



REPORTE DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICO –
GEOFÍSICAS DE LOS TIROS VERTICALES 1 Y 2 PARA
RESCATE EN PASTA DE CONCHOS; SAN JUAN DE SABINAS,
COAHUILA.

SEG-DGL-K1330-R-001/06-0621 Rev0



JUNIO DE 2021

CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	1
2	LOCALIZACIÓN.....	1
3	ESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES ESTRUCTURALES DE LOS TIROS VERTICALES.....	2
3.1	Tiro Vertical 1 (Sondeo PCT-1).....	2
3.2	Tiro Vertical 2 (Sondeo PCT-2).....	9
4	análisis de las pruebas de permeabilidad	14
4.1	Tiro Vertical 1 (Sondeo PCT-1).....	14
4.2	Tiro Vertical 2 (Sondeo PCT-2).....	15
5	CONDICIONES GEOLOGICAS DE LOS DISEÑOS DE OBRA.....	16
5.1	Tiro Vertical 1.....	16
5.2	Tiro Vertical 2.....	19
6	 conclusiones	28

ANEXO 1. SECCIONES GEOLOGICAS 6 Y 7

ANEXO 2. INFORMES DE SONDEOS



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Arenisca de la Fm San Miguel, se observa dentro de este un horizonte de arenisca – lutita y lentes de lutita.	3
Fotografía 2. Altenancias de la arenisca con lutita, es esta es donde se identifica las manchas de aceite dentro de las mestra.....	4
Fotografía 3. Manto de la veta de carbón, con un espesor de 2,38 m, esta muestra es la que se envió a laboratorio para Arenisca de la Fm San Miguel, se observa dentro de este un horizonte de arenisca – lutita y lentes de lutita.	5
Fotografía 4. Secuencias de lutita y lutita carbonosa dentro de las cuales se tienen parte de las guías de carbón dentro de estas litologías.	5
Fotografía 5. Falla localizada a los 122,75 m en lutita - lutita carbonosa, presenta un ángulo de 40°, estriaciones, relleno arcilloso y presencia de indicadores cinemáticos. 6	
Fotografía 7. Lutita de la formación Escondido, se caracteriza por componerse de arcillas (0,002 mm) de un color que va de gris claro a un gris oscuro.....	7
Fotografía 7. Limolita observada en la formación Escondido, se observa con un material orgánico el cual presenta la efervescencia al contacto con HCl.....	7
Fotografía 8. Falla localizada a los 45,35 m de profundidad con un ángulo de 60°, se observan estriaciones en los planos de falla y rasgos cinemáticos como sigmoides y un espesor de esta estructura a de siete centímetros.....	8
Fotografía 9. Material meteorizado de la formación Escondido, se aprecian las areniscas y lutitas con un grado que va de III a IV.	8
Fotografía 10. Cárcamo del sondeo PCT-1 donde se correlaciona los primeros 2,5 m del sondeo PCT-1.	9
Fotografía 11. Fracturamiento inducido en arenisca de formación san miguel, exponiendo posibles planos de debilidad fracturamiento.	10
Fotografía 12. Contacto entre formación San Miguel con manto de carbón (formación Olmos), la carga mineral influye en los aspectos físico de la arenisca.....	11
Fotografía 13. Contacto entre guía de carbón con lutita, en este intervalo se cuenta con la presencia de gas.	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los sondeos PCT-1 y PCT-2 en las inmediaciones de los terrenos del Sr Raúl Flores.....	2
Figura 2. Características litológicas de los primeros 12,09 m de excavación del Tiro Vertical 1.	17
Figura 3. Características litológicas de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 1.....	18
Figura 4. Características litológicas de la formación Olmos para la excavación del Tiro Vertical 1.	19
Figura 5. Características litológicas de la zona meteorizada de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 2.	20
Figura 6. Características litológicas de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 2.....	23
Figura 7. Características litológicas de la formación Olmos para la excavación del Tiro Vertical 2.	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados generales obtenidos de las pruebas de permeabilidad PCT-1.....	15
--	----



1 ANTECEDENTES

El 19 de febrero del año 2006 ocurrió una explosión de metano y polvo de carbón en la Mina Pasta de Conchos, que afectó a 79 mineros de los cuales 14 fueron rescatados con vida, se recuperaron dos cadáveres y 63 quedaron sepultados en las galerías subterráneas.

