

II JORNADAS DE GEOLOGÍA DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

CONTRIBUCIÓN DE LA GEOLOGÍA EN OBRAS SUBTERRÁNEAS

Piero Feliziani S., Franco Urbani, Carlos Barrientos S. y Adrián Castillo Q.



Túnel Sanchon



Túnel Barbula

II JORNADAS DE GEOLOGÍA DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS CONTRIBUCIÓN DE LA GEOLOGÍA EN OBRAS SUBTERRÁNEAS

Piero Feliziani S., Franco Urbani, Carlos Barrientos S. y Adrián Castillo Q.

En la presente ponencia se exponen los resultados de dos casos relacionados con la presencia de fallas geológicas y sus implicaciones en el “*Sistema Ferroviario Central entre Puerto Cabello y La Encrucijada, Tramo Naguanagua-Morón*”. En efecto, desde el Sur hacia el Norte hay evidencias de cuatro (4) fallas regionales: Morón, El Cambur, Las Trincheras y Naguanagua, todas con dirección Este-Oeste; la línea del ferrocarril está orientada en sentido Norte-Sur lo que origina obligatoriamente sectores de cruce con sus respectivas implicaciones. El *primer caso* se refiere al “*Sistema de fallas de Morón*” y el *segundo* a la “*Zona de fallas de Las Trincheras*”.

En el *primer caso*, por tratarse de un sector de particular importancia desde el punto de vista de la *tectónica de placas* y de eventuales *movimientos neo-tectónicos* registrados a lo largo del *sistema*, se ha tratado de profundizar la investigación previa y sus implicaciones con respecto a los túneles Marroncito y Sanchón. Se han establecido criterios fundamentales de investigación y formulados conclusiones de importancia, con la finalidad de detectar tempranamente zonas que pudieran originar problemas durante el proceso de excavación y revestimiento de los túneles.

En el *segundo caso* se reportan los resultados de la investigación de carácter geológico realizada para tratar de interpretar geo-tectónicamente la problemática surgida en el túnel Bárbula a la altura de la zona de fallas de Las Trincheras lo cual ha causado una notable reducción en el programa de avance de excavación del mismo y hasta la propuesta de un cambio de alineamiento con una lógica pérdida económica y de tiempo. En ambos casos la geología ha aportado su cuota de colaboración en la búsqueda de una vía resolutoria ya sea desde el punto de vista económico que ingenieril.

TAREA DEL GEÓLOGO: Cualificar, calificar, evaluar

TAREA DEL INGENIERO PROYECTISTA: Cuantificar, medir, ponderar

Primer caso

FALLA DE MORÓN VS. TUNELES MARRONCITO Y SANCHÓN ESQUEMA DE TRABAJO

- FASE 1. Recopilación de la información previa
- FASE 2. Preparación de la base topográfica adecuada al estudio
- FASE 3. Actividad de campo
- FASE 4. Evaluación de los parámetros físicos que condicionan la estabilidad de los terrenos
- FASE 5. Ponderación de la estabilidad en general. Conclusiones
- FASE 6. Representación cartográfica concluyente

SE EJECUTÓ LA FASE 1 Recopilación de la información previa de tipo regional y local. Revisión del sector a investigar contenido en el estudio de la totalidad de la línea del ferrocarril, tramo Naguanagua–Morón, ejecutado para la compañía encargada de todo el proyecto.

SE EJECUTÓ LA FASE 3 Actividad de campo
FASES 4 – 5 – 6 Evaluación, Ponderación, Conclusiones y Representación cartográfica

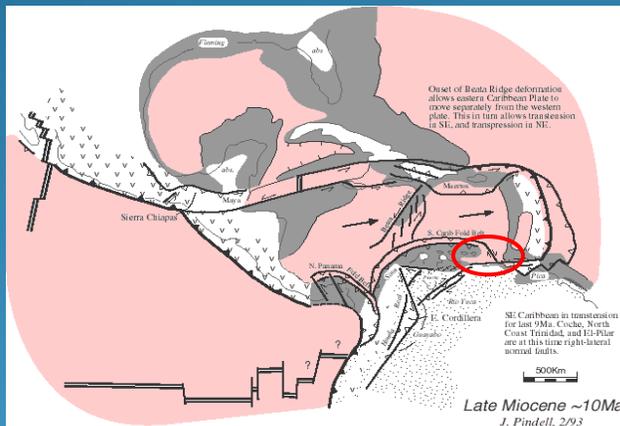
GENERALIDADES

La investigación realizada para llevar a cabo el actual estudio ha producido, como era de esperarse, algunos ajustes relativos sobre todo a contactos formacionales, ubicación de fallas y obviamente ha despejado el elemento de mayor importancia relativo a la eventual actividad del sistema de fallas de Morón asociadas a la Tectónica de Placas y más específicamente a la *interacción de las placas "Caribe y Sur Americana"*.

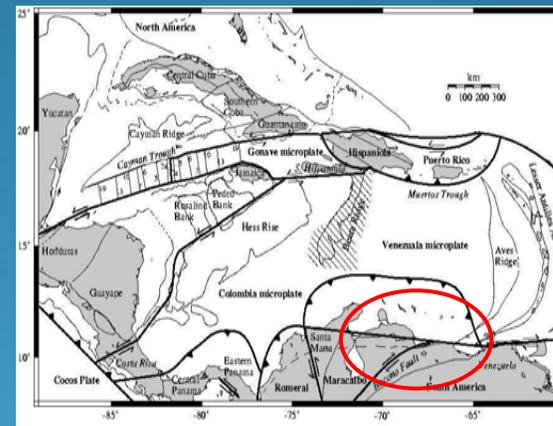
De acuerdo con los alcances del estudio geológico se han podido establecer criterios fundamentales de investigación y formular conclusiones de importancia para los propósitos del mismo y sobre todo con la finalidad de detectar tempranamente zonas que pudieran originar problemas durante el proceso de excavación y revestimiento de los túneles.

