

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 Bárbara 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

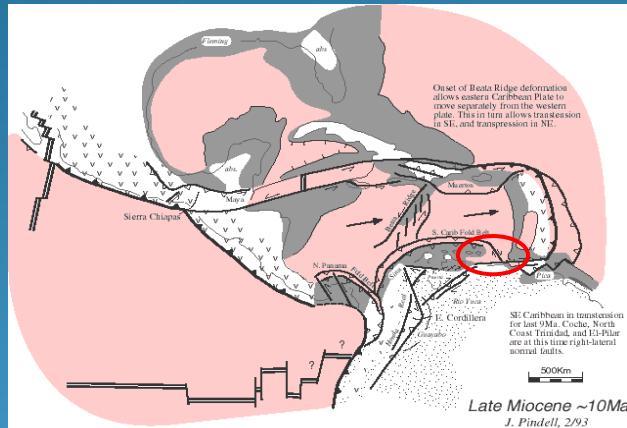
GENERALIDADES

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”*.

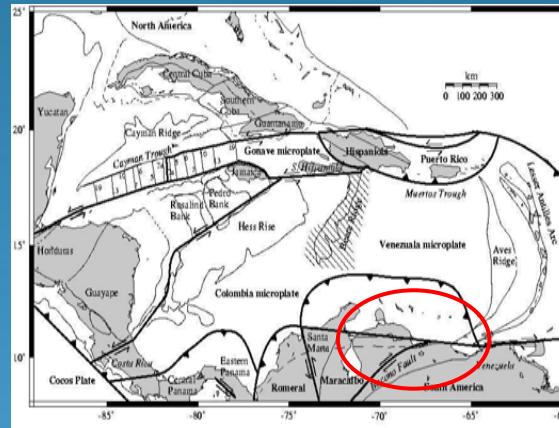
De acuerdo con los alcances del estudio geológico se han podido establecer criterios fundamentales de investigación y formular conclusiones de importancia para los propósitos del mismo y sobre todo con la finalidad de detectar tempranamente zonas que pudieran originar problemas durante el proceso de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

FASE 1 - RECOPILACIÓN 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).

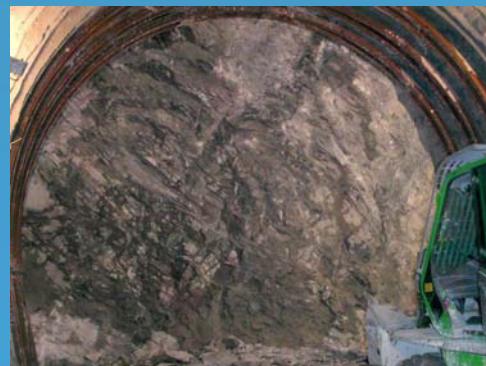


Configuración actual de la interacción Caribe – Sur América.

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 recristalizado 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 GEOLÓGICO DEL SISTEMA DE FALLAS DE MORÓN			
PLATO DE OBSERVACIÓN	POSICIÓN FALLA Y DIRECCIÓN	DIÁLOGO COMENTARIO Y DESCRIPCIÓN	Altitud (M.s.n.m.)
1	Fallón de Morón F1=H102-401 D1=D102-401 D2=D102-402 D3=D102-403	33.37 20.60 8.11 Fase de excavación F1=H102-401 D1=D102-401 D2=D102-402 D3=D102-403	308.98 308.98 6.71 20.44 70.44
2	F1=H102-406 D1=D102-406 D2=D102-406 D3=D102-406	165.66 291.99 8.11 Fase de excavación F1=H102-406 D1=D102-406 D2=D102-406 D3=D102-406	304.42 294.42 +0.11
3	F1=H102-409 D1=D102-409 D2=D102-409 D3=D102-409	49.24 291.99 8.11 Fase de excavación F1=H102-409 D1=D102-409 D2=D102-409 D3=D102-409	304.42 294.42 +0.11
4	Fallón W-200 F1=H202-403 D1=D202-403 D2=D202-403	33.47 236.58 4.12 Fase de excavación F1=H202-403 D1=D202-403 D2=D202-403	304.42 304.42 +0.11
5	Fallón W-200 F1=H202-405 D1=D202-405 D2=D202-405	71.06 236.45 8.11 Fase de excavación F1=H202-405 D1=D202-405 D2=D202-405	304.42 304.42 +0.11
6		Existe cuarzo-micasita y feldespato granofílico entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.	
7	Fallón W-200 F1=H202-407 D1=D202-407 D2=D202-407	75.12 291.42 8.11 Fase de excavación F1=H202-407 D1=D202-407 D2=D202-407	304.42 304.42 +0.11

PUNTO DE OBSERVACIÓN	POSICIÓN FALLA Y DIFUSORES	DIAGNÓSTICO CON LA Y DIFUSORES	Altitud (M.s.n.m.)	Asociación litológica, estado de roca y otras observaciones de campo	FOTO DEL AFLORAMIENTO	PETROGRAFÍA % DE MINERALES	FOTO DE LA PETROGRAFÍA
8	F1=H302-281 D1=H302-405 D2=H302-405 D3=H302-405	125.28 110.85 8.11 Fase de excavación F1=H302-281 D1=H302-405 D2=H302-405 D3=H302-405	70-82 70-82 2.1	Existe cuarzo-micasita y feldespato granofílico entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			
9	D1=H40-406	0-88		Existe cuarzo-micasita y feldespato granofílico entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			
10	F1=H202-201 D1=H202-201 D2=H202-201 D3=H202-201	70-20 350.70 350.70 2.11 Fase de excavación F1=H202-201 D1=H202-201 D2=H202-201 D3=H202-201	220-45	Existe cuarzo-micasita y feldespato granofílico entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			
11				Gres cuarzo-micasita. F1=H202-201 D1=H202-201			
12	F1=H202-411 D1=H202-411 D2=H202-411 D3=H202-411	3-41 156-54 156-54 4.11 Fase de excavación F1=H202-411 D1=H202-411 D2=H202-411 D3=H202-411	10-41	Existe cuarzo-micasita y feldespato granofílico entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			
13	F1=H202-501 D1=H202-405 D2=H202-405 D3=H202-405	5.56 346-58 346-58 5.1 Fase de excavación F1=H202-501 D1=H202-405 D2=H202-405 D3=H202-405	2-20 11 11	Gres cuarzo-feldespato entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			
14	F1=H202-405 D1=H202-405 D2=H202-405 D3=H202-405	342-46 132-58 132-58 2.11 Fase de excavación F1=H202-405 D1=H202-405 D2=H202-405 D3=H202-405	10-33	Queso cuarzo-feldespato entre 100 y 300 mts. Aquellos que están más cerca tienen granos gruesos.			