Después de los intentos de rescate en 2006 y 2007, en junio de 2010, Industria Minera México (IMMSA) procedió a sellar todas las entradas a la mina conforme a las instrucciones de la norma MSHA120-75.336.1.07.010 de la "Mine Safety and Health Administration".

El Comité de Expertos coincidió, de manera casi unánime, que la única alternativa viable para acceder a la mina accidentada era construir un sistema de rampas con galerías paralelas a las obras mineras afectadas por la explosión.

El 14 de septiembre de 2020. La CFE recibe la encomienda de hacerse cargo de los trabajos para el rescate de los mineros. Por lo cual, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), firmaron el Acta de entrega de documentación y estudios técnicos relacionados con el rescate de la mina Pasta de Conchos.

Durante los estudios exploratorios y los resultados obtenidos al momento, se definieron la construcción de dos tiros verticales para una funcionalidad de servir para la construcción de las galerías de acceso para el rescate y la ventilación de los túneles.

2 LOCALIZACIÓN

La ubicación de los dos tiros verticales quedara dentro del terreno propiedad del Sr. Raúl Flores, en el municipio de San Juan de Sabinas, Coahuila; se ubica en las proximidades de la mina carbonífera de Pasta de Conchos, propiedad de Grupo México (Figura 1). El Tiro Vertical 1 localiza entre el Frente 1 y Frente 2 de lo que era Mina 8, la función de este tiro es la interconexión con el Ramal 1 y el Ramal 2 (Oriente); parte de la finalidad del tiro es dar el apoyo para la entrada de aire limpio para las obras de rescate.

El Tiro Vertical 2 se localizará en la parte sur del terreno, a 80 m al SE del Frente 3 de Mina 8; la construcción de este tiro es dar el apoyo a la es la interconexión con el Ramal Principal (Túneles de Aproximación) y el Ramal 4; al igual que el Tiro 1, parte de la finalidad de este es dar el apoyo para la entrada de aire limpio para las obras de rescate.