FASE 1 - RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN PREVIA

Por tratarse de un sector de particular importancia desde el punto de vista de la *tectónica de placa* y de eventuales *movimientos neo-tectónicos* registrados a lo largo del *sistema*, se ha efectuado una minuciosa investigación bibliográfica referente a este complejo sistema mediante la cual se ha llegado a resultados concluyentes al respecto.



Interacción Caribe – Sur América hace 10 millones de años (Tomado de Pindell 1993).

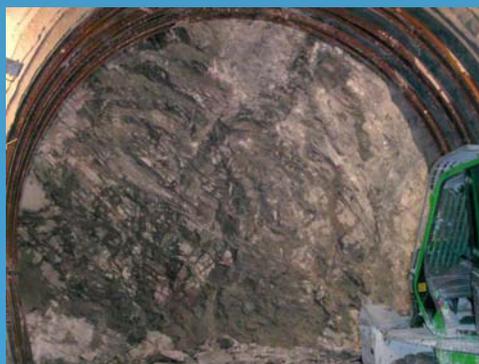


Configuración actual de la interacción Caribe – Sur América.

FASE 3 - ACTIVIDAD DE CAMPO

Se han levantados puntos de observaciones adicionales tomando muestras de mano para ulteriores análisis petrográficos tales que pudieran definir a nivel microscópico indicios estructurales y variaciones mineralógicas acordes o menos con las observaciones macroscópicas obtenidas en campo y por fotointerpretación.

A lo largo del tramo en estudio y de Norte hacia el Sur (*progresiva 0+000 hasta la progresiva 7+000*) se reconocen progresivamente una serie de asociaciones litológicas, bastante complejas para los efectos de la obra (túneles), identificadas como sedimentos cuaternario pleistocénicos y holocénicos de tipo aluvial, rocas metamórficas altamente perturbadas por efectos de un metamorfismo cataclástico asociado con el sistema de fallas de Morón, definida como Zona Cataclástica; esquistos anfibólico-moscovítico-plagioclásico-epidóticos; gneises y esquistos feldespáticos; anfibolitas y mármoles, intercalados por capas de esquistos cuarzo-plagioclásico-moscovíticos de grano grueso y cuarcitas.



FASES 4 – 5 – 6 EVALUACIÓN, PONDERACIÓN, CONCLUSIONES Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

Los resultados de los estudios petrográficos revelan que, al menos en las rocas estudiadas, no hay evidencias que muestren que éstas hayan sido sometidas a esfuerzos que causaran cizallamientos o fracturas generalizadas a nivel microscópico. Con este resultado puede interpretarse que las rocas no han sido sometidas a efectos compresivos generalizados significativos de tipo neotectónico.

La región de estudio, como toda la Cordillera de la Costa, es tectónicamente activa, pero las acciones de los esfuerzos están fundamentalmente expresadas específicamente en las zonas de fallas, no siendo lo suficientemente intensos como para afectar extensiva y ampliamente el macizo rocoso, al menos a escala visible o con microscopio óptico.

En el informe geológico previo el contacto entre diversas unidades se había indicado como fallas de corrimiento. De hecho dichos contactos son definitivamente de ese tipo cuando se habla en términos de la geología regional de la Cordillera de la Costa, pero esos contactos vistos en detalle, se presentan como concordantes y a veces muestran hasta cierto grado de transicionalidad o alternancia de litologías. Esto es debido a que los corrimientos ocurrieron debido a la interacción de las placas Caribe con la Suramericana, en tiempo del Cretácico Tardío al Terciario temprano y posteriormente fueron sobreimpresas por un metamorfismo regional en la facies de los esquistos verdes, por consiguiente cualquier efecto de zonas de debilidad en ellas ha sido recrystalizado y "cicatrizado", por tanto no deben ser considerados como zonas problemáticas desde el punto de vista geotécnico en la parte constructiva de los túneles con la sola excepción del estado físico de los materiales.

(sigue)

Tabla Resumen - ESTUDIO GEOLOGICO DEL SISTEMA DE FALLAS DE MORÓN

PLANTO DE OBSERVACION	FOLIACION FALLAS Y FUEGOS	ESCALA, ORIENTACION Y EXPOSICION	COORDENADAS UTM	ESCALA	DESCRIPCION DEL ESTADO DE LAS FALLAS Y FUEGOS	FOTO DEL AFILORAMIENTO	PETROGRAFIA % DE MINERALES	FOTO DE LA PETROGRAFIA
1	FyH10-011A FyH10-011B FyH10-011C	20:00 20:00 20:00	20:00 20:00 20:00	1:1 1:1 1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
2	FyH10-012	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
3	FyH10-013	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
4	FyH10-014	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
5	FyH10-015	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
6	FyH10-016	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
7	FyH10-017	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			

PLANTO DE OBSERVACION	FOLIACION FALLAS Y FUEGOS	ESCALA, ORIENTACION Y EXPOSICION	COORDENADAS UTM	ESCALA	DESCRIPCION DEL ESTADO DE LAS FALLAS Y FUEGOS	FOTO DEL AFILORAMIENTO	PETROGRAFIA % DE MINERALES	FOTO DE LA PETROGRAFIA
8	FyH10-018	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
9	FyH10-019	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
10	FyH10-020	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
11	FyH10-021	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
12	FyH10-022	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
13	FyH10-023	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			
14	FyH10-024	20:00	20:00	1:1	Esquistos cuarcíticos Foliosos de inclinación E. 300° N a 1150° E Dip. 30° N			

FASES 4 – 5 – 6 **EVALUACIÓN, PONDERACIÓN, CONCLUSIONES Y REPRESENTACIÓN** CARTOGRÁFICA

La región norte de Venezuela constituida por las montañas de Falcón, la Cordillera de la Costa y todo el macizo montañoso Oriental con sus penínsulas de Araya y Paria, se encuentran incluidas en la zona de interacción entre las placas Caribe y Sur Americana.

