presión inicial, los requerimientos de la misma y en general para prevenir y tomar decisiones durante la ejecución de la prueba.

El tiempo óptimo para cada observación es de 10 minutos y se recomienda que no sea menor de 5 minutos tanto para las presiones ascendentes como las descendentes. Siempre que sea posible se recomienda efectuar cuando menos 5 lecturas.

Las pruebas deben hacerse conforme avanza la perforación, dejando para condiciones especiales probar una vez que el barrenado ha concluido.

El resultado se da en unidades Lugeon (UL)² y como absorción.

De acuerdo con la definición de la prueba, cuando no se conozca suficientemente las características geológicas del tramo a probar, se puede iniciar la prueba con una presión efectiva de 0.196 MPa (1.99 kg/cm²), con incrementos similares hasta llegar a 0.981 MPa (10 kg/cm²). En caso de detectar que el terreno se “deteriora” de manera inconveniente con los incrementos de presión, se pueden reducir éstos a 0.1 MPa (1.01 kg/cm²).

3.2.3 Presentación de resultados

En cada prueba, las unidades Lugeon se determinaron directamente en la hoja de cálculo al alcanzar la presión efectiva de 10 kg/cm² (1 MPa). Sin embargo, en la Formación Angostura en más del 50% de las pruebas no se alcanzó una presión mayor de 9.5 kg/cm² (0.95 MPa), debido a condiciones estructurales del macizo rocoso y carsticidad, por lo que estos valores se definieron a partir de la gráfica de la prueba. También se presentaron tramos en los que se hizo la prueba con presiones efectivas mayores a los 10 kg/cm² (1 MPa) debido a que la profundidad del tramo probado ocasionaba una columna de agua mayor a los 100 m (equivalentes a 10 kg/cm² = 1 MPa); estas pruebas representan una proporción del 10% del total de pruebas ejecutadas en la Formación Angostura.

El procedimiento consistió en trazar la recta que mejor se ajustara linealmente a la curva de la prueba para estimar de forma gráfica la unidad Lugeon ubicando la presión de 10 kg/cm² (1 MPa) en el eje de las abscisas y proyectándolo hacia la recta para obtener en el eje de las ordenadas, el valor correspondiente de absorción en unidades Lugeon.

² 1 U.L.= 10 kg/cm² = 1 MPa

1 MPa = 10.197 kg/cm² (para fines prácticos se manejan 10 kg/cm²)

Cuando la curva de la gráfica atraviesa la presión citada se definen las Unidades Lugeon en el segmento ascendente de la curva gasto-presión.

Para estimar la permeabilidad debida a la carga hidráulica del embalse, definida por la diferencia entre la cota de la corona de la cortina 210 y la cota del cauce del río, 180, se determinó el valor de la absorción a 3 kg/cm^2 (0.3 MPa) con el cálculo directo en la prueba, y mediante la recta que se ajusta a la tendencia lineal de la gráfica. Esto fue aplicado únicamente a los barrenos que se encuentran en lo que será el eje de cortina.

Es conveniente señalar que para clasificar la permeabilidad de cada tramo probado se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

UNIDAD LUGEON	CLASIFICACIÓN
0 – 3	Impermeable
3 – 11	Poco Permeable
11 – 25	Permeable
25 – 40	Muy Permeable
> 40	Altamente Permeable

3.2.4 Permeabilidad en la zona de la cortina.

Algunos barrenos ubicados en el eje de cortina en los que se hicieron pruebas de permeabilidad tipo Lugeon fueron, en margen derecha: MD-10, MD-16 y MD-4 bis; en margen izquierda: MI-31, MI-57 y MI-51 (*este último se presenta en el Anexo III: Permeabilidad*). En margen derecha el tipo de roca en donde fueron hechas las pruebas fue en las unidades de la brecha calcárea (Ksa-U2) y en la caliza fosilífera (Ksa-U1) de la Formación Angostura. En margen izquierda la mayoría de las pruebas se realizaron en lutitas y areniscas de la Formación Soyaló (Tps). Con los barrenos se exploró el eje de cortina, el trazo del túnel de desvío, las condiciones de los empotramientos de las ataguías de aguas arriba y de aguas abajo. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los barrenos más importantes:

En el barreno MD-10, se realizaron 12 pruebas, entre las profundidades de 15.00 a 75.00 m, (Tabla 5). Las unidades Lugeon se obtuvieron de forma gráfica a través de los resultados obtenidos, debido a que la presión manométrica no logró incrementar hasta alcanzar la presión efectiva de 10 kg/cm^2 (1 MPa). Estos valores obtenidos varían de 15 a 44 UL, que clasifican a la roca como permeable a muy permeable en el tramo correspondiente a los cortes de talud. En este tramo esta permeabilidad está asociada al alto fracturamiento abierto. En el tramo de 20.00 a 25.00 m, solo se obtuvo una lectura, debido a que no fue posible incrementar la presión manométrica, porque existe una zona altamente fracturada. Las altas permeabilidades se explican por condición de

fracturamiento abierto, así como a cavidades por disolución asociadas a fracturas y a zonas de falla.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidades Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
15.00 a 20.00	8.2	Poco permeable	15	Permeable	Tramo con presencia de fracturas abiertas
20.00 a 25.00	12	Poco permeable	No se levantó presión		Zona muy fracturada
25.00 a 30.00	15.9	Permeable	44	Altamente permeable	Fracturamiento abierto a los 27.7 m
30.00 a 35.00	14.6	Permeable	38	Muy permeable	Zona de fracturas abiertas
35.00 a 40.00	15.2	Permeable	31	Muy permeable	Se presentan en el tramo 3 zonas de fracturamiento abierto
40.00 a 45.00	15	Permeable	37	Muy permeable	Zona de falla y de fracturamiento
45.00 a 50.00	4.8	Poco permeable	9.8	Poco permeable	Fracturamiento cerrado
50.00 a 55.00	17	Permeable	39	Muy permeable	Fracturas abiertas
55.00 a 60.00	15	Permeable	31	Muy permeable	Tramo fracturado y zona de falla
61.00 a 66.00	9	Poco permeable	19	Permeable	Fracturamiento cerrado
65.00 a 70.00	3.9	Poco permeable	30	Muy permeable	Tramo fracturado con presencia de oquedad por disolución
70.00 a 75.00	15.9	Permeable	45.00	Altamente permeable	Zona fracturada de 1m

Tabla 5. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MD-10.

En el barreno MD-16 se realizaron 8 pruebas con resultados de altas permeabilidades debidas a fracturamiento abierto y zonas con carsticidad. (Tabla 6). Los tramos probados están comprendidos entre 73.25 y 140.00 m de profundidad.

El primer tramo a una presión de 8.31 kg/cm² (0.831 MPa) resultó muy permeable, debido al fracturamiento vertical. En el tramo de 89.00 a 94.00 m, no fue posible aumentar la presión manométrica debido a fracturamiento abierto y a una cavidad de aproximadamente 0.3 m, interpretada por la falta de recuperación de roca en el barreno, en la prueba se registró una sola lectura, obteniendo a 9.16 kg/cm² (0.916 MPa), una absorción de 14.20 l/min/m que corresponde a roca permeable.

En el tramo de 125.00 a 130.25 m, se suspendió la prueba por alto consumo de agua debido al fracturamiento abierto y tramos con oquedades por disolución. La presión mínima alcanzada fue de 12 kg/cm² (1.2 MPa), obteniéndose un valor de absorción de 27.73 l/min/m, clasificándolo como muy permeable.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidades Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
73.25 a 78.25	-	-	> 40	Altamente permeable	Fractura vertical
78.25 a 83.25	0.4	Impermeable	13	Permeable	Fracturas y estratos abiertos
89.00 a 94.00	-	-	14.2	Permeable	Ausencia de recuperación y fracturamiento abierto
94.00 a 99.00	Tiende a Impermeable		17.6	Permeable	Zona de falla y presencia de fracturamiento con disolución
99.00 a 104.00	19.8	Permeable	29.2	Muy permeable	Zona de falla, fracturamiento con disolución
105.00 a 110.00	Tiende a Impermeable		7.39	Poco permeable	Zona de falla y fracturamiento abierto
125.00 a 130.25	27.73 a 12 kg/cm ² (1.2 MPa)			Muy permeable	Zona de fracturas abiertas y oquedades por disolución
135.00 a 140.00	Tiende a Permeable		-	Permeable	Fracturamiento abierto y oquedades por disolución

Tabla 6. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MD-16.

El barreno MD-4 BIS fue inicialmente perforado hasta 51.05 m en la campaña de 1996. En este año fue profundizado hasta 140.45 m, realizando pruebas de permeabilidad a partir de 46.00 m de profundidad. De acuerdo con información obtenida en la campaña de 1996, en el tramo comprendido en la profundidad de 46.00 m se identificó una falla normal donde se desarrolló carsticidad incipiente. Esta característica explica la alta permeabilidad registrada en este primer tramo probado.

En la tabla 7a y 7b, se observa que el barreno de forma general presenta mayormente tramos permeables a muy permeables asociándolos a fallas y fracturas abiertas, así como a oquedades de diámetros mayores a 0.5 m ubicados en los tramos de 70.00 a 75.00 y 75.00 a 80.00 m, así como asociados a tramos con disolución. Las celdas vacías indican que no hay información suficiente para interpolar a 3 kg/cm² (0.3 MPa).

Todas las pruebas fueron realizadas por debajo de la cota 210, siendo aquí donde se ubicará una berma de acuerdo con el esquema de obra civil, sin embargo, según información de la campaña de 1996, en el tramo correspondiente a cota (40 m de profundidad) se tiene registrada la presencia de arcilla, compacta, de 0.05 m entre los planos de estratificación.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
46.00 a 51.00	0.0	Impermeable	28.32	Muy Permeable	Falla normal con carsticidad incipiente
50.00 a 55.00	0.0	Impermeable	31.08	Muy Permeable	Fracturamiento abierto, presión de 5.73 kg/cm ² (0.573 MPa)
55.00 a 60.00	0.0	Impermeable	11.76	Permeable	Fracturamiento moderado
60.00 a 65.00	0.0	Impermeable	35.32	Muy Permeable	Fracturas abiertas se llega a una presión de 6.30 kg/cm ² (0.630 MPa)
65.00 a 70.00	-	-	19.68	Permeable	Brecha calcárea con alto fracturamiento y disolución. Presión de 6.81 kg/cm ² (0.681 MPa)
70.00 a 75.00	-	-	37.44	Muy Permeable	Brecha Calcárea con fracturas abiertas; oquedad de 20 cm, solo se pudo llegar a 5.56 kg/cm ² (0.556 MPa)
75.00 a 80.00	-	-	38	Muy Permeable	Oquedad de 95 cm se alcanza una presión de 5.31 kg/cm ² (0.531 MPa)
80.00 a 85.00	-	-	38.08	Muy Permeable	Fracturas abiertas
85.00 a 90.00	0.0	Impermeable	0.52	Impermeable	Caliza fosilífera de textura fina, poco fracturamiento
90.00 a 95.00	-	-	24.88	Permeable	Caliza fosilífera de textura fina Fracturamiento abierto se alcanzó una presión de 5.90 kg/cm ² (0.59 MPa)
95.00 a 100.00	0.0	Impermeable	29.16	Muy Permeable	Se llega a una presión de 7.15 kg/cm ² (0.715 MPa) por el fracturamiento abierto que presenta disolución.
100.00 a 105.00	0.0	Impermeable	3.08	Poco Permeable	Fracturamiento cerrado
105.00 a 110.00	-	-	20.64	Permeable	Falla de 50°, fracturamiento abierto con disolución; presión a 6.67 kg/cm ² (0.667 MPa)
110.00 a 115.00	10	Poco permeable	13.6	Permeable	Caliza fosilífera de textura fina Fracturamiento
115.00 a 120.00	12	Permeable	9.4	Poco Permeable	Fracturamiento cerrado, tiende a taponarse

Tabla 7a. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MD-4 Bis.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
120.00 a 125.00	8.5	Poco permeable	13	Permeable	Fracturamiento abierto
125.00 a 130.00	0.0	Impermeable	0.0	Impermeable	Fracturamiento abierto se cierra a profundidad
130.00 a 135.00	0.0	Impermeable	0.92	Impermeable	Fracturamiento abierto se cierra a profundidad
135.00 a 140.50	23.96	Permeable	36.12	Muy permeable	Fracturamiento abierto

Tabla 7b. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MD-4 Bis.