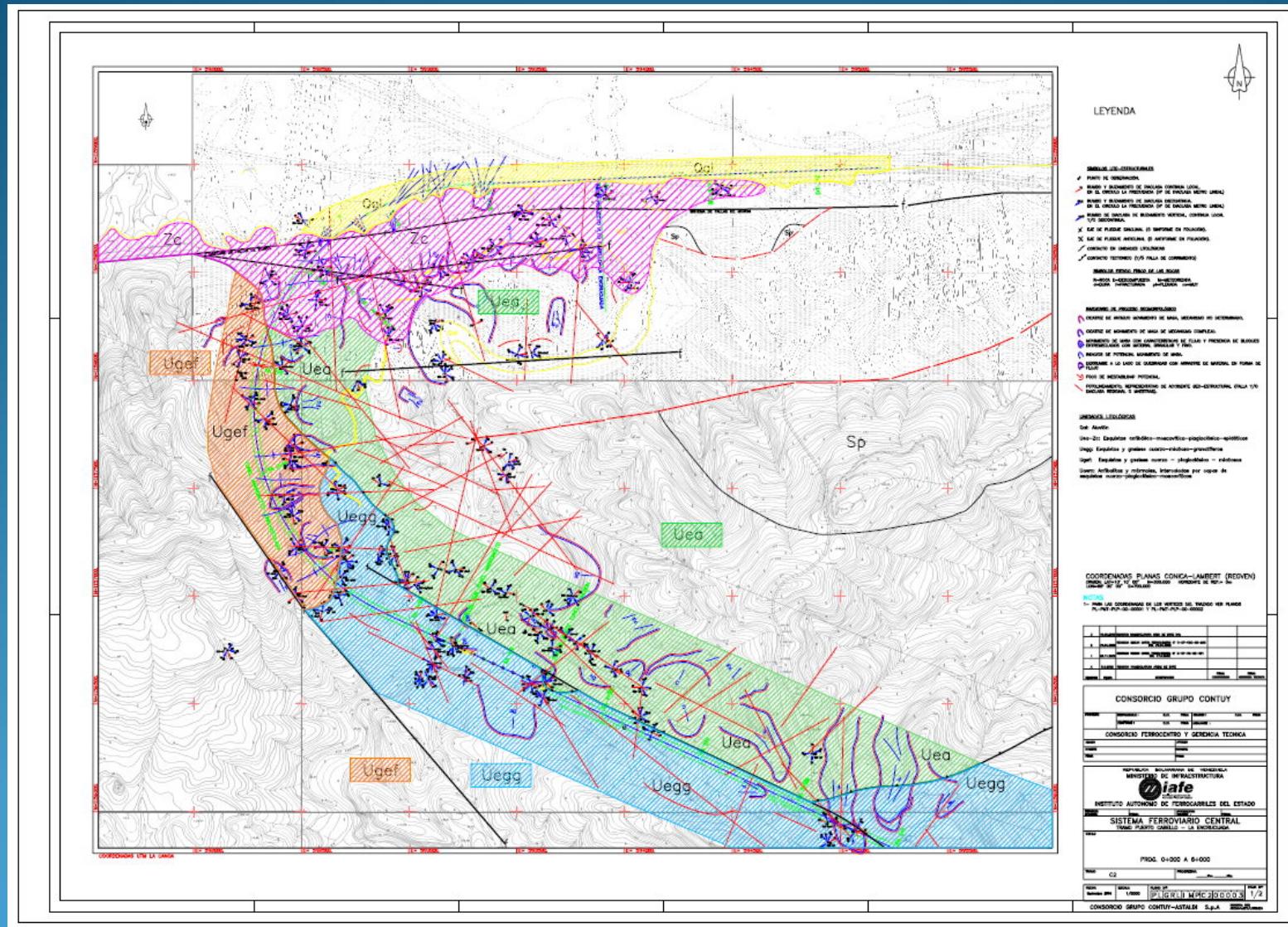
FASES 4 – 5 – 6 EVALUACIÓN, PONDERACIÓN, CONCLUSIONES Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

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.