En los primeros modelos simplísticos se interpretaba la interacción entre las dos placas, como una simple falla transformal que generalmente se asumía era el conjunto de fallas de Morón - San Sebastián - El Pilar. Pero desde los trabajos de R. C. Speed y R. M. Russo de 1992, se acepta que la interacción entre estas dos placas es algo mucho más complejo y corresponde a una colisión oblicua, es decir que el desplazamiento relativo entre ambas placas no es simplemente un deslizamiento relativo Este-Oeste, sino que la Placa Caribe tiene un movimiento relativo hacia el SE con respecto a Sur América, con movimiento relativo hacia el Oeste.

Esta última concepción muestra entonces que la interacción o “contacto” entre ambas placas no corresponda a una falla en particular, sino que la energía se disipa en una amplia zona de deformación de varios centenares de kilómetros de ancho, que va desde las elevaciones submarinas al norte de las islas de Curazao y Aruba, hasta tierra adentro en la zona de Calabozo y los llanos centrales Venezolanos.

(sigue)

FASES 4 – 5 – 6 EVALUACIÓN, PONDERACIÓN, CONCLUSIONES Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

LA FALLA DE MORÓN

En el extremo norte de la zona en estudio se ubica la traza de la Falla de Morón. Esta importante falla tectónica aparece en la región donde se intersectan dos de los principales sistemas de fallas de Venezuela.

La falla de Boconó con rumbo Suroeste - Noreste se inicia en el estado Táchira, cruza toda la Cordillera de Mérida, y al llegar a la costa Caribeña se curva hacia el Este, conectándose al norte de la zona de estudio, con el sistema de fallas de Oca – Ancón con rumbo ONO – ESE que comienza en la Goajira Colombiana y cruza todo el estado Falcón. Después de tal unión el sistema de fallas adquiere un rumbo Oeste - Este y se denomina como Sistema de Fallas de San Sebastián – El Pilar.

Entonces la falla de Morón en particular es el resultado de la conexión entre las fallas de Bocono y San Sebastián. El geólogo Carlos Schubert (1983) fue el primero en estudiarla en detalle y también es el primero en denominarla de esta manera. De hecho esta falla es paralela a la actual traza activa de la falla de Boconó, y dependiendo de la perspectiva de observación podría considerarse tanto como una de las terminaciones nororientales del sistema de fallas de Boconó, como una de las terminaciones occidentales de la falla de San Sebastián, simplemente porque forman un continuo. Más recientemente personal de FUNVISIS estudió la región para fines de neotectónica y riesgo sísmico. Entre ellos Casas (1992, 1995) realiza un extenso y detallado trabajo de campo en la región, con especial énfasis en las estructuras geológicas (especialmente fallas) que afectan a los sedimentos Cuaternarios, a fin de definir la cronología de los eventos y actividad de las fallas.

Existe una compleja relación entre las distintas fallas de la región. De manera que el amplio valle de estado Yaracuy entre Yaritagua – San Felipe y la costa, precisamente es un valle tectónico formado como consecuencia de los movimientos tanto transcurrentes dextrales, como verticales de las fallas de Boconó propiamente dicha y la falla de Morón.

Ambas fallas actualmente se conectan por la falla de El Guayabo y aún más al Norte de la falla de Boconó propiamente dicha, pero formando parte del mismo sistema, se encuentra la Falla de Palo Quemado, cuya traza visible también termina al llegar a la costa.

(sigue)

FASES 4 – 5 – 6 EVALUACIÓN, PONDERACIÓN, CONCLUSIONES Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

Según los trabajos detallados de FUNVISIS en el campo de la neotectónica y sismicidad (Casas A. M. 1992, 1995) en la misma zona de estudio, además de los estudios de campo propios del presente trabajo, se concluye que la falla de Morón, es la estructura geológica más importante en el tramo de Puerto Cabello – El Palito del actual proyecto ferrocarrilero de IAFE.

Esta falla es la terminación Occidental del sistema de fallas de San Sebastián – El Pilar, la misma tuvo actividad en el Mioceno tardío-Plioceno (entre unos 10 y 4 millones de años atrás), quizás hasta el Pleistoceno temprano, pero no hay evidencias que haya tenido movimiento desde el Pleistoceno tardío hasta hoy en día.

En los trabajos de campo realizados por los autores también se puso especial énfasis en verificar los afloramientos de las unidades sedimentarias al norte de la citada falla, e igualmente no se observaron evidencias de corte de los mismos, con lo cual nuestras observaciones concuerdan con aquellas de Casas (1992, 1995).

Como consecuencia de lo anterior, la existencia de la traza de la falla de Morón (actualmente inactiva) ubicada prácticamente en el mismo sitio del portal norte del Túnel Marroncito, y de ahí hasta Puerto Cabello, no parece ser un factor de relevancia desde un punto de vista ingenieril para el proyecto ferrocarrilero, más allá de que se hayan tomado en consideración en el proyecto el marco lito-estructural, estado físico de los materiales y los factores de seguridad para construcciones sismo-resistentes, por estar la zona ubicada en una de las regiones de mayor sismicidad del país.