En la margen izquierda, en el barreno MI-31 se probaron 4 tramos, entre los 35.00 y 60.00 m de profundidad (Tabla 8). Las unidades Lugeon resultantes varían desde 3.7 hasta 29 UL, clasificando la roca de poco permeable hasta muy permeable. Los valores de absorción a 3 kg/cm² (0.3 MPa) tuvieron una variación de 0 hasta 12 l/min/m, clasificando el tramo de impermeable a permeable. En las primeras dos pruebas se obturó en brecha calcárea presentándose zonas con fracturamiento abierto, características muy similares estructuralmente a las encontradas en la caliza fosilífera donde se llevaron a cabo las dos pruebas restantes.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
35.00 a 40.00	0.0	Impermeable	32	Muy permeable	Fracturas abiertas con oxidación
40.00 a 45.00	10.80	Poco permeable	29.6	Muy permeable	Tramo fracturado
55.00 a 60.00	11.5	Permeable	28.2	Muy permeable	Fracturas abiertas
65.00 a 70.00	0.0	Impermeable	3.7	Poco permeable	Fracturas cerradas

Tabla 8. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MI-31.

El barreno MI-57, tuvo una profundidad de 105.0 m. Se identificaron 3 tramos permeables de 20.00 a 35.00 m de profundidad, asociado a fracturas abiertas con presencia de oxidación, en este tramo se encuentra el nivel freático, y corresponde, de acuerdo con el esquema de obra, al eje de cortina en cota 198, y a su vez al canal vertedor. El nivel de excavación del canal vertedor corresponde a la cota 180, sin embargo, por debajo de la cota 183 un tramo resultó poco permeable mientras que los tramos inferiores resultaron impermeables. En la tabla 9, se observan los resultados obtenidos en estas pruebas.

Tramo (m)	Absorción a 3 kg/cm ² (0.3 MPa) (l/min/m)	Clasificación	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
20.00 a 25.00	12	Poco permeable	16	Permeable	No aumentó presión mayor de 2.7 kg/cm ² (0.27 MPa). Fracturas abiertas con evidencia de circulación de agua
25.00 a 30.00	3.88	Poco permeable	28	Muy Permeable	Valor obtenido por regresión lineal. Tramo fracturado de 40 cm aproximadamente a partir de 26.60 m
30.00 a 35.00	3.68	Poco permeable	11.16	Permeable	Tramo con fracturas abiertas aisladas
35.00 a 40.00	2	Impermeable	5.8	Poco permeable	Valor obtenido por regresión lineal
40.00 a 45.00	0.04	Impermeable	0.2	Impermeable	Tramo afectado por falla y fracturamiento relleno de arcilla
45.00 a 50.00	0.6	Impermeable	0.64	Impermeable	Tramo con fracturamiento cerrado
50.00 a 55.00	0.1	Impermeable	0.12	Impermeable	Tramo afectado por falla y fracturamiento cerrado
55.00 a 60.00	0.12	Impermeable	0.16	Impermeable	Tramo con alta recuperación y RQD
60.00 a 65.00	-	-	Tramo no obturado por presencia de falla vertical		
65.00 a 70.00	0.04	Impermeable	0.16	Impermeable	Lutitas con intercalación de areniscas de grano grueso
70.00 a 75.00	0.0	Impermeable	0.0	Impermeable	Fracturamiento y fallamiento cerrados
75.00 a 80.00	0.04	Impermeable	0.36	Impermeable	Fracturamiento cerrado
80.00 a 85.00	0.04	Impermeable	0.08	Impermeable	Inicio de tramo afectado por falla cerrada
85.00 a 90.10	0.08	Impermeable	0.04	Impermeable	Contacto entre Soyoló y Angostura a 87.70 m
90.10 a 95.00	0.04	Impermeable	0.04	Impermeable	Brecha calcárea con fracturamiento cerrado, con taponamiento a baja presión
95.00 a 100.05	0.16	Impermeable	0.04	Impermeable	Brecha calcárea
100.05 a 105.00	0.08	Impermeable	1.29	Impermeable	Contacto entre Ksa-U2 y Ksa-U1 a 100.45 m, destaponamiento por inicio de un tramo con disolución

Tabla 9. Resumen de los valores de absorción y unidades Lugeon en el barreno MI-57.

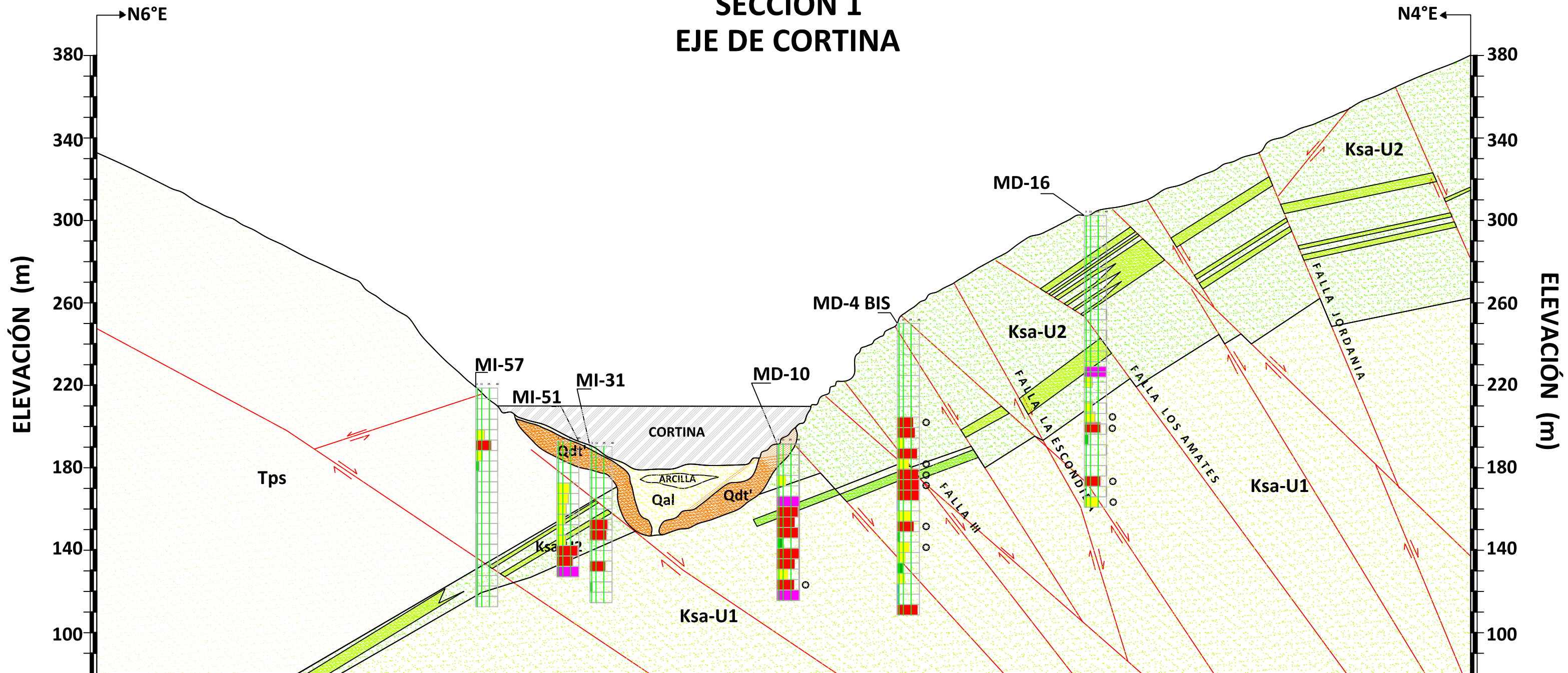
El barreno MI-51, tuvo una profundidad de 65.00 m. Se identificaron 6 tramos permeables de 20.00 a 50.00 m de profundidad, asociado a fracturas abiertas y a oquedades desde 0.3 m a 0.9 cm y en el tramo de 40.00 a 45.00 m se encontró una oquedad de 2 m. Cabe señalar que el barreno inicialmente fue perforado en un diámetro HQ (96.6 mm) y posteriormente debido a la presencia de las oquedades tuvo que cambiarse el diámetro de perforación a NQ (75.3 mm). En la tabla 10, se observan los resultados obtenidos en estas pruebas.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
20.00 a 25.00	22.8 **	Permeable	** Valor obtenido a 0.86 kg/cm ² (0.086 MPa). Fracturamiento abierto y disolución de la caliza
25.00 a 30.00	21.08 **	Permeable	** Valor obtenido a 0.96 kg/cm ² (0.096 MPa). Fracturamiento abierto y disolución de la caliza
30.00 a 35.00	16.92 **	Permeable	** Valor obtenido a 0.17 kg/cm ² (0.017 MPa). Fracturas abiertas, 2 oquedades de 0.3 y 0.9 m de diámetro
35.00 a 40.00	15.28 **	Permeable	** Valor obtenido a 0.40 kg/cm ² (0.04 MPa). Fracturas abiertas y 3 oquedades de 0.35, 0.6 y 0.75 m de diámetro
40.00 a 45.00	12.04 **	Permeable	** Valor obtenido a 0.38 kg/cm ² (0.038 MPa). Fracturas abiertas y una oquedad de 2 m de diámetro
45.00 a 50.00	16.28 **	Permeable	** Valor obtenido a 1.74 kg/cm ² (0.174 MPa). Fracturamiento abierto
50.00 a 55.00	38	Muy Permeable	Fracturamiento moderado y marcas de disolución
55.00 a 60.00	29	Muy Permeable	Fracturas moderadas y abiertas
60.00 a 65.00	195	Altamente Permeable	Fracturas moderadas y abiertas

Tabla 10. Resumen de unidades Lugeon en el barreno MI-51.

En síntesis los resultados de las pruebas de permeabilidad realizadas definen que los valores más altos, con rango entre 19 y 44 UL, están asociados a la zona de transición entre la ladera izquierda y el cauce, con un comportamiento permeable tendiendo a muy permeable. La permeabilidad de los barrenos MD-10 y MI-31, está influenciada por la cercanía al cauce del río, además, el barreno MI-31 está afectado por una falla con tendencia a la vertical. Hacia el interior de la margen derecha la roca tiende a ser impermeable, en el barreno MD-16, las zonas muy permeables se encuentran asociadas a tramos con fracturamiento abierto y disolución. En margen izquierda la roca tiende a ser impermeable. El tipo de roca influye en el contraste de la permeabilidad debido a la constitución predominantemente arcillosa de la Formación Soyaló que le atribuye una propiedad impermeable. Para el caso de una presión máxima del orden de 3kg/cm² (0.3 MPa), exhibe un comportamiento permeable del macizo rocoso en la zona del cauce.

SECCIÓN 1 EJE DE CORTINA



3.2.5 Permeabilidad en la zona del túnel de desvío-vertedor

Los barrenos analizados y que caracterizan la permeabilidad en la zona del túnel de desvío-vertedor son MD-26, MD-30 y MD-32.