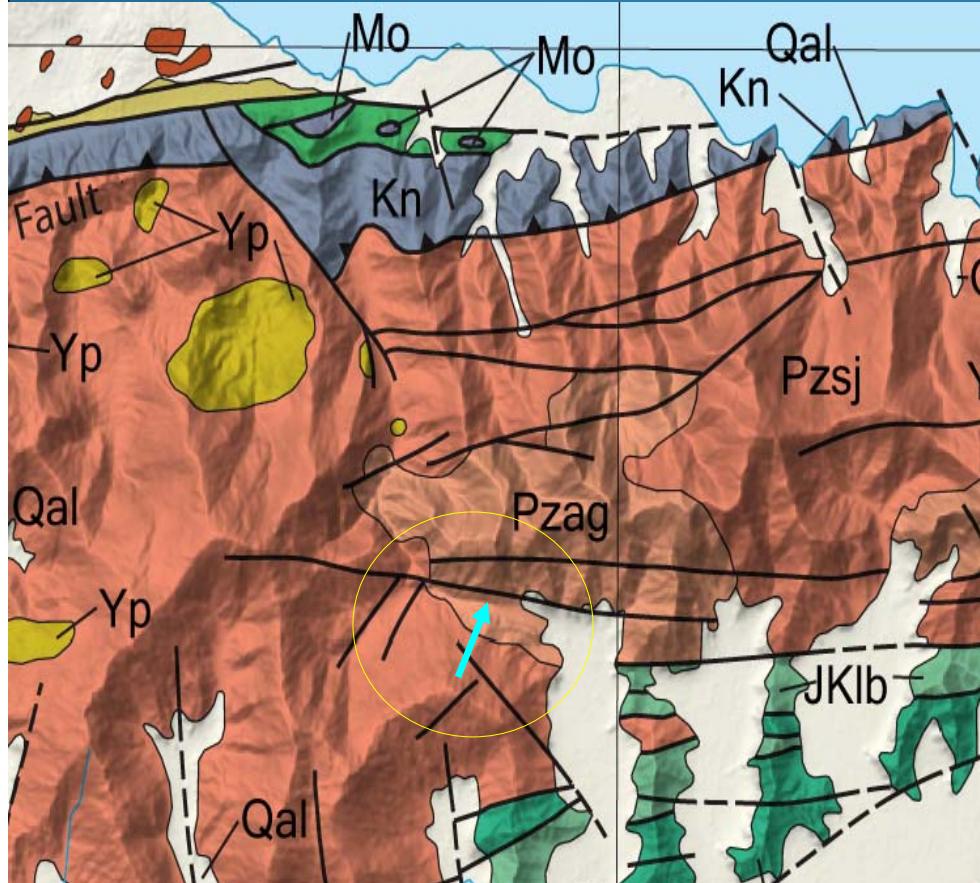
GENERALIDADES

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° - 80°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”*).

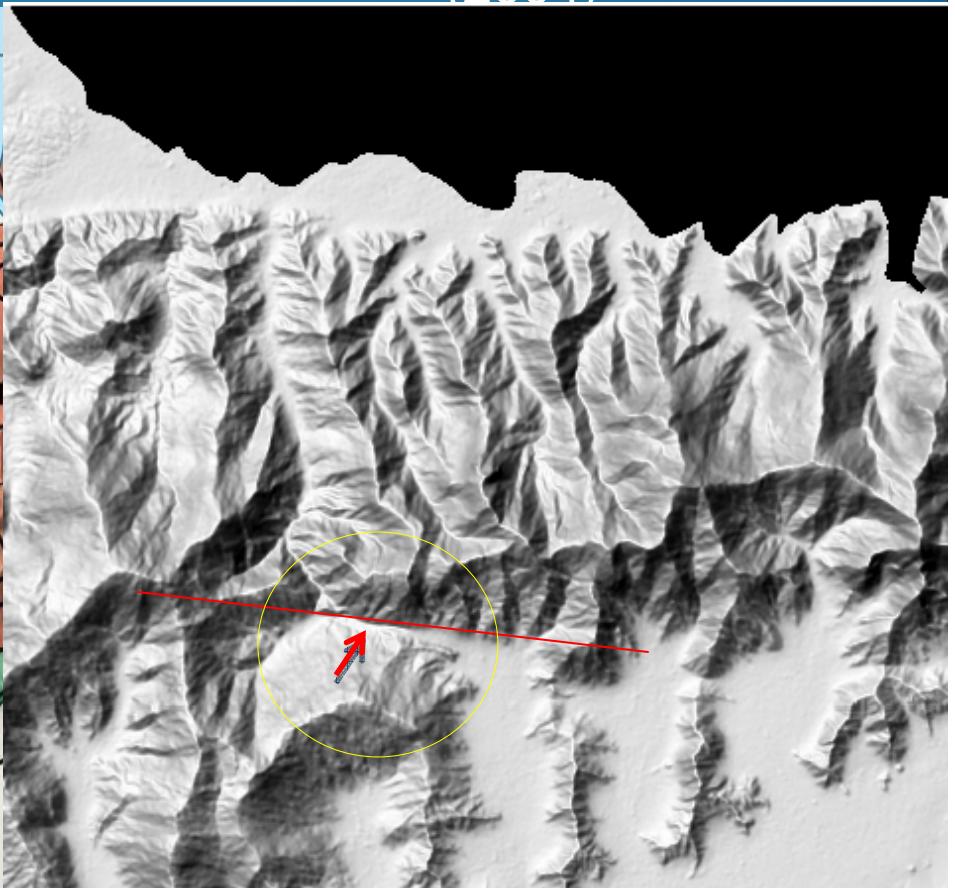
Marco geológico regional

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)