Segundo caso

INTERSECCIÓN DE LA FALLA REGIONAL DE LAS TRINCHERAS

**ESTUDIO DE PROFUNDIZACIÓN SOBRE LOS ASPECTOS GEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS Y
RESPECTIVAS CONSECUENCIAS SOBRE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL.**



GENERALIDADES

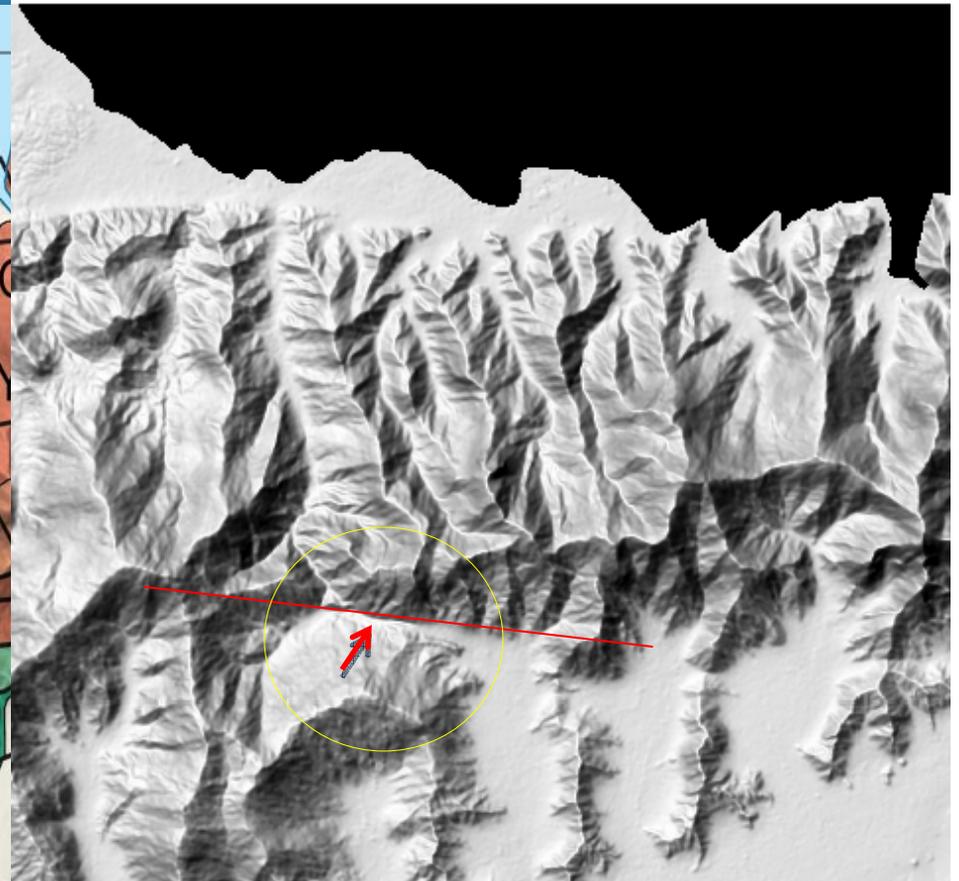
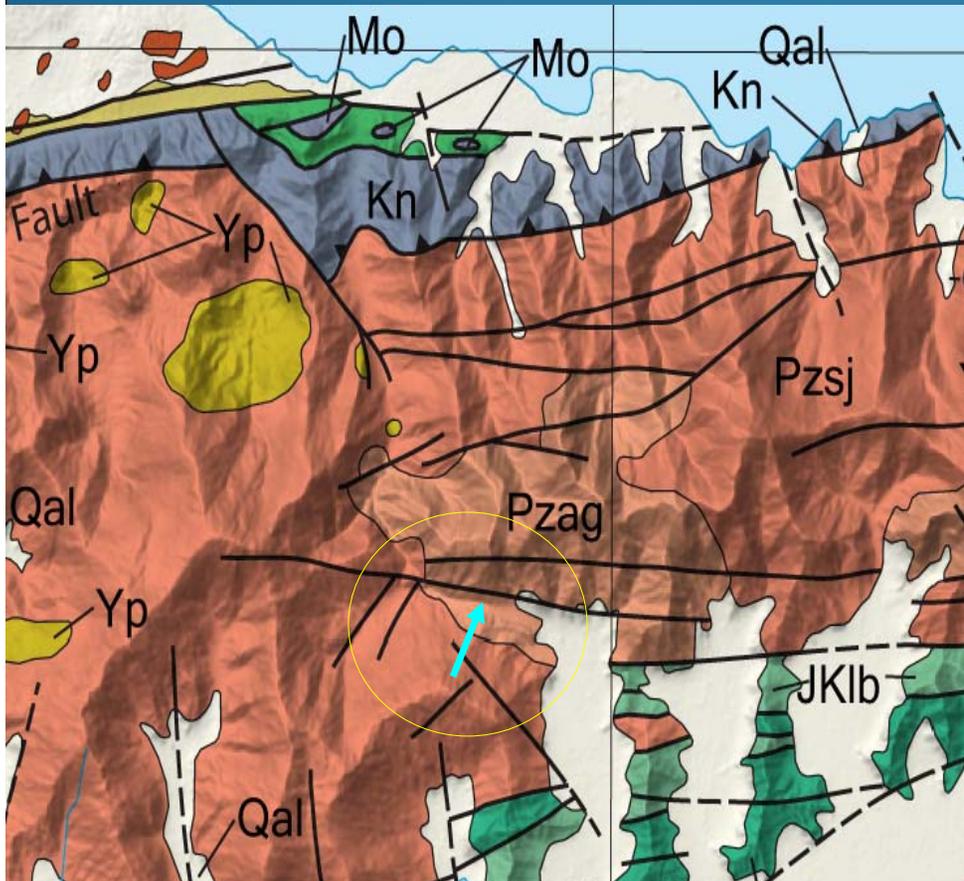
En el mes de Junio del 2007, en proximidad de la progresiva 27+324, el frente de excavación del Túnel Bárbula entraba en contacto en forma casi ortogonal con la mencionada falla regional cuyo rumbo aproximado es $N70^{\circ} - 80^{\circ}W$. Debido al espesor de la falla, la intersección (túnel-traza principal de la Falla) se extendió por aproximadamente 50 metros lineales de túnel, lo cual conllevó a una notable reducción de la velocidad de avance por la implementación de las necesarias medidas de estabilización de la excavación (*ver Informe anexo del Constructor “Túnel Bárbula 2, condiciones geológicas atípicas, fenómeno de convergencias inesperadas”*).