En el barreno MD-26 se registran tramos consecutivos de alta permeabilidad, asociado a fracturas abiertas y zona de falla. La excavación del piso del túnel corresponde con la cota 178.70, por lo que quedará aproximadamente a 1.55 m por debajo del tramo permeable dentro de uno impermeable. Sin embargo, en el tramo inmediato al piso del túnel, existen tramos permeables asociados de igual manera a fracturamiento abierto principalmente. En la tabla 11 se muestran los resultados para este barreno y sus características principales por tramo.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)**	Clasificación	Observaciones
15.00 a 20.00	> 40**	Altamente Permeable	Brecha calcárea con fracturamiento abierto
25.00 a 30.00	> 40**	Altamente Permeable	Brecha calcárea con fracturamiento intenso y una falla de 50° de inclinación
30.00 a 35.00	> 40**	Altamente Permeable	Brecha calcárea con fracturamiento intenso
35.00 a 40.00	> 40**	Altamente Permeable	Brecha calcárea con matriz de grano fino y fracturamiento intenso
40.00 a 45.00	> 40**	Altamente Permeable	Brecha calcárea con intenso fracturamiento
45.10 a 50.10	0.0	Impermeable	Caliza fosilífera con poco fracturamiento
50.40 a 55.30	> 40**	Altamente Permeable	Caliza fosilífera con fracturamiento tendiendo a la vertical y falla de 70° de inclinación
55.50 a 60.50	14.92	Permeable	Caliza fosilífera. Falla con tendencia vertical
60.20 a 65.10	0.0	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturamiento bajo
65.20 a 70.20	11.28	Permeable	Caliza fosilífera con fracturamiento moderado
70.00 a 75.00	> 40**	Altamente Permeable	Caliza fosilífera, con un fracturamiento abierto moderado.

Tabla 11. Permeabilidad en el barreno MD-26 (** valor obtenido por gráfica de regresión lineal).

El barreno MD-30 se perforó con una inclinación de 60° al SE. Se destaca una zonificación impermeable entre las cotas 234.92 a 226.02 y de 221.65 a 217.24, caracterizadas por fracturamiento cerrado y cavidades aisladas. Sin embargo en la cota donde quedará el techo del túnel, se distingue un tramo que varía de poco permeable a permeable, asociado a fracturamiento abierto. El piso quedará en un tramo permeable asociado a una zona de falla, aproximadamente a 5 m por debajo del nivel freático. Los resultados se resumen en la tabla 12.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Litología
30.00 a 35.00	1.65	Impermeable	Brecha calcárea con escaso fracturamiento
35.00 a 40.00	0.28	Impermeable	Brecha calcárea con fracturas escasas en contacto roca-roca
45.00 a 50.00	2.28	Impermeable	Brecha calcárea con fracturas escasas en contacto roca-roca
50.00 a 55.00	1.6	Impermeable	Brecha calcárea con fracturas escasas con relleno de calcita
55.00 a 60.00	1.12	Impermeable	Brecha calcárea con fracturas escasas con relleno de calcita
60.00 a 65.00	14.8 l/m/min a 5.45 kg/cm ² (0.545 MPa)	Permeable (Muy Permeable a 10 kg/cm ² (1 MPa))	Brecha calcárea con fracturas abiertas, no levantó presión
65.00 a 70.00	18	Permeable	Brecha calcárea con fracturas abiertas y disolución
71.00 a 76.00	2.92	Impermeable	Brecha calcárea con fracturas escasas con relleno de calcita
75.00 a 80.00	10.08	Poco Permeable	Brecha calcárea con fracturas escasas sin relleno
80.00 a 85.00	23	Permeable	Brecha calcárea con fracturas abiertas
85.00 a 90.00	18 l/m/min a 7.95 kg/cm ² (0.795 MPa)	Permeable (Muy Permeable a 10 kg/cm ² (1 MPa))	Brecha calcárea intensamente fracturada y disolución, no levantó presión.
92.45 a 97.45	22.44	Permeable	Caliza fosilífera. Zona la FALLA III (<i>ver Anexo I: Plano Geología de la Boquilla</i>)
100.00 a 105.00	0.84	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturas en contacto roca-roca
105.00 a 110.00	0.20	Impermeable	Caliza fosilífera con escasas fracturas

Tabla 12. Resumen de permeabilidad en el barreno MD-30.

El barreno MD-32, se caracteriza por presentar tramos permeables desde las cotas 224.50 a 184.50, ubicándose en la cota 183.4 el techo del túnel, correspondiente a un tramo impermeable, sin embargo, de acuerdo con la estratificación y a la interconexión del fracturamiento, se prevé, que durante la excavación se lleguen a alcanzar tramos permeables. No obstante, en el piso del túnel, a la cota 176.80, se observa que quedará asentado en tramos impermeables, con fallas y fracturas cerradas y en contacto roca-roca, sin presencia de material de relleno. La tabla 13 muestra los resultados de las pruebas en este barreno.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10 kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
55.00 a 60.00	18.64	Permeable	Brecha calcárea con fracturas abiertas y disolución
60.00 a 65.00	>40	Altamente permeable	Brecha calcárea con fracturas abiertas y falla
65.00 a 70.00	16.8	Permeable	Contacto entre la brecha y la caliza fosilífera
70.00 a 75.00	16.56	Permeable	Caliza fosilífera con fracturas abiertas y disolución
75.00 a 80.00	19.28	Permeable	Caliza fosilífera con fracturas abiertas y disolución
80.00 a 85.00	>40	Altamente permeable	Caliza fosilífera con fracturas abiertas y disolución
85.00 a 90.00	0.8	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturas en contacto roca-roca
90.00 a 95.00	23.44	Permeable	Caliza fosilífera con fracturas abiertas y disolución
95.00 a 100.00	0.04	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturas sin relleno y estratos sellados
100.00 a 105.00	0.08	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturas escasas en contacto roca-roca
105.00 a 110.00	0.4	Impermeable	Caliza fosilífera con fracturas escasas en contacto roca-roca
110.00 a 115.00	6.84	Poco permeable	Caliza fosilífera con tres fallas menores en contacto roca-roca
115.00 a 120.00	0.04	Impermeable	Caliza fosilífera con escasas fracturas

Tabla 13. Resumen de permeabilidad en el barreno MD-32.

Muro exterior del canal vertedor.

Algunos barrenos que constituyen la información con los resultados de las pruebas de permeabilidad son el MI-47 y MI-53. En el barreno *MI-47* (*se presenta en el Anexo III: Permeabilidad*), las pruebas de permeabilidad resultaron, en su mayoría, impermeables, sin embargo, existen 3 zonas principales en donde los resultados de las pruebas variaron desde poco hasta muy permeables.

De acuerdo con el diseño de obra el piso del muro se prevé que quede a la cota 180 y quedará comprendido en un tramo impermeable. Las pruebas resultantes entre lo que constituirá la parte superior y el piso, resultaron con variaciones en la permeabilidad, desde poco permeable a muy permeable, esto es debido a la conjugación del fracturamiento y zonas de falla donde la roca se presenta alterada y con oxidación en planos de fractura. De la cota 183 hasta la 168, los tramos probados resultaron en general impermeables, sin embargo, la segunda zona con variaciones en la permeabilidad de poco hasta muy permeable, está comprendida desde la cota 168 a la 154, asociada a la presencia de un horizonte de conglomerado así como a fracturas abiertas. Nuevamente los tramos impermeables se presentan desde la cota 154 hasta la 141, encontrándose

fracturas con relleno de arcilla de la Formación Soyoló, misma que tiene un comportamiento intrínsecamente impermeable. La tercera zona permeable está comprendida entre la cota 141 y 136, realizada en el contacto entre las formaciones Soyoló y Angostura. El resumen de resultados se observa en la Tabla 14.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
20.00 a 20.00	10.07	Poco Permeable	Tramo de roca alterada y fracturada.
20.00 a 25.00	16.16	Permeable	Tramo de roca alterada y fracturada.
24.60 a 29.60	30	Muy Permeable	Fallas de 40° a 50° de inclinación.
30.00 a 35.00	1.56	Impermeable	Fracturamiento sellado con calcita.
35.00 a 40.00	2.13	Poco Permeable	Fracturamiento sellado con calcita.
40.00 a 45.00	2.2	Poco Permeable	Fracturamiento sellado con calcita.
45.00 a 50.00	27.8	Muy permeable	Fracturamiento abierto.
50.00 a 55.15	13.4	Permeable	Fracturamiento abierto.
55.00 a 60.00	3.16	Poco Permeable	Fracturamiento sellado con calcita.
61.00 a 66.10	1.22	Impermeable	Escaso fracturamiento.
67.20 a 72.20	0.08	Impermeable	Escaso fracturamiento.
74.25 a 79.85	< 40	Altamente Permeable	Fracturamiento abierto.

Tabla 14. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-47

Las pruebas de permeabilidad en el barreno MI-53, fueron realizadas en la zona de influencia de una falla importante, denominada Santo Domingo (*ver Anexo 1: Plano Geología de la Boquilla*), sin embargo las pruebas se encuentran aproximadamente 10 m por debajo de lo que constituirá el piso del muro externo, las cuales se encuentran dentro de la unidad fosilífera, resultando los tramos como muy permeables, desde la profundidades de 25 hasta 40 m, equivalente a las cotas de 175.27 a 155.27. La característica principal que le confiere esta permeabilidad, es el fracturamiento abierto con relleno de arcilla así como su interconexión entre el fracturamiento abierto. En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de permeabilidad en este barreno.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)*	Clasificación	Observaciones
25.00 a 30.00	38*	Muy Permeable	Contacto geológico entre Ksa-U2 y la unidad Ksa-U1.
29.00 a 35.00	35*	Muy Permeable	Contacto geológico entre Ksa-U2 y la unidad Ksa-U1, se observa muy fragmentada, con señales de disolución y alteración (oxidación).
35.00 a 40.00	45*	Altamente Permeable	De 37.45 a 39.50 m, oquedad de 2.05 m

Tabla 15. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-53 (* valor obtenido por gráfica de regresión lineal).

Muro interior del canal vertedor

Los barrenos de los cuales se obtuvo la información para la permeabilidad son: MI-27, MI-29 y MI-55.