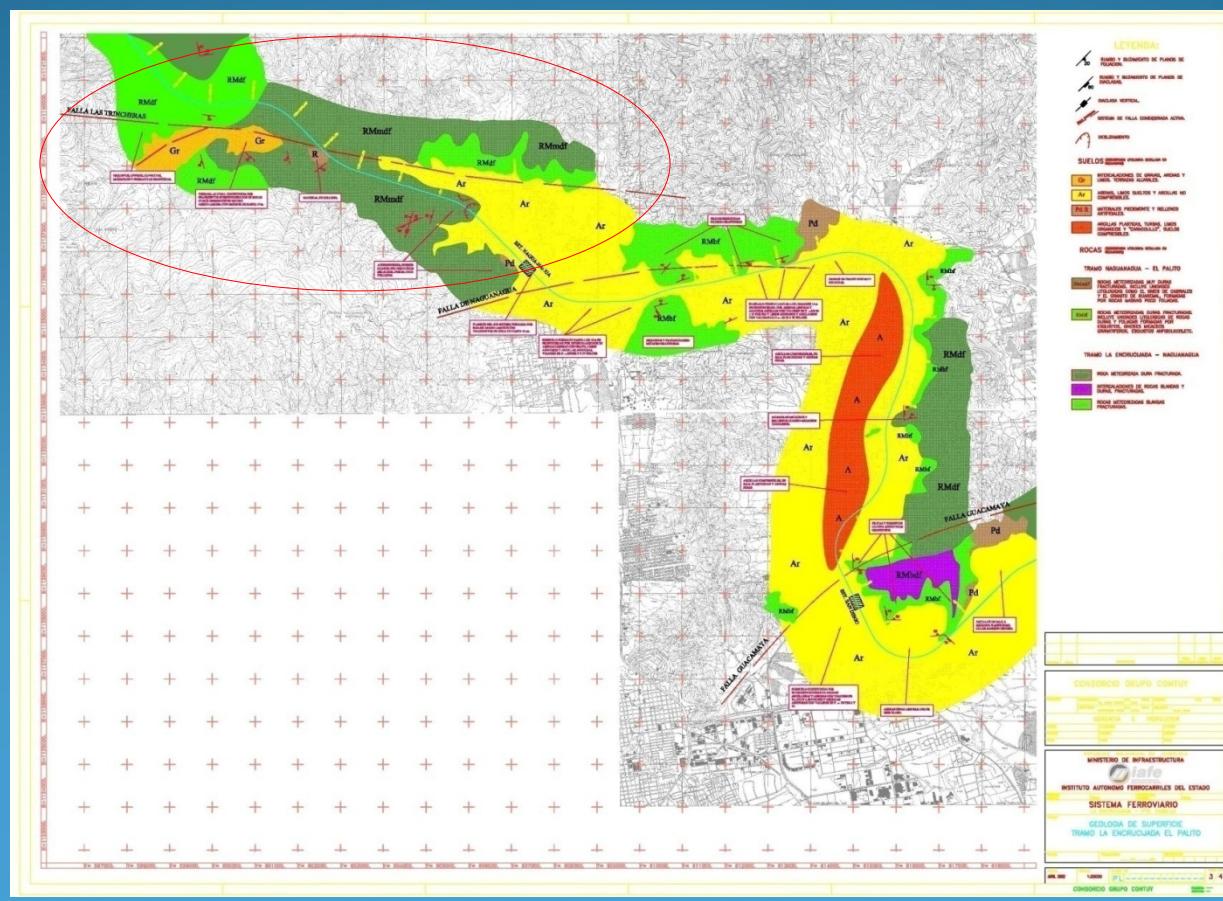
ANTECEDENTES

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.

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

Fragmento del mapa a escala 1:25.000 en donde se evidencia la traza de la falla y las asociaciones litológicas presentes en el área.



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.

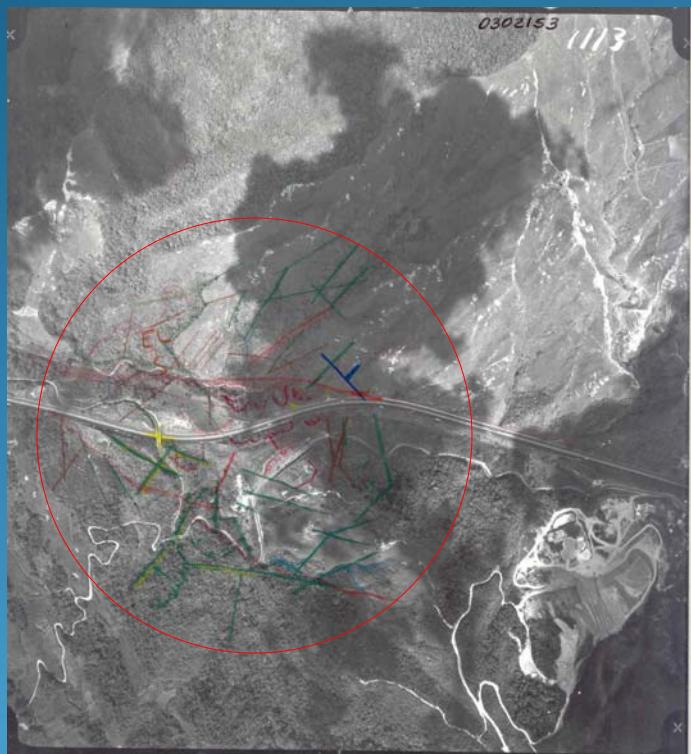
En el informe del Constructor se reportan las condiciones críticas de excavación, las acciones tomadas y a tomar, en las cuales se enfatizan algunas perforaciones horizontales con recuperación de núcleos, la primera frontal y la segunda en dirección Sur y una investigación geológica de mayor detalle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