Marco geológico regional

Fragmento del mapa de HACKLEY *et al.* (2006).

Falla de las Trincheras y ubicación del sitio de cruce por el túnel Bárbula

Modelo digital de elevación.
Misión SRTM-NASA.
Tomado de GARRITY *et al.* (2004)



ANTECEDENTES

Estudios previos llevados a cabo en años anteriores :

(1) *“Geología de Superficie, Tramo La Encrucijada – El Palito” a escala 1:25.000, abril 2002, Autor Ing. Mario Vignali.*

2) *“Estudio de amenaza sísmica para el tramo ferroviario Valles del Tuy – Puerto Cabello”, Autor José Grases.*

(3) *“Informe geológico-geomorfológico de superficie, ferrocarril La Encrucijada – Morón, Tramo Naguanagua – Morón“ a escala 1:2.500 (progresivas 26+800 – 28+300)”, año 2002 – 2003, Autor Geología 2.000, C.A.*

2) *“Estudio de amenaza sísmica para el tramo ferroviario Valles del Tuy – Puerto Cabello”*, Autor José Grases.

- Las evidencias geomorfológicas diagnósticas de actividad cuaternaria son escasas y poco convincentes. Tal escasez de evidencias puede ser producto de una baja actividad de la falla en comparación con las tasas de sedimentación de los depósitos piemontinos asociados, debajo de los cuales la falla seguramente se encuentra sepultada.

(3) “Informe geológico-geomorfológico de superficie, ferrocarril La Encrucijada – Morón, Tramo Naguanagua – Morón“ a escala 1:2.500 (progresivas 26+800 – 28+300)”, año 2002 – 2003, Autor Geología 2.000, C.A.

.....Finalmente, con la ayuda de la fotointerpretación de pares estereoscópicos, se han podido cartografiar algunos importantes fotolineamientos sub-verticales representativos de accidentes estructurales de cierta importancia (fallas y/o diaclasado de tipo regional) con direcciones preferenciales Noroeste-Sureste y Este-Oeste, que se asocian al sistema de fallas, y otros con dirección Norte-Sur Noreste-Suroeste los cuales, en líneas generales, corresponden a las orientaciones de las discontinuidades de mayor importancia detectados directamente en el campo. Como se mencionó en el informe anterior (tramo 28+000 – 30+000), hay que enfatizar en el hecho de que el túnel, hasta la progresiva 29+000 sigue prácticamente atrapado entre los dos importantes patrones de fallas regionales, el primero con rumbo aproximado N80°W, al Norte, y el segundo con rumbo aproximado N50°W, al Sur, lo cual puede significar en el seno del macizo rocoso cierto desmejorando en la calidad de los materiales y por ende su respuesta geotécnica.

En el informe del Constructor se reportan las condiciones críticas de excavación, las acciones tomadas y a tomar, en las cuales se enfatizan algunas perforaciones horizontales con recuperación de núcleos, la primera frontal y la segunda en dirección Sur y una investigación geológica de mayor detalle del sector.

También hay que considerar que el presente tramo de montaña une la Estación Naguanagua, ubicada en proximidad de la Av. Universidad de Naguanagua, y el punto de intersección con la línea existente Morón - Puerto Cabello en localidad El Palito. La necesidad de conectar estos dos puntos, entre los cuales se define una directriz Norte-Sur, obliga el trazado a cruzar tres importantes fallas de tipo regional: la de Morón, del Cambur y de Las Trincheras, todas con directriz Este-Oeste.

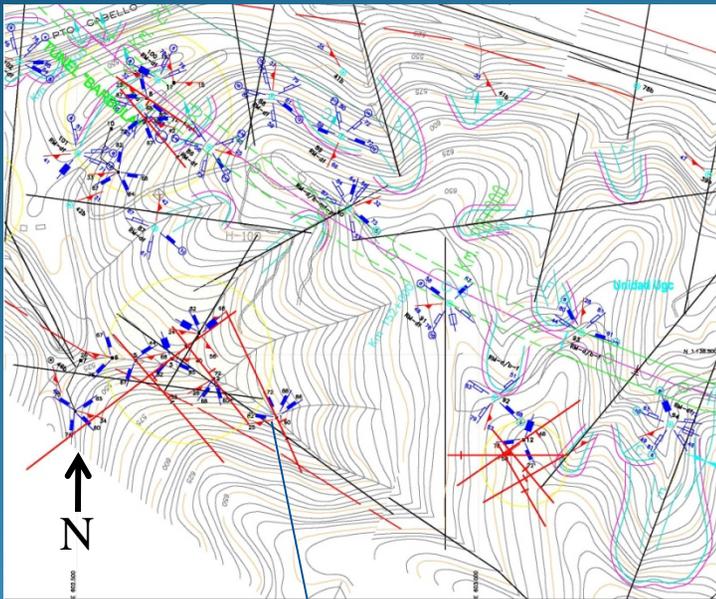
En el informe del Constructor se plantean tres (3) soluciones relacionadas con posibles cambios de trazado, la primera hacia el Norte, y las otras hacia el Sur. La primera (desvío hacia el Norte) no pareció ser recomendable porque implicaría el abandono de un largo trayecto de túnel (de 600 hasta 1.500 metros) y un nuevo atravesamiento de la misma falla más adelante y probablemente con mayores dificultades.