Los tramos probados en los barrenos MI-27 y MI-55 (*este último se presenta en el Anexo III: Permeabilidad*) (Tablas 16, 17a y 17b respectivamente) ubicados hacia la salida del canal, se encuentran en niveles inferiores a la cota 168, realizados dentro de las unidades Ksa-U2 y Ksa-U1. La mayoría resultaron de permeables a muy permeables asociadas a fracturamiento abierto, zonas de falla y oquedades registradas principalmente en el barreno MI-27.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
40.25 a 45.25	29.5	Muy permeable	Con disolución en la roca y perdida en la recuperación de la muestra
45.00 a 50.00	46.52	Muy permeable	
50.50 a 55.50	18.8	Permeable	

Tabla 16. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-27.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
10.00 a 15.00	37	Muy permeable	Depósitos de talud (Qdt')
15.00 a 20.00	60	Altamente permeable	Depósitos de talud (Qdt')

Tabla 17a. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-55.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
20.00 a 25.00	22	Permeable	Depósitos de talud (Qdt')
25.00 a 30.00	43	Altamente permeable	Fractura abierta a los 29.90 m
30.00 a 35.00	57	Altamente permeable	Fracturamiento abierto y falla a los 31.25 m
35.00 a 40.45	36	Muy permeable	Fracturamiento abierto con disolución.
40.00 a 45.10	0.82	Impermeable	Roca masiva
45.00 a 50.00	0.16	Impermeable	Roca masiva
50.00 a 55.00	60	Altamente permeable	Roca fragmentada y falla a los 51.50m
55.00 a 60.00	--	Tramo no obturado	Alto consumo de agua y salida por brocal por cavidad
64.00 a 70.00	32	Muy permeable	Tramo altamente fracturado

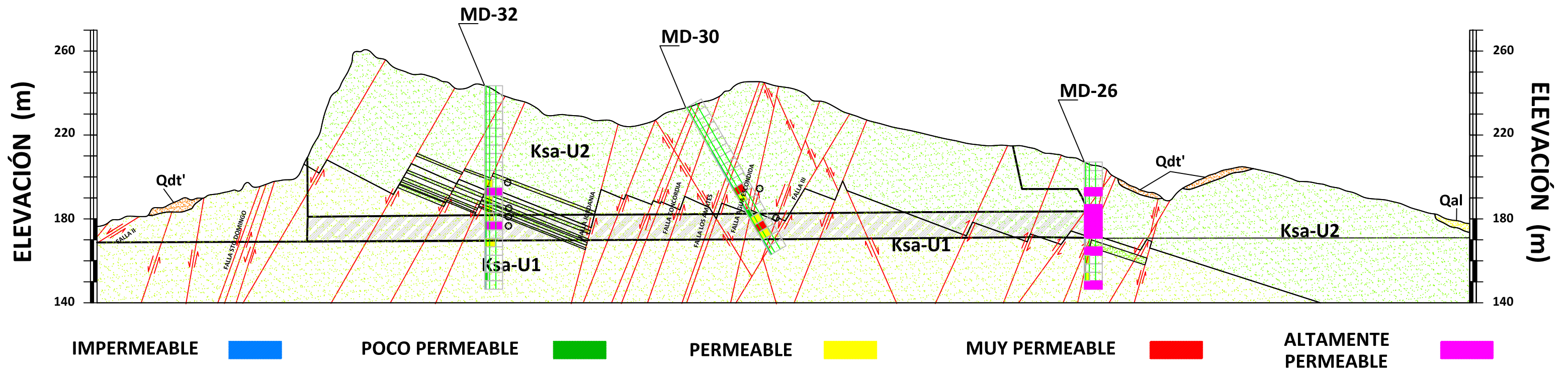
Tabla 17b. Continuación. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-55.

Las pruebas realizadas en el barreno *MI-29* (*este se presenta en el Anexo III: Permeabilidad*), dan por resultado tramos muy permeables, debido a que se perforó casi de forma paralela la zona afectada por la falla Concordia (*ver Anexo I: Plano Geología de la Boquilla*), la mayoría dentro de la unidad Ksa-U1. Esta zona se encuentra a partir de la cota 160, 20 m por debajo del piso del muro divisorio dentro de la Formación Soyaló. El resumen se muestra en la Tabla 18.

Tramo (m)	Unidad Lugeon a 10kg/cm ² (1 MPa)	Clasificación	Observaciones
36.05 a 41.05	Tramo probado. No se obtiene ningún resultado debido a un daño en el equipo		
40.00 a 45.00	11.8	Permeable	Tramo con fracturamiento abierto y falla
45.00 a 50.00	16.28 **	Permeable	** Valor obtenido a 1.74 kg/cm ² (0.174 MPa). Fracturas abiertas
50.00 a 55.00	19.6 **	Permeable	** Valor obtenido a 2.34 kg/cm ² (0.234 MPa). Presenta un horizonte arenoso y una oquedad
55.00 a 60.00	11.56 **	Permeable	** Valor obtenido a 1.88 kg/cm ² (0.188 MPa). Tramo con fracturamiento abierto
60.00 a 65.00	27.04 **	Muy Permeable	** Valor obtenido a 4.88 kg/cm ² (0.488 MPa). Tramo con fracturamiento abierto y falla
65.00 a 70.00	8.72 **	Permeable	** Valor obtenido a 2.35 kg/cm ² (0.235 MPa). Zonas con intenso fracturamiento abierto y falla
70.00 a 75.00	16.92 **	Muy Permeable	** Valor obtenido a 2.44 kg/cm ² (0.244 MPa). Fracturamiento abierto y oquedad

Tabla 18. Resumen de permeabilidad en el barreno MI-29.

SECCIÓN 2 TÚNEL DE DESVÍO



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La geología en la zona de la boquilla del P. H. Chicoasén II está conformada, en margen derecha del río Grijalva por rocas de regular a buena calidad de la Formación Angostura (Ksa), diferenciándose dos unidades geotécnicas; la unidad inferior (Ksa-U1) constituida por una caliza fosilífera y la unidad superior (Ksa-U2) constituida por calizas brechoides. Hacia la margen izquierda del río se encuentran rocas de la Formación Soyaló (Tps) constituidas por lutitas y areniscas, afectadas por una fuerte alteración que las vuelve deleznable originando una capa superficial de roca descomprimida con espesores de hasta 20 m. En ambos márgenes del río se tienen también depósitos no consolidados de talud (Qdt') constituidos por bloques y gravas empacados en material limo-arenoso que varían de 6 hasta 30 m de espesor.

Estructuralmente la zona está afectada por dos sistemas de fallas principales, el primer sistema (F_1) con orientación $N22^\circ E/74^\circ NW$ y el segundo sistema (F_2) con orientación $N6^\circ E/67^\circ SE$. La estratificación en las calizas de la Formación Angostura está inclinada hacia la margen izquierda del río y tiene una orientación general $N60^\circ E/30^\circ SE$. La estratificación de la Formación Soyaló está inclinada hacia el talud y presenta una orientación $N28^\circ E/25^\circ SE$, de igual forma se presentan sistemas de fracturamiento que intervendrán, junto con las fallas y estratificación, en el comportamiento geotécnico futuro del macizo rocoso.

La calidad de la roca en ambos márgenes del río se rige por la distribución de las unidades litológicas. En margen derecha del río se tienen rocas de regular a buena calidad de la Formación Angostura. En margen izquierda se tienen rocas de mala a regular calidad de la Formación Soyaló, datos obtenidos por la determinación en campo del índice de calidad de roca (RQD).

Para estimar la permeabilidad del proyecto se efectuaron perforaciones en donde fueron realizadas pruebas de permeabilidad tipo Lugeon y absorción. Las pruebas de permeabilidad realizadas en la Formación Soyaló (Tps) indican que aproximadamente el 70% es impermeable, el 20% resultó permeable y el 10% resultó de poco permeable a impermeable. La impermeabilidad en esta formación está dada por la génesis de las rocas que la constituyen.

En la brecha calcárea, unidad superior de la Formación Angostura (Ksa-U2), los tramos permeables representan el 59%, mientras que los tramos poco permeables representan el 11% y los tramos impermeables representan el 30%. La permeabilidad asociada a esta formación está directamente relacionada con fracturas y fallas abiertas, así como a la presencia de oquedades producto de disolución (carsticidad).

Los resultados de las pruebas de permeabilidad en la caliza fosilífera, unidad inferior de la Formación Angostura (Ksa-U1), son muy similares a los obtenidos en la Unidad 2, en donde los tramos permeables a altamente permeables representan el 58%, mientras que

los tramos poco permeables a impermeables representan el 42%. El contacto entre estas dos unidades de la Formación Angostura, no influye significativamente en la permeabilidad del macizo rocoso, pues el contacto está generalmente cementado y la permeabilidad se relaciona con la presencia de fallas, fracturas abiertas y cavidades de disolución identificadas en los barrenos.

Es importante aclarar, que, de acuerdo con la definición de las pruebas tipo Lugeon, el objetivo es alcanzar una presión efectiva de 10 kg/cm^2 (1 MPa), pero durante la ejecución de algunas de las pruebas no fue posible aumentar la presión manométrica hasta este parámetro, por lo tanto el tipo de prueba que se tiene, al no cumplir con los parámetros establecidos, es de absorción de agua; debido a esto y como se mencionó anteriormente, se realizó una gráfica de regresión lineal para estimar las unidades Lugeon a partir de los datos obtenidos en la prueba. Se debe tener especial cuidado en el manejo de los resultados obtenidos por este medio, ya que estos no son valores "reales" obtenidos a partir de las pruebas ejecutadas en campo.

Con las conclusiones mencionadas anteriormente se determina que el sitio tiende a no ser factible mecánica e hidráulicamente para la construcción de las obras que constituyen al Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II, especialmente por el problema de carsticidad, fallamiento y fracturamiento que se tiene en las calizas de la Formación Angostura, en la margen derecha del río.

RECOMENDACIONES

- Continuar con los estudios de la zona, realizar más perforaciones en puntos de interés donde se ubicarán las obras civiles.
- Debido a que no se alcanza una presión efectiva de 10 kg/cm^2 (1 MPa) en las pruebas tipo Lugeon, la realización de pruebas de permeabilidad tipo Lefranc ya que la roca se encuentra muy fracturada.

BIBLIOGRAFÍA

Contreras, V.H., 1959, Reseña de la geología del sureste de México. Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros., v. 11.

Hernández-García, R., 1973, Paleogeografía del Paleozoico de Chiapas, México. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 25.

Guías y Procedimientos: "Realización de Pruebas de Permeabilidad Tipo Lugeon". Comisión Federal de Electricidad. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Clave: DGL-013. Revisión: 2. Fecha: 18/02/10.

Informe de Avance: Estudio Geológico de Apoyo a Diseño del P.H. Chicoasén II. Estado de Chiapas. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Comisión Federal de Electricidad. Septiembre de 2012.

Llopis Lladó, N., 1970, Fundamentos de hidrogeología cárstica (Introducción a la geoespeleología). Madrid, Blume, 269 p.

Monografía Geológico-Minera del Estado de Chiapas. Servicio Geológico Mexicano. 1999.

Morán-Zenteno, Dante J., Martiny, B., Tolson, G., Solís Pichardo, G., Alba Aldave, L., Hernández-Bernal, M. del S., Macías Romo, C., Martínez Serrano, R.G., Schaaf, P., Silva Romo, G., 2000, Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, T. LIII, No. 1.

Pacheco, C. y Barba, M., 1986, El Precámbrico de Chiapas, un terreno estrato-tectónico: Sociedad Geológica Mexicana, VIII Convención Nacional, Libro de Resúmenes.

Padilla y Sánchez, R.J., 2007, Evolución Geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LIX. No.1.

Padilla y Sánchez, R.J., 1982, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, México. The University of Texas at Austin, Ph.D.Dissertation.