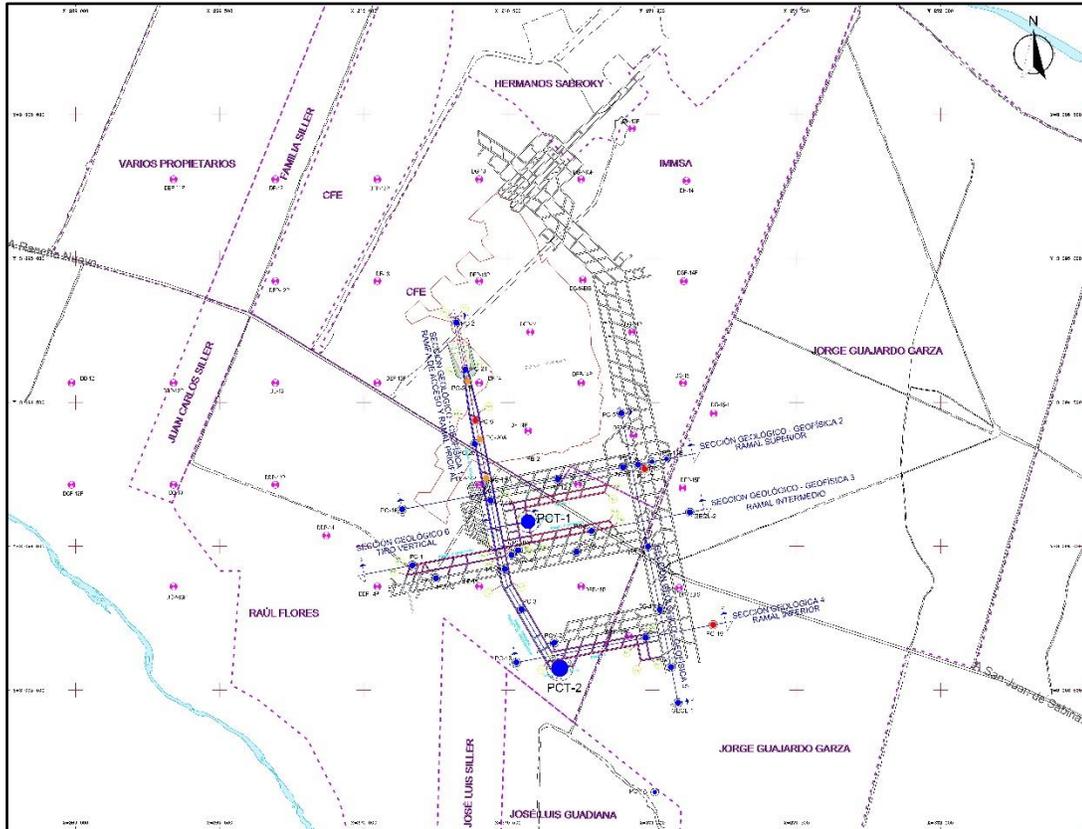


Figura 1. Localización de los sondeos PCT-1 y PCT-2 en las inmediaciones de los terrenos del Sr Raúl Flores.

3 ESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES ESTRUCTURALES DE LOS TIROS VERTICALES

Dentro de este sondeo se identifican cuatro litologías definidas por el Departamento de Geología; la más profunda es la Fm San Miguel; sobreyaciendo a esta de manera concordante se tienen a la Fm Olmos, la cual contienen la veta principal del manto de carbón. Por arriba de esta, se identificará a la Formación Escondido y finalmente cubriendo a todo un suelo residual: a continuación, se describen cada una de los tiros verticales.

3.1 Tiro Vertical 1 (Sondeo PCT-1)

Fm San Miguel

La Fm San Miguel en este sondeo se tienen un espesor identificado hasta el fondo del sondeo de 23,87 m. Esta arenisca presenta una composición de arenas de grano medio (0,2 a 0,63 mm) con un matriz cementante muy fina a fina (0,063 a 0,125 mm), en ocasiones se observa clasto-soportada, determinando porosidad en la roca (Fotografía 1). Su color va de un gris claro (N7) a un gris oscuro (N3), esta formación se identifica en la exploración directa en el sitio de estudio, no se observó aflorando.

Dentro de la arenisca se observan estratos de uno o dos milímetros hasta de cinco centímetros de lutita; ocasionalmente, se tienen en forma de lentes (Fotografía 1). Parcialmente unos horizontes dentro de la formación se encuentran areniscas – lutitas y en otros lutita – arenisca, se encuentran interestratificada o mezclada, dependiendo al ambiente de depósitos de estos.

También dentro de la formación se identifica materia orgánica, principalmente vegetal, impresiones de hojas, algunos casos posibles fósiles de origen marino de plataforma. En algunos de los tramos de los núcleos se tiene la presencia de zonas manchadas con aceite (Fotografía 2).

Hacia la cima de la formación, se encuentra la arenisca con manchas y horizontes de carbón, lo que indica que comenzó el depósito de este material previo al manto principal de la formación Olmos.

Estructuralmente la Fm San Miguel presenta principalmente fracturas o estratificación con un ángulo de 0° a 10°, se correlaciona principalmente donde la arenisca se encuentra interestratificada o mezclada con la lutita.



Fotografía 1. Arenisca de la Fm San Miguel, se observa dentro de este un horizonte de arenisca – lutita y lentes de lutita.



[Firma manuscrita en azul]

Fotografía 2. Alenancias de la arenisca con lutita, es esta es donde se identifica las manchas de aceite dentro de las mestra.