Un nuevo trazado hacia el Sur, con la finalidad de alejarse de la falla de Las Trincheras, ha sido el motivo de esta nueva investigación mediante la cual se trató de averiguar con un mayor nivel de detalle las condiciones de sitio y decidir la conveniencia o no del cambio planteado.

Frente de excavación, cuando se realizaban los sondeos



Evidencia de falla encontradas en campo



Quebrada al Sur del
alineamiento



Plano de falla

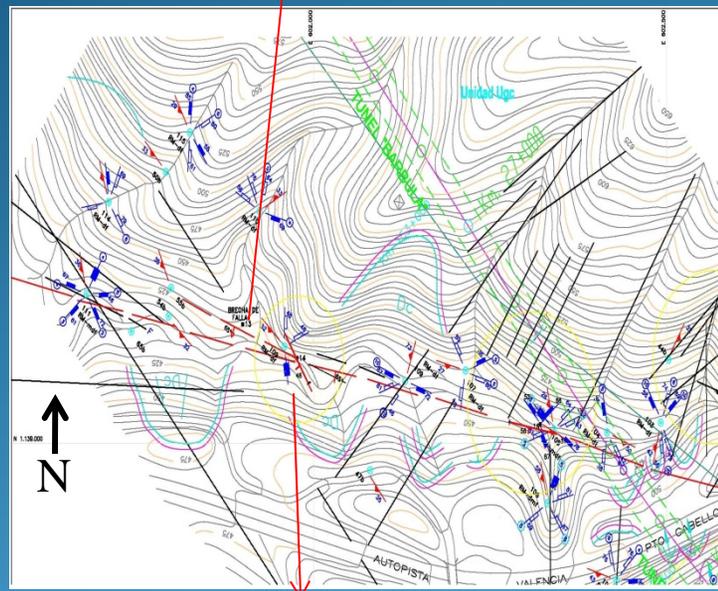


Plano de falla y
estrías de falla



Evidencia de falla encontradas en campo

LA FALLA REGIONAL DE LAS TRINCHERAS.