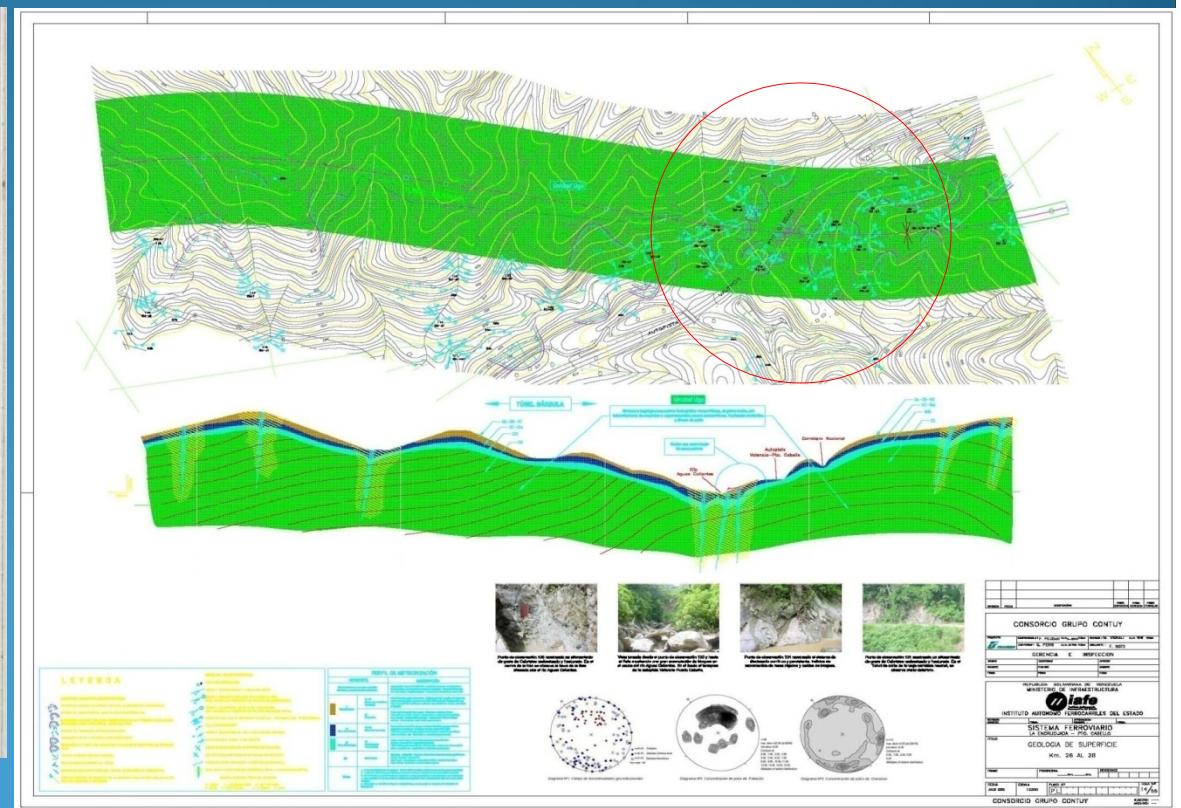
En el informe del Constructor se plantean tres (3) soluciones relacionadas con posibles cambios de trazado, la primera hacia el Norte, y las otras hacia el Sur. La primera (desvío hacia el Norte) no pareció ser recomendable porque implicaría el abandono de un largo trayecto de túnel (de 600 hasta 1.500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

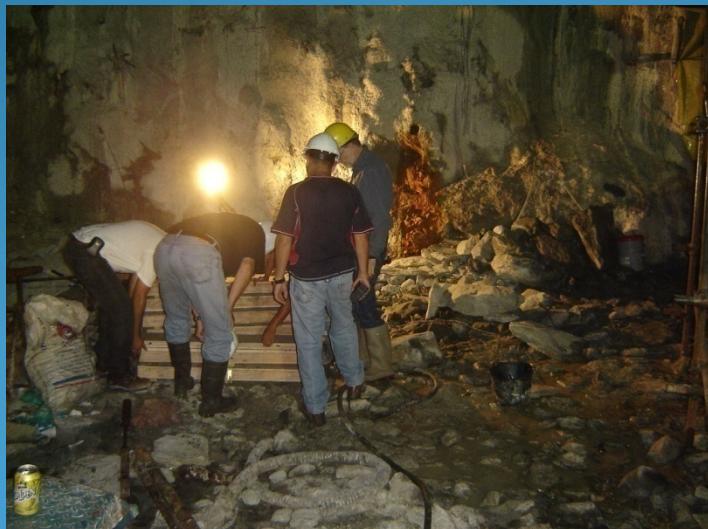
Fotointerpretación



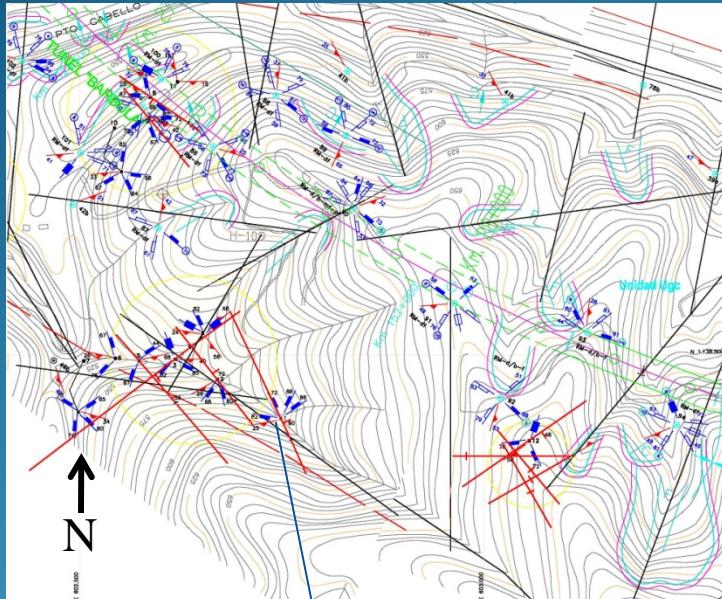
Estudio previo: geológico-geomorfológico de superficie, ferrocarril La Encrucijada – Morón, Tramo Naguanagua – Morón“ a escala 1:2.500 (progresivas 26+800 – 28+300)”, año 2002 – 2003, Autor Geología 2.000, C.A.