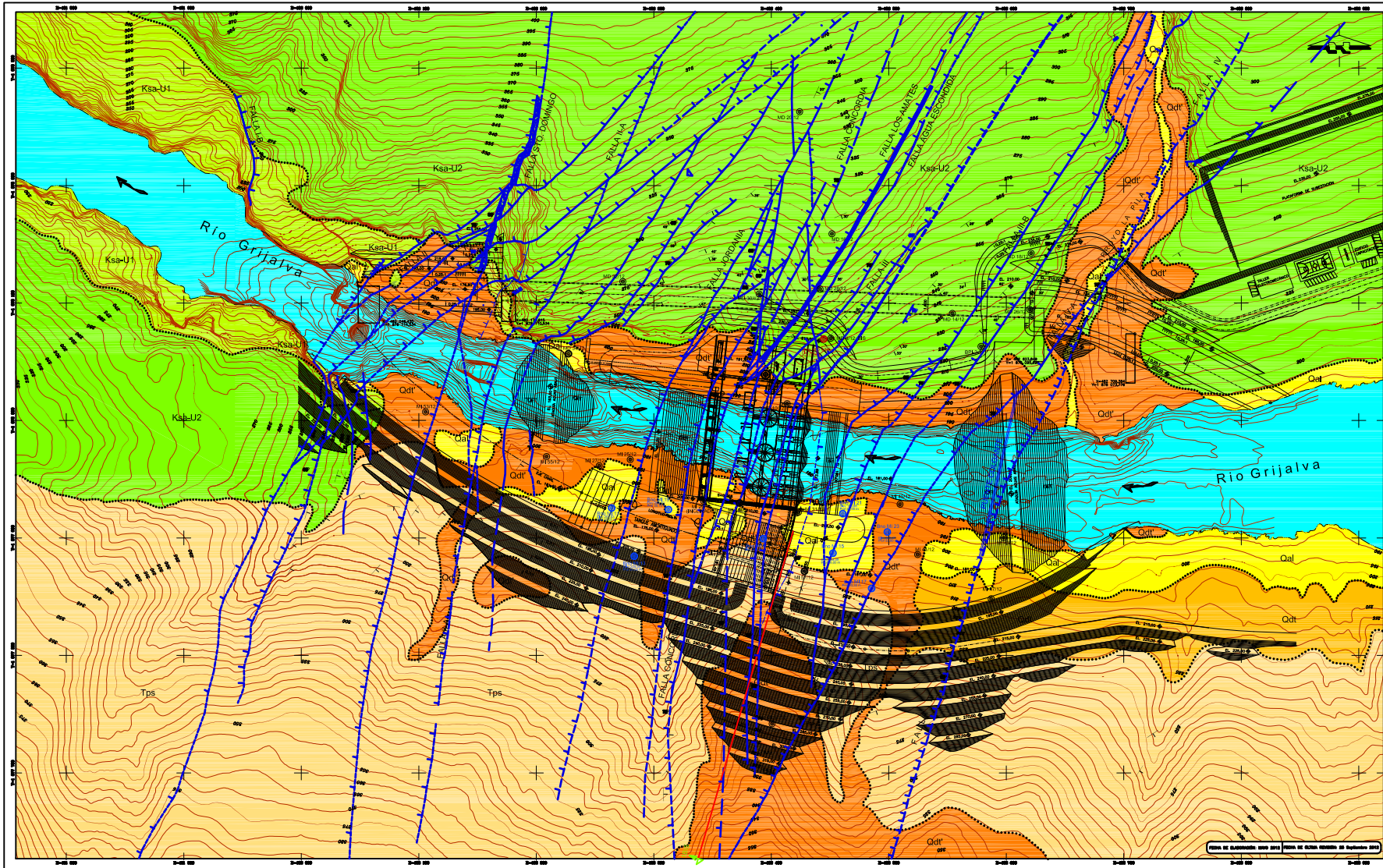
Padilla y Sánchez, R.J., Martínez S., R.G. y Torres R., V., 1995, Carta Tectónica de los Estados Unidos Mexicanos. Edición Conjunta Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Escala 1:2 000 000.

Reporte de Actividad Sísmica en Chiapas. Periodo Enero-Noviembre 2012. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

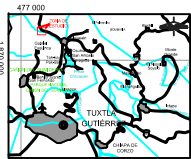
Sánchez-Montes de Oca, R., 1969, Estratigrafía y paleogeografía del Mesozoico de Chiapas. Seminario sobre exploración petrolera, Instituto Mexicano del Petróleo, México, v3.

ANEXO I:

PLANO GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



COLUMNA LITOLÓGICA

UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
Ksa-U1	...
Ksa-U2	...
Qdt	...
Tps	...

SÍMBOLOS

- FALLA NORMAL
- FALLA NORMAL INVERSA
- RAMBO Y ECHADO DE FRACTURA
- RAMBO Y ECHADO DE ESTRIBACIONES
- CONTACTO GEOLOGICO
- RED
- CURVAS DE NIVEL
- BARRENDOS ETAPA 1991
- BARRENDOS ETAPA 1992
- BARRENDOS ETAPA 2012

NOTA:
 PLANO DELICADO DE LA CAMPAÑA DE 2012 CON
 EL SIGUIENTE ORIENTACIÓN DE JUNIO DE 2012

ESCALA GRÁFICA
 ESCALA 1:1 000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS PROFESIONAL

"PROYECTO HIDROELECTRICO CHICOMACÉN II, EDO
 DE CHIAPAS, ESTUDIO GEOTÉCNICO DE TERMINACIÓN
 DE LA PENSIÓN EN LA ZONA DE LA BOQUELA"

ARMI LÓPEZ GONZÁLEZ

PROFESOR P. H. CHICOMACÉN II, CHIAPAS

MATERIA GEOLOGÍA DE LA BOQUELA

OTRO: CONFORME A LA LEY DE LA INGENIERÍA PROFESIONAL EN MÉXICO

AUTORIZADO SU USO POR PARTE DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

ANEXO II: BARRENACIÓN

- **REGISTRO FOTOGRÁFICO**
- **REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD**



Barreno MI-59
Barreno MI-51
Barreno MI-29
Barreno MD-34
Barreno MI-47
Barreno MI-55

TRAMO DE 0,00 a 28,25 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-59/12

TRAMO DE 28,25 a 46,60 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-59/12

TRAMO DE 46,60 a 64,86 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-59/12

TRAMO DE 64,86 a 82,25 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-59/12

TRAMO DE 82,25 a 100,00 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-59/12

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Profundidad (m)		Recuperación			Índice de calidad de roca		Observaciones
De	A	Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	
0.00	3.00	3.00	0.60	20	0.00	0	Qdt'
3.00	5.50	2.50	0.70	28	0.00	0	
5.50	7.00	1.50	0.80	53	0.00	0	
7.00	10.00	3.00	0.40	13	0.00	0	
10.00	12.00	2.00	0.30	15	0.00	0	
12.00	14.65	2.65	1.80	68	0.00	0	
14.65	17.65	3.00	3.00	100	2.75	0	
17.65	20.35	2.70	2.30	85	1.90	0	
20.35	21.45	1.10	1.10	100	0.69	0	
21.45	22.55	1.10	1.00	91	0.50	0	
22.55	23.65	1.10	1.00	91	0.90	0	
23.65	24.75	1.10	1.00	91	0.52	0	
24.75	26.75	2.00	2.00	100	0.90	0	
26.75	28.25	1.50	1.30	87	1.20	0	
28.25	31.30	3.05	3.05	100	2.60	0	
31.30	33.20	1.90	1.90	100	1.50	0	
33.20	36.20	3.00	3.00	100	2.55	0	
36.20	39.20	3.00	2.50	83	2.39	0	
39.20	42.25	3.05	3.05	100	2.25	0	
42.25	43.75	1.50	1.50	100	1.35	0	
43.75	45.35	1.60	1.60	100	1.15	0	
45.35	46.85	1.50	0.85	57	0.40	0	
46.85	48.35	1.50	1.00	67	0.93	62	
48.35	50.95	2.60	2.60	100	2.15	83	
50.95	52.85	1.90	1.90	100	1.80	95	
52.85	55.75	2.90	2.90	100	2.75	95	
55.75	57.45	1.70	1.70	100	1.50	88	
57.45	58.25	0.80	0.70	88	0.45	56	
58.25	61.25	3.00	2.80	93	1.85	62	
61.25	61.65	0.40	0.40	100	0.00	0	
61.65	62.80	1.15	1.15	100	0.67	58	
62.80	65.30	2.50	2.50	100	1.85	74	
65.30	65.80	0.50	0.50	100	0.00	0	
65.80	67.30	1.50	1.50	100	1.10	73	
67.30	69.30	2.00	2.00	100	1.20	60	
69.30	71.30	2.00	1.30	65	0.53	27	
71.30	73.40	2.10	2.00	95	1.80	86	
73.40	75.00	1.60	1.30	81	0.79	49	
75.00	76.55	1.55	1.55	100	1.30	84	
76.55	78.55	2.00	2.00	100	1.40	70	
78.55	79.55	1.00	1.00	100	0.48	48	
79.55	80.35	0.80	0.80	100	0.80	100	
80.35	83.00	2.65	2.65	100	1.50	57	
83.00	84.00	1.00	1.00	100	0.50	50	
84.00	85.00	1.00	1.00	100	0.60	60	
85.00	87.00	2.00	2.00	100	1.40	70	
87.00	88.00	1.00	0.80	80	0.70	70	
88.00	90.00	2.00	2.00	100	1.35	68	
90.00	91.50	1.50	1.50	100	1.05	70	
91.50	93.00	1.50	1.35	90	0.70	47	
93.00	93.70	0.70	0.70	100	0.45	64	
93.70	95.00	1.30	0.90	69	0.70	54	
95.00	95.70	0.70	0.55	79	0.40	57	
95.70	96.85	1.15	0.90	78	0.80	70	
96.85	97.35	0.50	0.50	100	0.40	80	
97.35	98.05	0.70	0.70	100	0.65	93	
98.05	99.05	1.00	1.00	100	0.85	85	
99.05	100.00	0.95	0.95	100	0.60	63	
		100.00	84.85	85	59.55	60	Ksa-U1

TRAMO DE 0,00 a 20,60 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-51/12

TRAMO DE 20,60 a 50,40 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-51/12

TRAMO DE 50,40 a 65,35 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-51/12

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Proyecto: P.H. Chicoasén II		Recuperación			Índice de calidad de roca		Fecha: 1/08/12 al 23/08/12
Barreno: MI-51		Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	Observaciones
Describió: GEOLOGÍA							
Profundidad (m)		Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	Observaciones
De	A						
0.00	2.50	2.50	1.90	76	0.00	0	Qdt'
2.50	3.50	1.00	0.90	90	0.00	0	
3.50	5.60	2.10	1.90	90	0.00	0	
5.60	8.60	3.00	2.90	97	0.00	0	
8.60	11.65	3.05	2.85	93	0.00	0	
11.65	14.70	3.05	2.75	90	0.00	0	
14.70	15.70	1.00	0.55	55	0.00	0	
15.70	17.00	1.30	1.10	85	0.00	0	
17.00	18.25	1.25	1.25	100	0.00	0	
18.25	19.25	1.00	1.00	100	0.00	0	
19.25	21.00	1.75	1.75	100	0.00	0	
21.00	21.50	0.50	0.50	100	0.00	0	
21.50	22.50	1.00	0.55	55	0.00	0	
22.50	25.00	2.50	0.30	12	0.00	0	
25.00	25.80	0.80	0.80	100	0.35	44	
25.80	26.40	0.60	0.60	100	0.40	67	
26.40	27.00	0.60	0.60	100	0.45	75	
27.00	28.00	1.00	1.00	100	0.75	75	
28.00	30.10	2.10	2.10	100	1.80	86	
30.10	32.90	2.80	1.90	68	1.32	47	
32.90	35.10	2.20	0.95	43	0.75	34	
35.10	36.10	1.00	0.80	80	0.43	43	
36.10	38.10	2.00	1.40	70	1.00	50	
38.10	40.00	1.90	1.25	66	0.80	42	
40.00	42.00	2.00	0.15	8	0.00	0	Ksa-U1
42.00	42.50	0.50	0.50	100	0.40	80	
42.50	43.00	0.50	0.45	90	0.00	0	
43.00	45.00	2.00	1.90	95	1.40	70	
45.00	47.90	2.90	0.30	10	0.27	9	
47.90	48.90	1.00	0.50	50	0.30	30	
48.90	50.40	1.50	0.80	53	0.10	7	
50.40	51.90	1.50	1.50	100	0.70	47	
51.90	54.95	3.05	3.05	100	2.55	84	
54.95	58.00	3.05	3.05	100	2.00	66	
58.00	60.00	2.00	1.85	93	1.25	63	
60.00	60.80	0.80	0.80	100	0.50	63	
60.80	63.85	3.05	3.05	100	2.70	89	
63.85	65.35	1.50	1.50	100	1.03	69	
		65.35	51.00	78	21.25	33	

TRAMO DE 34,50 a 54,10 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-29/12

TRAMO DE 54,10 a 72,80 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-29/12