Río aguas calientes

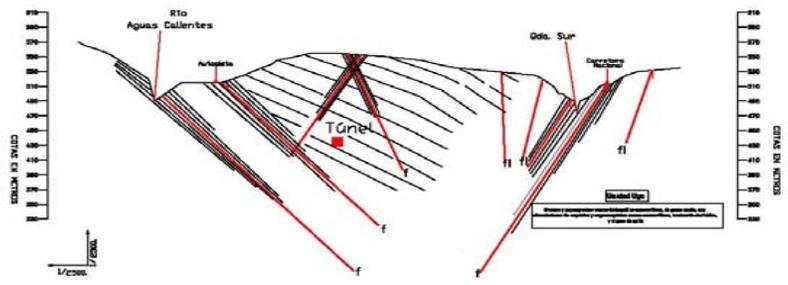
Brecha de falla de las Trincheras



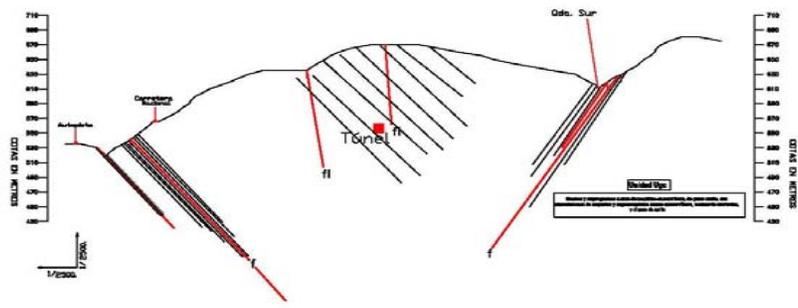
Plano de falla de las Trincheras



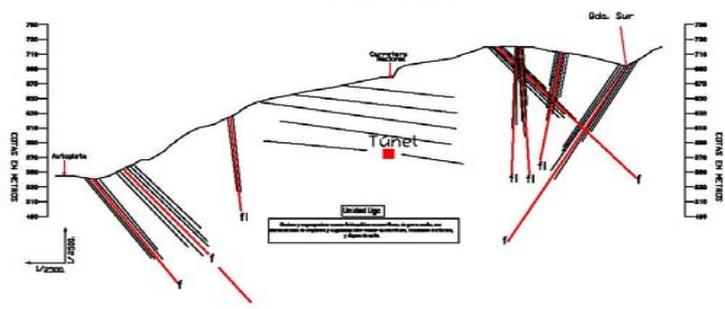
PERFIL A-A'
PROGRESIVA 27+504



PERFIL B-B'
PROGRESIVA 28+000



PERFIL C-C'
PROGRESIVA 28+150



CONCLUSIONES

- Previamente a cualquier comentario o consideraciones finales, es oportuno precisar que los argumentos reportados en el presente informe pueden presentar ciertas imprecisiones debido a la naturaleza del problema y más bien ser consideradas de carácter circunstancial debido a que no responden a un estricto formulismo matemático sino más bien a una hipótesis geológica que puede encerrar cambios a veces impredecibles aún cuando se hayan agotados los recursos técnicos disponibles propios de las herramientas de la geología de superficie e de interpretaciones estructurales.
- A la luz de todas las observaciones reportadas en informes previos a la problemática surgida y a las recabadas en campo durante la presente investigación, hay que comentar algo sobre las propuestas adelantadas en fase de discusiones previas al presente estudio.
- No se ha considerado conveniente realizar perforaciones verticales a lo largo de la falla de Las Trincheras ya que los tiempos de ejecución y los respectivos resultados no habrían aportado mayores testimonios con relación a lo observado directamente en campo, sobre todo en relación a la ubicación de la traza principal.
- Por el contrario las perforaciones horizontales realizadas a partir del actual frente de excavación han aportados datos precisos sobre las características lito-estructurales de los próximos cincuenta (50) metros de excavación. A tal efecto hay que señalar que los datos conseguidos a través de la geología de superficie reflejan situaciones similares en el sentido que el macizo rocoso debería presentar materiales competentes con intercalaciones esporádicas de sectores reducidos menos competentes relacionados con el marco estructural ampliamente descrito. Hay que considerar que los afloramientos detectados en superficie, a pesar de los procesos de meteorización a los cuales han sido sometidos, presentan siempre una condición de rocas competentes afectadas por un típico marco estructural característico de esta área. En consecuencia la situación actual debería ir mejorando a muy corto plazo y a medida que el trazado se vaya alejando del sector crítico como en realidad lo revela el resultado de las dos perforaciones (*ver anexo relativo a la interpretación de las perforaciones, con gráficos y documentación fotográfica*).
- En lo referente al cambio del trazado, no se encuentran en la actualidad testimonios de peso que justifiquen tal decisión. Aparentemente el trazado se está alejando paulatinamente del sector conflictivo y solamente podrían aparecer situaciones localmente problemáticas típicas de esta área y muy conocidas por el Constructor y que representan una normal rutina en la realización de obra de esta naturaleza.

CONCLUSIONES

- Se debe inferir que en efecto, el fenómeno de convergencia observado en el túnel, a pesar de las relevantes consecuencias en términos de rendimiento de excavación, no está asociado a sollicitaciones de magnitudes incontrolables. Las convergencias nunca han llegado a gradientes superiores a unas decenas de mm/día, y han podido ser controladas en forma segura con integraciones menores del soporte previsto según la metodología de monitoreo y seguimiento y igualmente prevista (*ver el informe del Constructor, ya citado*)
- De acuerdo con la investigación de campo realizada y los resultados obtenidos a través de las perforaciones horizontales, puede afirmarse que, aunque el fenómeno ha suscitado una fuerte preocupación por el bajo rendimiento que conllevan las aplicaciones de las medidas anti-convergencias y por la extensión de la influencia, los aproximadamente doscientos metros problemáticos pueden todavía clasificarse como una situación de carácter local y controlable.
- Para una mejor seguridad de previsión sobre las condiciones de sitio que se irán encontrando durante la futura excavación, sería conveniente seguir ensayando previamente mediante perforaciones horizontales en el frente de excavación hasta tanto estar convencidos que el problema mayor se ha definitiva y paulatinamente alejado.
- Considerando las condiciones de sitio de las dos fallas de mayor importancia, cuyos buzamientos convergen ambos hacia el trazado del ferrocarril y con buzamientos semejantes, se ha llegado a la conclusión que el trazado original en líneas generales se encuentra aparentemente en la mejor ubicación, motivo por el cual no se considera oportuno pensar en moverlo hacia un lado u otro. Actualmente la línea corre en un sector intermedio y está alejada de ambas fallas por lo menos unos doscientos cincuenta (250) metros, distancia que, según las previsiones debería seguir creciendo paulatinamente. La situación planteada no descarta de manera categórica otros eventuales problemas relacionados con un marco estructural conformado por familias de diaclasas, fallas locales y pliegues la mayoría de los cuales el trazado propuesto atravesaría ortogonalmente de acuerdo con los criterios básicos que deben definir en primera aproximación un eventual diseño de ruta.

Sondeo n° 1

Geología 2000 e.a.

EMPRESA: IMPREGILO		DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada	
SONDEO N°	PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada	LOCALIZACIÓN: Tónel Bórbula, frente sur (hacia Valencia)	PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500
FECHA: 30/04/2008	PROFUNDIDAD: 0 a 33,31 metros	HOJA: 01 de 04	
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	MUESTRAS	CONDICIÓN DE LA ROCA
0		RECUP. (%)	ROD. (%)
0		20 40 60 80 100	20 40 60 80 100
2,50	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
2,50			
2,50			
3,39	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
3,39			
2,61	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
2,61			
6,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
6,00			
1,50	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
1,50			
2,80	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
2,80			
8,40	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
8,40			
1,20	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
1,20			
9,60	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
9,60			
1,20	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
1,20			
10,80	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
10,80			
1,20	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
1,20			
12,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
12,00			
2,05	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
2,05			
15,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
15,00			
3,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
3,00			
17,00	Arena cuarzosa feldespática grano grueso. Color gris claro.		
17,00			
2,85	Arena cuarzosa feldespática grano grueso. Color gris claro.		
2,85			
20,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado con arena cuarzosa. Color gris claro.		
20,00			
1,50	Gneis Qz-feldespático muy fracturado con arena cuarzosa. Color gris claro.		
1,50			
21,50	Gneis Qz-feldespático muy fracturado con arena cuarzosa. Color gris claro.		
21,50			
2,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado con arena cuarzosa. Color gris claro.		
2,00			
23,50	Arena cuarzosa feldespática grano grueso. Color gris claro.		
23,50			
2,00	Arena cuarzosa feldespática grano grueso. Color gris claro.		
2,00			
25,50	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
25,50			
2,00	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.		
2,00			
27,60	Gneis Qz-feldespático muy fracturado y augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado Ambos de color gris claro.		
27,60			
1,78	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
1,78			
28,28	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
28,28			
1,88	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
1,88			
31,18	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
31,18			
1,07	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
1,07			
32,81	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
32,81			
1,09	Augenítico Qz-feldespático-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.		
1,09			
33,31			

OBSERVACIONES:

MI: MUESTRA INALTERADA RSF: Roca Sana fracturada
 MA: MUESTRA ALTERADA MNC: MUESTRA NO CONSOLIDADA
 RMF: Roca Metamorfizada fracturada NF: NIVEL FREÁTICO
 Elaborado por: Ing. Mario Hernández / TSV Juan Rosales Revisado por: Geol. Juan Silva

EMPRESA: IMPREGILO		DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada	
SONDEO N°	PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada	LOCALIZACIÓN: Tónel Bórbula, frente sur (hacia Valencia)	PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500
FECHA: 02/06/2008	PROFUNDIDAD: 33,31 a 46,60 m.	HOJA: 03 de 04	
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	MUESTRAS	CONDICIÓN DE LA ROCA
0		RECUP. (%)	ROD. (%)
0		20 40 60 80 100	20 40 60 80 100
33,31	Augenítico Qz-feldespático, fracturado. Fresco. Gris.		
34,21	Augenítico Qz-feldespático, fracturado.		
35,31	Augenítico Qz-feldespático, fracturado.		
36,71	Augenítico Qz-feldespático, fracturado. Color gris claro.		
36,71	Augenítico Qz-feldespático micáceo. Fracturado, no metamorfizado (fresco) Color gris claro con partes verticales.		
37,71	Augenítico Qz-feldespático micáceo, fracturado. Fresco. Gris.		
40,68	Augenítico Qz-feldespático micáceo. Fracturado, fresco. Color gris claro.		
42,58	Augenítico Qz-feldespático micáceo, fracturado. Fresco.		
43,48	Augenítico Qz-feldespático micáceo, fracturado. Fresco.		
45,71	Augenítico Qz-micáceo feldespático, muy fracturado, color gris claro Roca fresco.		
47,80	Augenítico Qz-micáceo feldespático, muy fracturado, color gris claro Roca fresco.		
48,80	Augenítico Qz-micáceo feldespático, fracturado de color gris claro.		
51,10	Augenítico Qz-micáceo feldespático, fracturado de color gris claro.		
52,60	Augenítico Qz-micáceo feldespático, fracturado de color gris claro.		
54,10	Augenítico Qz-micáceo feldespático, fracturado de color gris claro.		
55,50			

OBSERVACIONES:

MI: MUESTRA INALTERADA RSF: Roca Sana fracturada
 MA: MUESTRA ALTERADA MNC: MUESTRA NO CONSOLIDADA
 RMF: Roca Metamorfizada fracturada NF: NIVEL FREÁTICO
 Elaborado por: Ing. Mario Hernández / TSV Juan Rosales Revisado por: Geol. Juan Silva



Sondeo n° 2

Geología 2000 e.a.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
EMPRESA: MPREGILLO	PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada						
SONDEO N° 2	LOCALIZACIÓN: Túnel Bárbula, frente sur (hacia Valencia)						
FECHA: 06/05/2008	PROFUNDIDAD: 0 a 16,00 metros						
PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500							
HOJA: 01 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	MUESTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICIÓN FÍSICA DE LA ROCA	DISCONTINUIDAD	NOTAS OBSERVACIONES
0							
3,00	Sin información						No se recuperó muestra
4,50	Gneis Qz-micáceo-feldespático, fracturado, color gris claro.		22	0			
5,75	Gneis Qz-micáceo-feldespático, fracturado, color gris claro.		44	0			
7,25	Gneis Qz-micáceo-feldespático, fracturado, color gris claro.		30	13			
9,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.		68	23			
11,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.		50	0			
12,50	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.		43	7			
14,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			30			
16,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			33			
OBSERVACIONES							
MI: MUESTRA INALTERADA		RSF: Roca Sana fracturada					
MA: MUESTRA ALTERADA		MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA					
RMF: Roca Meteorizada fracturada		NF: NIVEL FREÁTICO					
Elaborado por: Ing. Marco Hernández / TSU Jesús Rosales		Revisado por: Geol. Juan Silva					
Ing. Francisco Averado / TSU Jesús Mancazo							

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
EMPRESA: MPREGILLO	PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada						
SONDEO N° 2	LOCALIZACIÓN: Túnel Bárbula, frente sur (hacia Valencia)						
FECHA: 06/05/2008	PROFUNDIDAD: 16,00 a 32,45 m.						
PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500							
HOJA: 02 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	MUESTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICIÓN FÍSICA DE LA ROCA	DISCONTINUIDAD	NOTAS OBSERVACIONES
16,00							
2,60	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.		13	0			
18,60							
2,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático, fracturado, color gris claro.			12			
20,60							
0,90	Gneis Qz-mic-feld con intercalaciones de augengneis Qz-feld, fracturado, color gris claro. Arena de 20,6 a 20,7.			31			
21,50							
2,00	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			60			
23,50							
2,50	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			80			
28,00							
1,75	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			40			
27,75							
1,80	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			75			
28,55							
1,10	Gneis Qz-mic-feld con intercalaciones de augengneis Qz-feld, fracturado, color gris claro.			10			
30,65							
1,80	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático, fracturado, color gris claro.			15			
32,45							
32,45	Gneis Qz-micáceo-feldespático, de color gris.		35	0			
33,35							
1,65	Gneis Qz-micáceo-feldespático con intercalaciones de augengneis Qz-feldespático de color gris claro.			36			
35,00							
OBSERVACIONES: Posible zona de falla entre 20,60 m. a 20,70 m.							
MI: MUESTRA INALTERADA		RSF: Roca Sana fracturada					
MA: MUESTRA ALTERADA		MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA					
RMF: Roca Meteorizada fracturada		NF: NIVEL FREÁTICO					
Elaborado por: Ing. Marco Hernández / TSU Jesús Rosales		Revisado por: Geol. Juan Silva					
Ing. Francisco Averado / TSU Jesús Mancazo							





Gracias