Frente de excavación, cuando se realizaban los sondeos



Evidencia de falla encontradas en campo



Quebrada al Sur del
alineamiento



Plano de falla

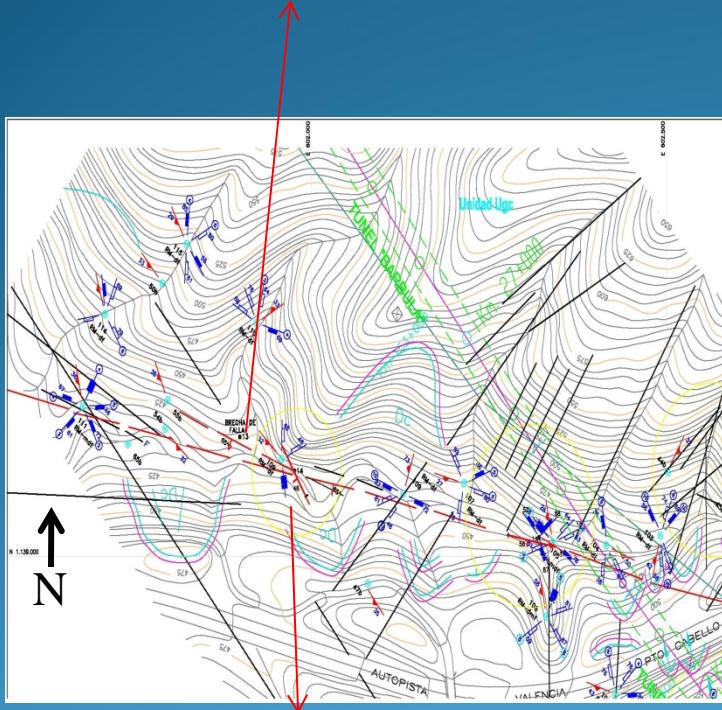


Plano de falla y
estrías de falla



Evidencia de falla encontradas en campo

LA FALLA REGIONAL DE LAS TRINCHERAS.