TRAMO DE 72,80 a 75,00 m



**P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-29/12**

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Profundidad (m)		Recuperación			Índice de calidad de roca		Observaciones
De	A	Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	
34.50	35.50	1.00	1.00	100	0.90	90	Ksa-U1
35.50	38.00	2.50	2.50	100	2.20	88	
38.00	40.50	2.50	1.45	58	1.10	44	
40.50	41.05	0.55	0.55	100	0.20	36	
41.05	42.55	1.50	1.25	83	0.80	53	
42.55	43.25	0.70	0.70	100	0.60	86	
43.25	45.05	1.80	1.70	94	1.60	89	
45.05	46.60	1.55	0.80	52	0.50	32	
46.60	48.90	2.30	2.30	100	2.15	93	
48.90	50.00	1.10	1.10	100	1.00	91	
50.00	52.05	2.05	2.05	100	1.90	93	
52.05	55.00	2.95	2.95	100	2.80	95	
55.00	58.00	3.00	3.00	100	2.80	93	
58.00	60.00	2.00	2.00	100	1.70	85	
60.00	62.60	2.60	2.60	100	2.35	90	
62.60	65.00	2.40	2.40	100	2.10	88	
65.00	67.40	2.40	2.40	100	2.10	88	
67.40	70.00	2.60	2.10	81	1.10	42	
70.00	73.00	3.00	2.60	87	2.30	77	
73.00	75.00	2.00	0.90	45	0.75	38	
		40.50	36.35	90	30.95	76	

TRAMO DE 0,00 a 26,10 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MD-34/12

TRAMO DE 26,10 a 44,30 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MD-34/12

TRAMO DE 44,30 a 50,15 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MD-34/12

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Profundidad (m)		Recuperación			Índice de calidad de roca		Observaciones
De	A	Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	
0.00	1.70	1.70	0.75	44	0.00	0	Qal
1.70	3.60	1.90	1.20	63	0.00	0	
3.60	6.65	3.05	0.25	8	0.00	0	
6.65	8.50	1.85	1.75	95	1.47	79	Qdt'
8.50	9.65	1.15	0.90	78	0.48	42	
9.65	10.80	1.15	0.40	35	0.16	14	
10.80	13.15	2.35	0.95	40	0.35	15	
13.15	15.40	2.25	2.25	100	1.53	68	
15.40	18.45	3.05	1.50	49	1.10	36	Ksa-U1
18.45	21.50	3.05	3.05	100	1.70	56	
21.50	24.55	3.05	3.05	100	2.65	87	
24.55	27.60	3.05	2.75	90	2.20	72	
27.60	30.65	3.05	3.00	98	2.42	79	
30.65	33.70	3.05	3.05	100	2.85	93	
33.70	35.00	1.30	1.30	100	0.90	69	
35.00	36.40	1.40	1.30	93	0.80	57	
36.40	37.20	0.80	0.70	88	0.47	59	
37.20	40.00	2.80	2.60	93	1.00	36	
40.00	43.05	3.05	3.05	100	1.60	52	
43.05	45.00	1.95	1.95	100	1.70	87	
45.00	46.00	1.00	1.00	100	0.80	80	
46.00	49.05	3.05	3.05	100	2.50	82	
49.05	50.15	1.10	1.10	100	0.95	86	
		50.15	40.90	82	27.63	55	

TRAMO DE 0,00 a 27,00 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-47/12

TRAMO DE 27,00 a 46,30 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-47/12

TRAMO DE 46,30 a 64,13 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-47/12

TRAMO DE 64,13 a 83,12 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-47/12

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Proyecto: P.H. Chicoasén II		Recuperación			Índice de calidad de roca		Fecha: 01/06/2012
Barreno: MI-47		Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	Observaciones
Describió: GEOLOGÍA							
Profundidad (m)		De	A				
0.00	0.60						
0.60	1.60	1.00	0.40	40	0.00	0	
1.60	2.60	1.00	0.30	30	0.00	0	
2.60	4.00	1.40	0.30	21	0.00	0	
4.00	5.05	1.05	0.55	52	0.00	0	
5.05	7.20	2.15	0.85	40	0.00	0	Tps
7.20	8.20	1.00	0.75	75	0.00	0	
8.20	9.40	1.20	0.55	46	0.00	0	
9.40	10.55	1.15	0.90	78	0.00	0	
10.55	10.90	0.35	0.35	100	0.10	29	
10.90	12.40	1.50	0.60	40	0.35	23	
12.40	14.05	1.65	0.65	39	0.46	28	
14.05	15.55	1.50	1.35	90	1.10	73	
15.55	17.05	1.50	1.35	90	0.83	55	
17.05	18.70	1.65	1.40	85	0.75	45	
18.70	20.00	1.30	1.20	92	0.92	71	
20.00	22.30	2.30	1.30	57	0.72	31	
22.30	23.35	1.05	0.85	81	0.70	67	
23.35	25.00	1.65	1.30	79	0.53	32	
25.00	25.75	0.75	0.75	100	0.58	77	
25.75	28.75	3.00	2.55	85	2.15	72	
28.75	29.60	0.85	0.85	100	0.68	80	
29.60	31.00	1.40	1.30	93	1.06	76	
31.00	32.50	1.50	1.15	77	0.70	47	
32.50	34.10	1.60	1.15	72	0.80	50	
34.10	35.00	0.90	0.90	100	0.90	100	
35.00	37.00	2.00	1.50	75	0.75	38	
37.00	38.60	1.60	1.40	88	0.90	56	
38.60	40.00	1.40	1.10	79	0.80	57	
40.00	41.30	1.30	1.10	85	0.80	62	
41.30	44.35	3.05	3.05	100	2.85	93	
44.35	45.10	0.75	0.75	100	0.75	100	
45.10	47.20	2.10	2.10	100	2.10	100	
47.20	50.00	2.80	2.70	96	2.40	86	
50.00	53.10	3.10	3.10	100	3.00	97	
53.10	55.15	2.05	2.05	100	2.05	100	
55.15	56.95	1.80	1.80	100	1.80	100	
56.95	60.00	3.05	3.05	100	2.80	92	
60.00	63.05	3.05	3.05	100	3.05	100	
63.05	66.10	3.05	3.05	100	3.05	100	
66.10	69.15	3.05	3.05	100	3.05	100	
69.15	72.20	3.05	3.05	100	3.00	98	
72.20	74.70	2.50	2.50	100	2.50	100	
74.70	77.80	3.10	3.10	100	3.10	100	
77.80	79.85	2.05	2.05	100	2.05	100	
79.85	82.80	2.95	0.00	0	0.00	0	
82.80	83.12	0.32	0.32	100	0.20	63	
		83.12	65.92	79	54.33	65	
						Ksa-U2	

TRAMO DE 0,00 a 23,58 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-55/12

TRAMO DE 23,58 a 46,66 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-55/12

TRAMO DE 46,66 a 70,00 m



P.H. CHICOASÉN II
BARRENO MI-55/12

REGISTRO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN Y RQD

Proyecto: P. H. CHICOASÉN II		Recuperación			Índice de calidad de roca		Fecha: Julio 2012
Barreno: MI-55		Longitud perforada (m)	Longitud de la muestra (m)	% recuperación	Longitud de las muestras >10 cm (m)	% RQD	Observaciones
Describió: GEOLOGÍA							
Profundidad (m)							
De	A						
0.00	3.05	3.05	2.80	92	0.00	0	Qdt'
3.05	4.15	1.10	1.00	91	0.00	0	
4.15	7.20	3.05	2.20	72	0.00	0	
7.20	8.85	1.65	1.35	82	0.00	0	
8.85	10.25	1.40	1.40	100	0.00	0	
10.25	11.45	1.20	1.20	100	0.00	0	
11.45	12.75	1.30	1.30	100	0.00	0	
12.75	15.00	2.25	2.25	100	0.00	0	
15.00	16.35	1.35	1.35	100	0.00	0	
16.35	19.40	3.05	3.05	100	0.00	0	
19.40	20.00	0.60	0.60	100	0.00	0	
20.00	23.05	3.05	3.00	98	0.00	0	
23.05	25.05	2.00	2.00	100	0.00	0	
25.05	28.05	3.00	2.85	95	2.55	85	Ksa-U2
28.05	30.00	1.95	1.90	97	1.50	77	
30.00	32.60	2.60	2.60	100	2.40	92	
32.60	35.30	2.70	2.70	100	2.53	94	
35.30	37.40	2.10	2.10	100	1.83	87	
37.40	40.45	3.05	3.05	100	2.93	96	
40.45	43.50	3.05	3.05	100	2.95	97	
43.50	45.30	1.80	1.80	100	1.76	98	
45.30	46.75	1.45	1.45	100	1.45	100	
46.75	49.80	3.05	3.05	100	2.90	95	
49.80	52.85	3.05	3.05	100	2.70	89	
52.85	53.95	1.10	1.10	100	0.94	85	
53.95	54.95	1.00	1.00	100	0.82	82	
54.95	55.65	0.70	0.70	100	0.25	36	Ksa-U1
55.65	56.25	0.60	0.60	100	0.47	78	
56.25	56.95	0.70	0.70	100	0.60	86	
56.95	57.55	0.60	0.60	100	0.35	58	
57.55	58.20	0.65	0.65	100	0.50	77	
58.20	59.25	1.05	1.05	100	0.92	88	
59.25	60.50	1.25	0.00	0	0.00	0	
60.50	60.65	0.15	0.15	100	0.09	60	
60.65	61.65	1.00	0.00	0	0.00	0	
61.65	62.15	0.50	0.50	100	0.00	0	
62.15	63.25	1.10	1.10	100	0.60	55	
63.25	63.40	0.15	0.15	100	0.00	0	
63.40	63.75	0.35	0.00	0	0.00	0	
63.75	64.25	0.50	0.50	100	0.43	86	
64.25	64.85	0.60	0.60	100	0.36	60	
64.85	67.10	2.25	2.25	100	2.12	94	
67.10	68.70	1.60	1.60	100	1.24	78	
68.70	70.00	1.30	1.30	100	0.65	50	
			42.15	92	35.84	67	

A N E X O III: **PERMEABILIDAD**

- ***PRUEBAS TIPO LUGEON***
HOJA DE CÁLCULO



Barreno MI-51

Barreno MI-29

PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

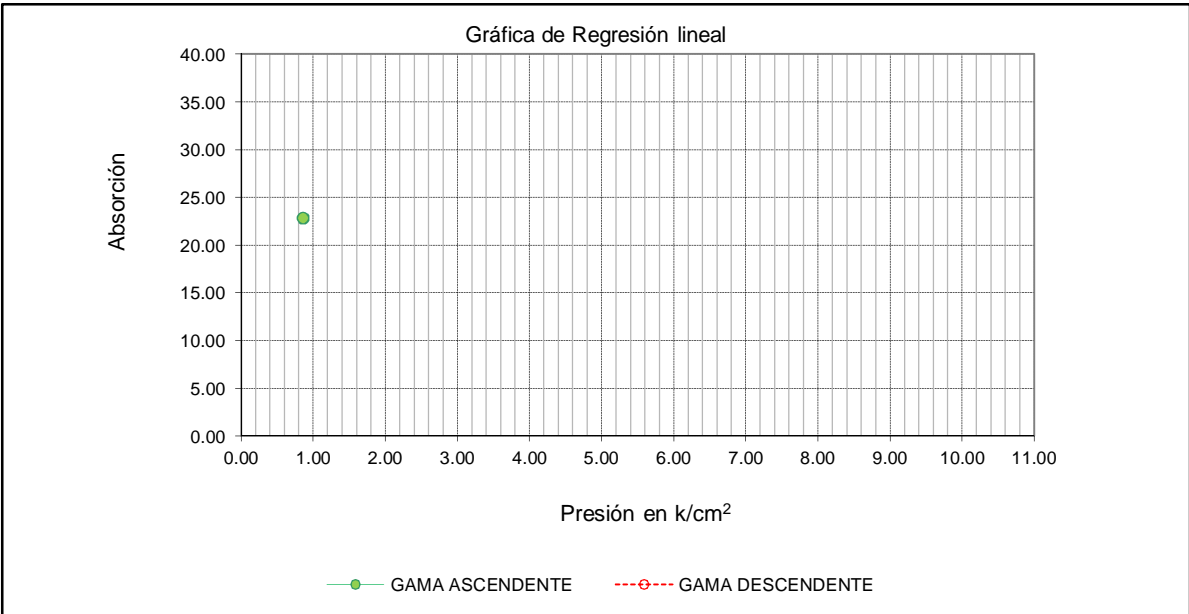
BNO.: MI-51

DE: 20.00 A: 25.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.45 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.



PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

BNO.: MI-51

DE: 25.00 A: 30.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.45 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

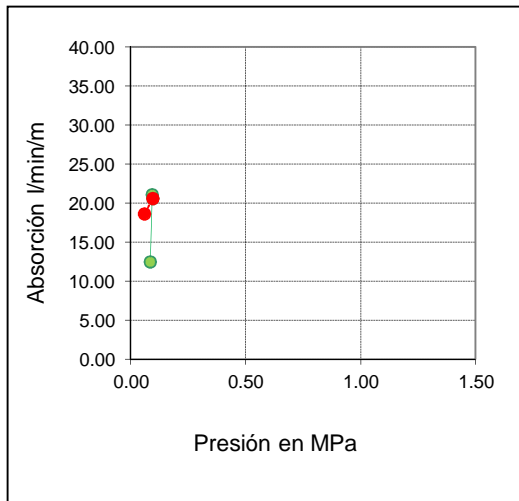
pm MPa	pm + ph MPa	pf MPa	P		V l	A l/min/m
			MPa	kg/cm ²		
0.0491	0.1123	0.0261	0.0862	0.88	312	12.48
0.0981	0.1614	0.0672	0.0942	0.96	527	21.08
0.0981	0.1614	0.0644	0.0970	0.99	515	20.60
0.0491	0.1123	0.0536	0.0587	0.60	465	18.60
No se logró incrementar la presión debido al fracturamiento abierto y a la disolución de la caliza						

pm = presión manométrica

ph = presión hidrostática

pf = pérdidas por fricción

ABSORCIÓN: 21,08 l/min/m a 0,0942 MPa (0,96 kg/cm²)



RECUPERACION: 85%

RQD : 59%

LITOLOGÍA : Brecha calcárea
con fracturas abiertas y disolución en la roca

INTERPRETACION: Roca
Permeable

_____ GAMA ASCENDENTE

----- GAMA DESCENDENTE

PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

BNO.: MI-51

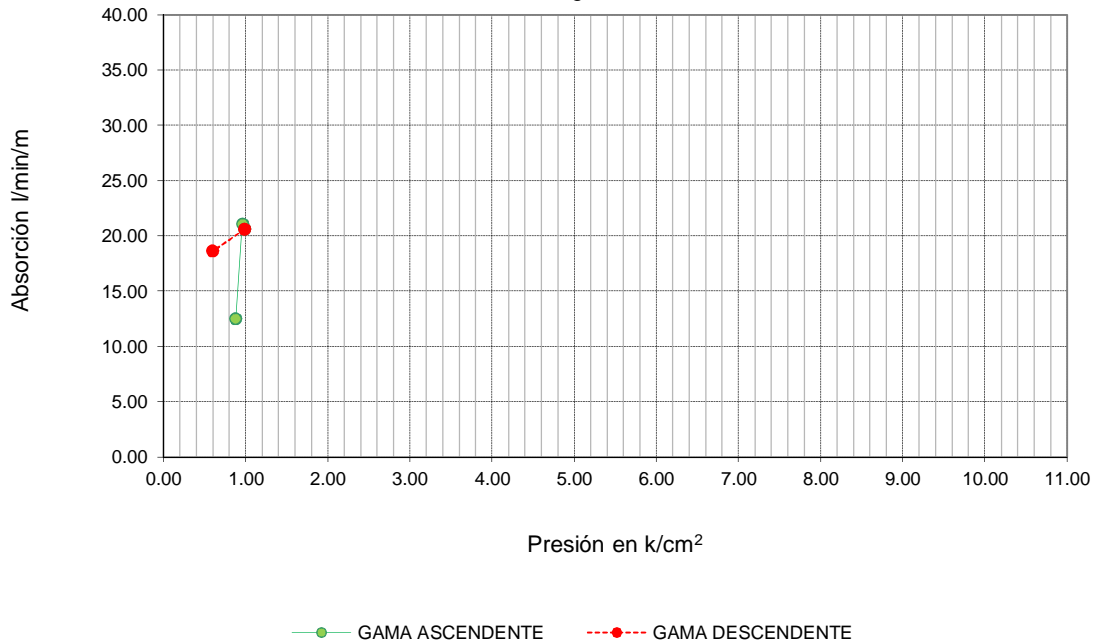
DE: 25.00 A: 30.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.45 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

Gráfica de Regresión lineal



PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

BNO.: MI-51

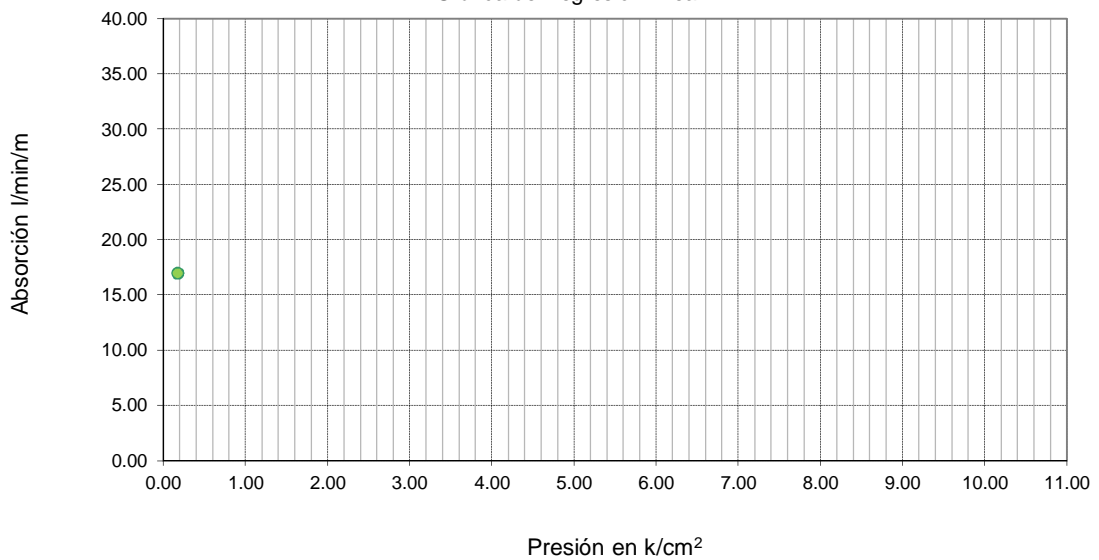
DE: 30.00 A: 35.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.36 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

Gráfica de Regresión lineal



—●— GAMA ASCENDENTE - - - ○ - - - GAMA DESCENDENTE

PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasen II

TRAMO:

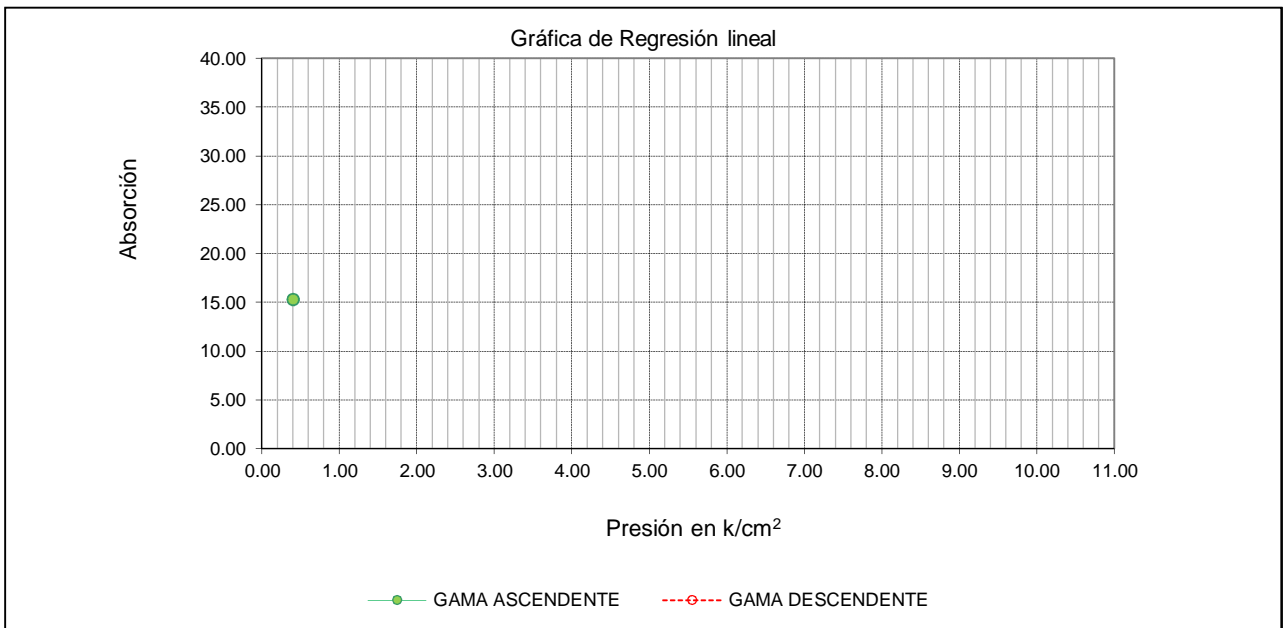
BNO.: MI-51

DE: 35.00 A: 40.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.25 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.



PRUEBAS TIPO LUGEON

HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasen II

TRAMO:

BNO.: MI-51

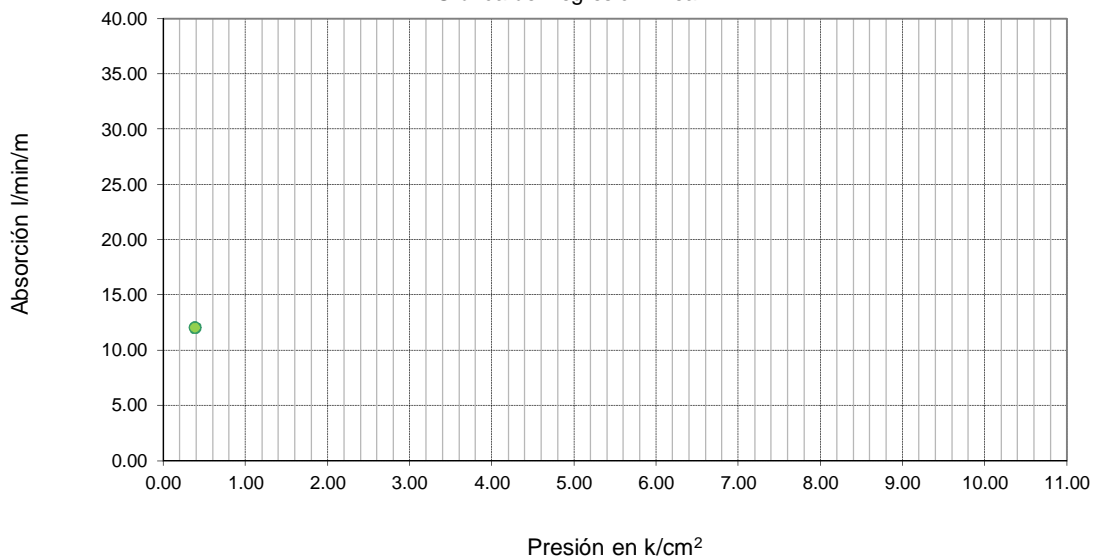
DE: 40.00 A: 45.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 0.35 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