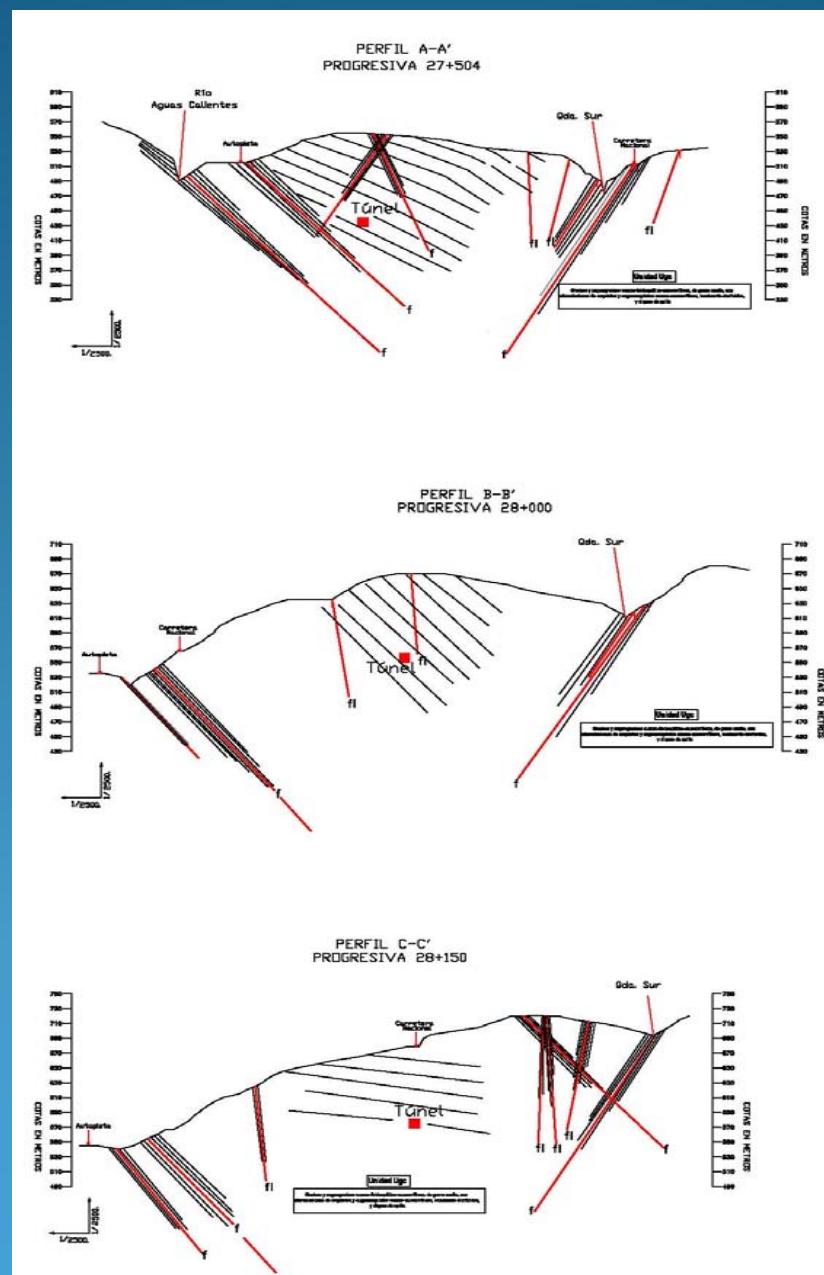
Rio aguas calientes

Brecha de falla de las Trincheras

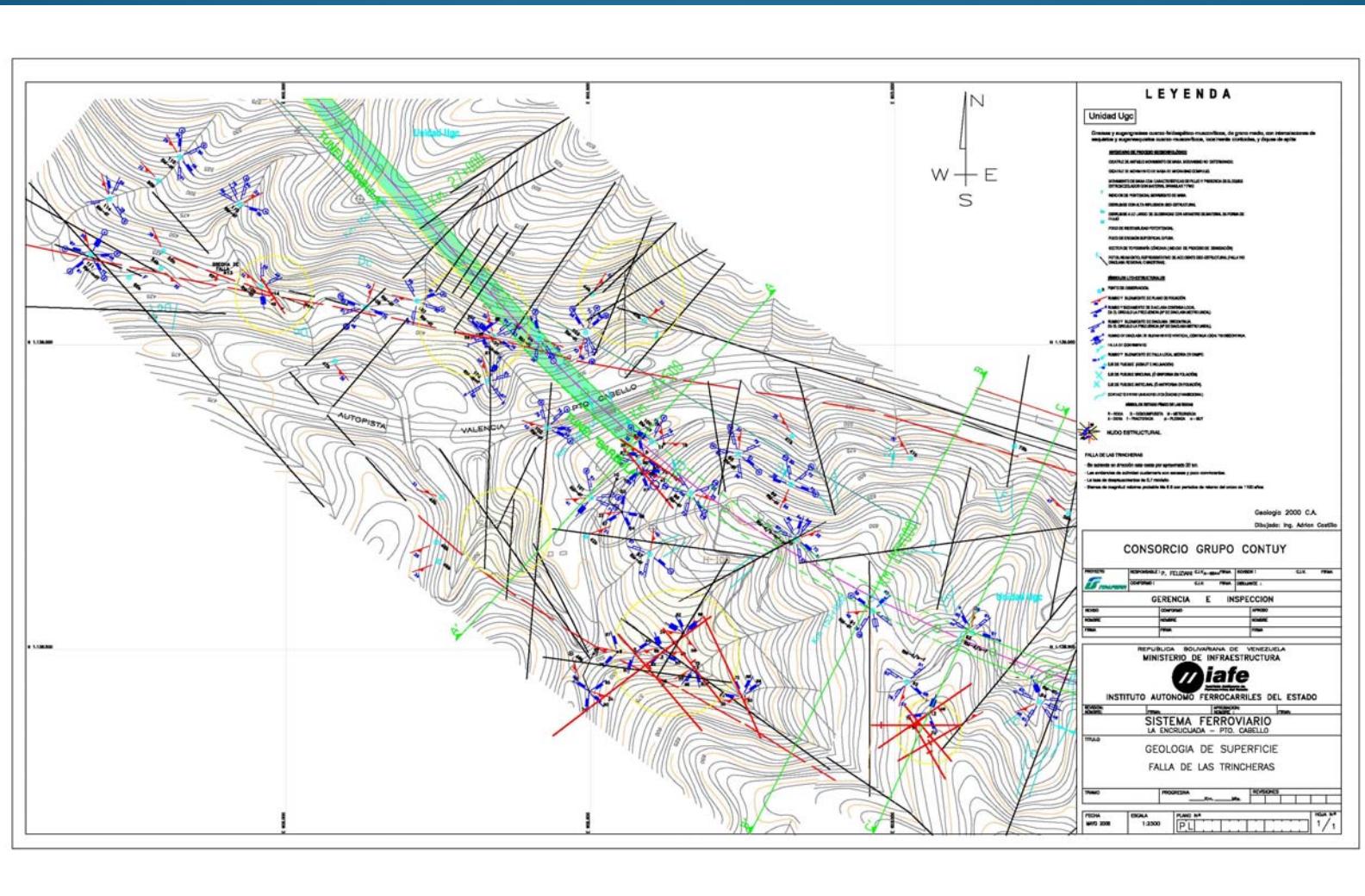


Plano de falla de las Trincheras





Mapa actualizado



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 abrirían 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 solicitudes 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 nº 1

Geología 2000 e.a.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada									
EMPRESA: INPREDE		PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
SONDEO N° 1		LOCALIZACIÓN: Túnel Bárbara, frente sur (Chaco Valencia)							
FECHA: 30/04/2008	PROFUNDIDAD: 0 a 33,31 metros	PROGRESIVA APROXIMADA						27+504,500	
		HOJA: 01 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	USO (m)	NIVEL (m)	DESCRIPCION LITOLÓGICA	MÉTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICION DE LA ROCIA	NOTAS	
0									
2,50			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
2,60				50	0	0			
3,39			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	30	0	0			
2,61				50	0	0			
6,00			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
7,50				50	0	0			
6,49			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	40	0	0			
9,60			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
10,80				50	0	0			
12,00			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
2,05				50	0	0			
14,05			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y descompuesto. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
3,00				50	0	0			
17,05			Arena cuarzoza feldespática grano grueso. Color gris claro.	10	0	0			
2,95				50	0	0			
20,00			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado con arena cuarzoza. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
1,90				50	0	0			
21,50				50	0	0			
2,00			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado con arena cuarzoza. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
23,50				50	0	0			
2,00			Arena cuarzoza feldespática grano grueso. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
27,60				50	0	0			
1,78			Gres Qz-feldespáttico muy fracturado y augengnales Qz-micáceo feldespáticos. Ambos de color gris claro.	20	40	60	80	100	RMf
1,88				50	0	0			
31,18			Augengnales Qz-feldespáttico-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
1,07				50	0	0			
32,24			Augengnales Qz-feldespáttico-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
1,09				50	0	0			
33,11			Augengnales Qz-feldespáttico-micáceo fracturado y fresco. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
OBSERVACIONES									
MI: MUESTRA INALTERADA			RSf: Roca Sana fracturada						
MA: MUESTRA ALTERADA			MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA						
RM: Roca Metasilitizada fracturada			Nf: NIVEL FREÁTICO						
Elaborado por: Ing. Francisco Avera / TSU Jesus Rosales			Revisado por: Geol. Juan Silva						
Revisado por: Ing. Francisco Avera / TSU Jesus Rosales			Revisado por: Geol. Juan Silva						

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada									
EMPRESA: INPREDE		PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
SONDEO N° 1		LOCALIZACIÓN: Túnel Bárbara, frente sur (hacia Valencia)							
FECHA: 02/05/2008	PROFUNDIDAD: 33,31 a 49,60 m	PROGRESIVA APROXIMADA						27+504,500	
		HOJA: 03 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	USO (m)	NIVEL (m)	DESCRIPCION LITOLÓGICA	MÉTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICION DE LA ROCIA	NOTAS	
33,31									
34,21			Augengnales Qz-feldespático, fracturado. Fresco. Gris.	20	40	60	80	100	RSf
31,31				50	0	0			
34,71			Augengnales Qz-feldespático, fracturado. Color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
3,00				50	0	0			
39,71			Augengnales Qz-feldespático micáceo. Fracturado, no metasilitizado (fresco). Color gris claro con partes verdes.	20	40	60	80	100	RSf
40,00				50	0	0			
41,70			Augengnales Qz-feldespático micáceo. Fracturado, fresco. Color gris.	20	40	60	80	100	RSf
42,50				50	0	0			
43,48			Augengnales Qz-feldespático micáceo, fracturado. Fresco.	20	40	60	80	100	RSf
2,25				50	0	0			
45,71			Augengnales Qz-micáceo feldespático, muy fracturado, color gris claro. Roca fresca.	20	40	60	80	100	RSf
1,68				50	0	0			
47,50			Augengnales Qz-micáceo feldespático, muy fracturado, color gris claro. Roca fresca.	20	40	60	80	100	RSf
48,50				50	0	0			
48,60			Augengnales Qz-micáceo-feldespático, fracturado, color gris claro. Roca fresca.	20	40	60	80	100	RSf
51,10				50	0	0			
1,50			Augengnales Qz-micáceo-feldespático, fracturado de color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
52,60				50	0	0			
54,10			Augengnales Qz-micáceo-feldespático, fracturado de color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
1,40				50	0	0			
55,50			Augengnales Qz-micáceo-feldespático, fracturado de color gris claro.	20	40	60	80	100	RSf
OBSERVACIONES									
MI: MUESTRA INALTERADA			RSf: Roca Sana fracturada						
MA: MUESTRA ALTERADA			MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA						
RM: Roca Metasilitizada fracturada			Nf: NIVEL FREÁTICO						
Elaborado por: Ing. Francisco Avera / TSU Jesus Rosales			Revisado por: Geol. Juan Silva						
Revisado por: Ing. Francisco Avera / TSU Jesus Rosales			Revisado por: Geol. Juan Silva						



Sondeo nº 2

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada									
EMPRESA: IMPREGILO		PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
SONDEO N° 2		LOCALIZACIÓN: Túnel Bórbula, frente sur (hacia Valencia)				PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500			
FECHA: 06/05/2008	PROFUNDIDAD: 0 a 16,00 metros	HOJA: 01 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	LÍNEA TIEMPO (m)	MUESTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICIÓN FÍSICA DE LA ROCA	DISCONTINUO	NOTAS OBSERVACIONES		
0	NIVEL FREÁTICO (m)	COLUMNA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA						
0			Sin información					No se resupera muestra	
3,00									
3,00									
1,50	4,50		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	22	0				
1,25	5,75		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	44	0				
1,50	7,25		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	50	0				
1,75	9,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	68	23				
2,00	11,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	50	0				
1,50	12,50		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	43	7				
1,50	14,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	58	23				
2,00	16,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	33					
OBSERVACIONES									
MI: MUESTRA INALTERADA		RSf: Roca Seca fracturada							
MA: MUESTRA ALTERADA		MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA							
RMf: Roca Metamórfica fracturada		NF: NIVEL FREÁTICO							
Elaborado por: Ing. Mauricio Hernández / TSU Jesús Rosales Revisado por: Geol. Juan Silva									

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada									
EMPRESA: IMPREGILO		PROYECTO: Ferrocarril Puerto Cabello-La Encrucijada							
SONDEO N° 2		LOCALIZACIÓN: Túnel Bórbula, frente sur (hacia Valencia)				PROGRESIVA APROXIMADA 27+504,500			
FECHA: 06/05/2008	PROFUNDIDAD: 16,00 a 32,45 m.	HOJA: 02 de 04							
PROFUNDIDAD (m)	LÍNEA TIEMPO (m)	MUESTRAS	RECUP (%)	RQD (%)	CONDICIÓN FÍSICA DE LA ROCA	DISCONTINUO	NOTAS OBSERVACIONES		
16,00	NIVEL FREÁTICO (m)	COLUMNA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA						
16,00	2,80		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	13	0			RMdf	
18,60	2,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	12				RMdf	
21,50	0,90		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro. Arenero de 20,8 a 20,7	31	60			RMdf	
23,50	2,00		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	60	80			RMf	
26,00	1,75		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	40	80			RMf	
27,75	1,80		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	18	40			RSf	
29,55	1,10		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	85	10			RSf	
30,85	1,80		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico, fracturado, color gris claro.	35	60			RSf	
32,45	0,90		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico, de color gris.	0	15				
33,35	1,65		Gneis Qz-micáceo-feldespáttico con intercalaciones de augengneis Qz-feldespáttico de color gris claro	35					
OBSERVACIONES Poblaje zona de falla entre 20,60 m. a 20,70 m.									
MI: MUESTRA INALTERADA		RSf: Roca Seca fracturada							
MA: MUESTRA ALTERADA		MNC: MUESTRA NO CONSEGUIDA							
RMf: Roca Metamórfica fracturada		NF: NIVEL FREÁTICO							
Elaborado por: Ing. Mauricio Hernández / TSU Jesús Rosales Revisado por: Geol. Juan Silva									





Gracias