Gráfica de Regresión lineal



—●— GAMA ASCENDENTE - - - - -○- - - - - GAMA DESCENDENTE

PRUEBAS TIPO LUGEON

HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasen II

TRAMO:

BNO.: MI-51

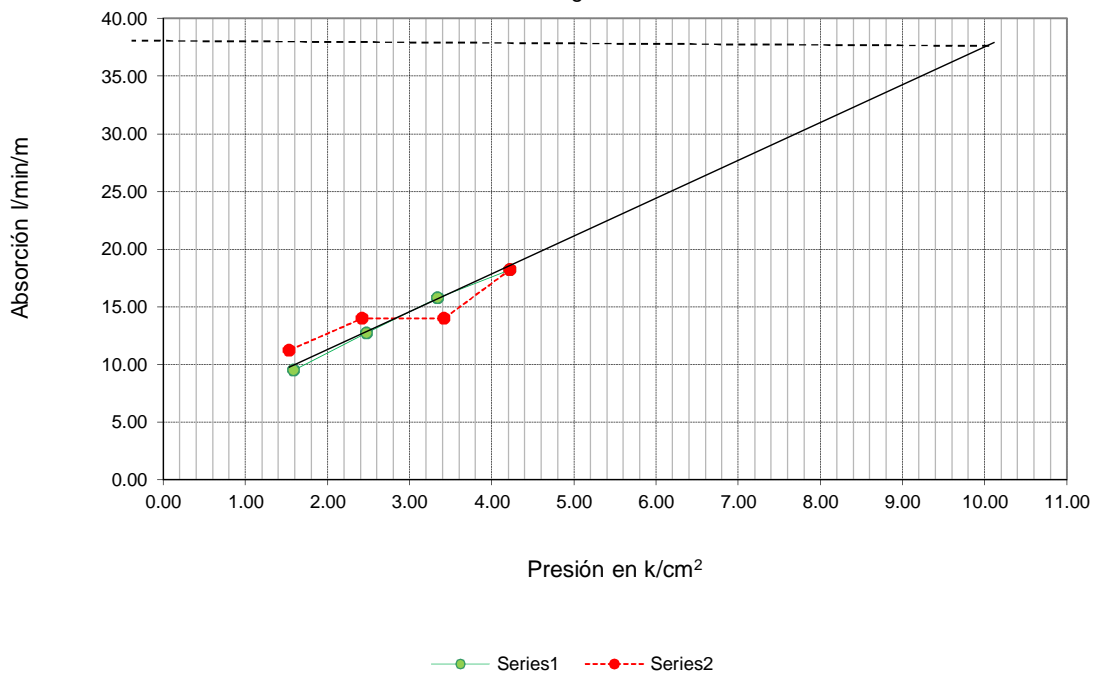
DE: 50.00 A: 55.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 1.50 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

Gráfica de Regresión lineal



PRUEBAS TIPO LUGEON

HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasen II

TRAMO:

BNO.: MI-51

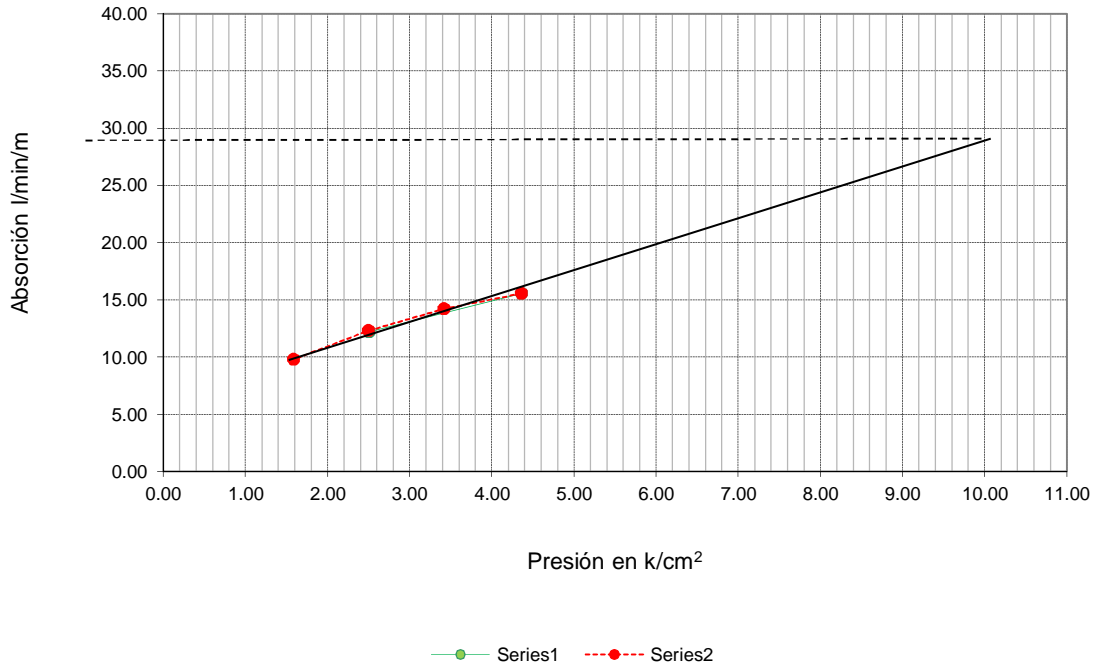
DE: 55.00 A: 60.00 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 1.60 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

Gráfica de Regresión lineal



PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasen II

TRAMO:

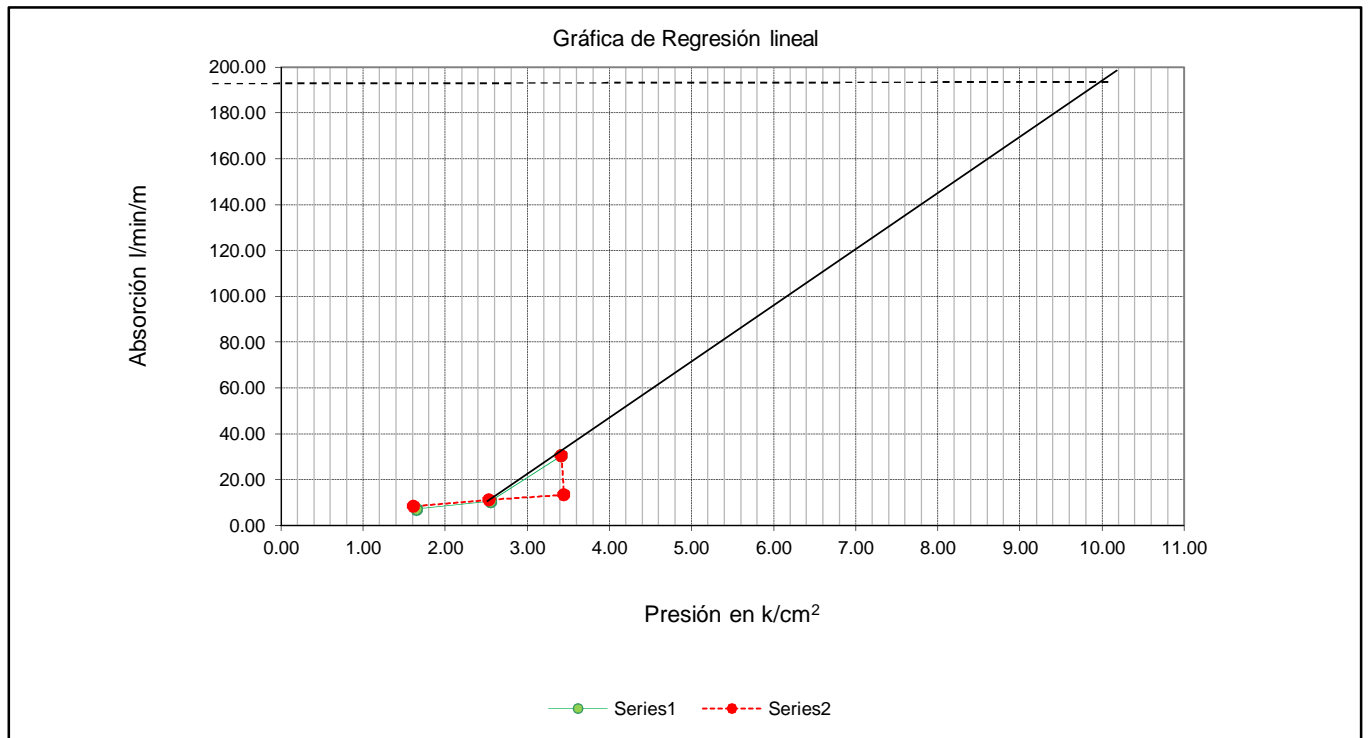
BNO.: MI-51

DE: 60.35 A: 65.35 m

N. F.: 6.00 m INCL.: 90 °

Alt. Manómetro: 1.50 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.



PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

BNO.: MI-29

DE: 70.00 A: 75.00 m

N. F.: 8.30 m INCL.: 60 °

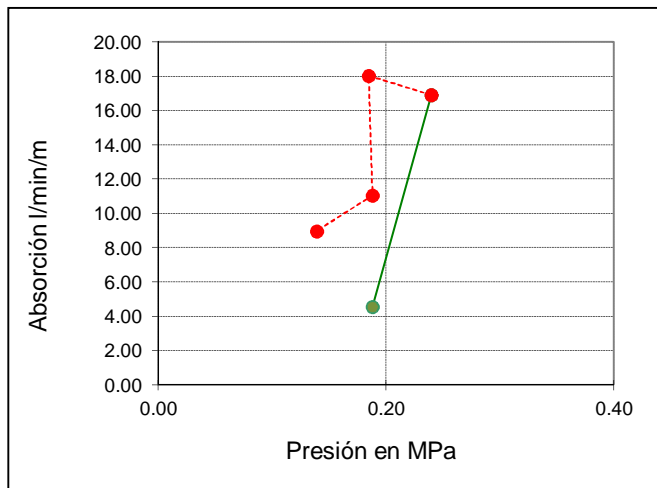
Alt. Manómetro: 2.30 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

pm MPa	pm + ph MPa	pf MPa	P		V l	A l/min/m
			MPa	kg/cm ²		
0.0981	0.1882	0.0000	0.1882	1.92	114	4.56
0.1962	0.2863	0.0465	0.2398	2.44	423	16.92
0.1472	0.2372	0.0522	0.1850	1.89	451	18.04
0.0981	0.1882	0.0000	0.1882	1.92	276	11.04
0.0491	0.1391	0.0000	0.1391	1.42	224	8.96
No aumenta presión, bomba a su máxima potencia.						

pm = presión manométrica
 ph = presión hidrostática
 pf = pérdidas por fricción

ABSORCIÓN: 16.92 l/min/m a 0.2398 MPa (2.44 kg/cm²)



RECUPERACION: 71%

RQD : 52%

LITOLOGIA : Caliza de grano fino
con fracturamiento abierto, presencia de fallas
y oquedad de 0.4 m

INTERPRETACION: Roca
Muy Permeable

— GAMA ASCENDENTE

- - - GAMA DESCENDENTE

PRUEBAS TIPO LUGEON HOJA DE CÁLCULO

PROYECTO: P. H. Chicoasén II

TRAMO:

BNO.: MI-29

DE: 70.00 A: 75.00 m

N. F.: 8.30 m INCL.: 60 °

Alt. Manómetro: 2.30 m

Tiempo de cada observación: 5.00 min.