Fm Olmos

El manto de carbón que se explotaba en el sitio corresponde a la base de la Fm Olmos (Fotografía 3), se presenta en el sondeo con un espesor de 2,38 m (Fotografía 3). de acuerdo a Corana et al. (2006) el carbón de la zona lo clasifican como sub-bituminoso adecuado para la transformación de coque, con una volatilidad de media a baja. La muestra del material fue recuperada por el Laboratorio del Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas (CIGA) para la medición del gas metano, dando como resultado de 7,0175 m³/Ton.

Con una edad del Cretácico tardío (Maastrichtiano); esta formación corresponde a un depósito de planicie deltaica, en donde se tienen secuencias de lutitas, lutitas - lutitas carbonosas y areniscas. El primero de estos materiales, la lutita, se compone de arcillas (0,002 mm), normalmente se encuentran en un color de gris claro (N7) y en muestra húmeda gris claro verdoso (5G 8/1) a gris oscuro (N3).

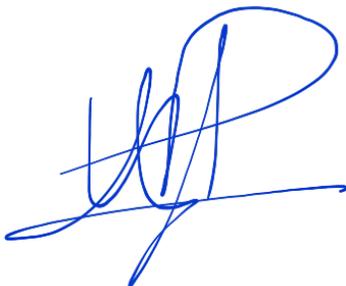
Para las lutitas – lutitas carbonosas (Fotografía 4) se compone de un material del tamaño de las arcillas (0,002 mm), ocasionalmente se encuentran inter estratificadas o mezcladas. Las lutitas presentan una coloración que va de gris claro (N7) a gris claro verdoso (5G 8/1); mientras que la lutita carbonosa se observa en un color gris oscuro (N3).

Dentro de estos materiales se identifican cuatro guías de carbón, de 107,72 a 107,79 m, 116,30 a 116,46 m, 122,11 a los 122.25 m y de los 125,97 a los 126,09 m; en las dos primeras guías se identificó la presencia de gas metano.

La mayoría de alas estratificaciones que se observan dentro de esta formación, se observan con características de zonas brechada o de turbidez donde se identifican fragmentos de las rocas previamente depositadas.

La formación Olmos presenta varios sistemas estructurales preferenciales, el más destacado es que corresponde a un ángulo de 30° a 60°, donde también se localizan algunos sistemas de fallas que se observaron dentro de los núcleos. Como segundo sistema esta las que van de 11° a los 30° y por último, las que van de 0° a 10°, es estos se localiza el sistema de estratificación; estos tres sistemas se localizan principalmente en las lutitas y las lutitas – lutitas carbonosas, para las areniscas solo se logran identificar las dos últimos y en algunos horizontes no se presentan ninguna estructura que afecte a la roca.

Entre las fallas destaca la que se localiza a una profundidad de 122,75 m con un ángulo de 40°, se observan estrías en el plano de falla, una capa milimétrica de relleno de material arcilloso y estructuras sigmoidales en el núcleo (Fotografía 5). Otra falla que destaca se localiza a los 70,68 m con un ángulo de 45°, presenta estriación y sigmoides a pequeña escala.





Fotografía 3. Manto de la veta de carbón, con un espesor de 2,38 m, esta muestra es la que se envió a laboratorio para Arenisca de la Fm San Miguel, se observa dentro de este un horizonte de arenisca – lutita y lentes de lutita.



Fotografía 4. Secuencias de lutita y lutita carbonosa dentro de las cuales se tienen parte de las guías de carbón dentro de estas litologías.



Fotografía 5. Falla localizada a los 122,75 m en lutita - lutita carbonosa, presenta un ángulo de 40°, estrías, relleno arcilloso y presencia de indicadores cinemáticos.

Fm Escondido

Al igual que la formación Olmos, la Fm Escondido pertenece al Cretácico tardío (Maastrichtiano); se compone principalmente de arenisca, lutitas, limolitas y alternancias de estos materiales. La lutita de la formación se componen por arcillas (0,002 mm), se observa en un color gris claro (N7) a un gris oscuro (N3) (Fotografía 6). Ocasionalmente se observan lentes de arenisca, algunos horizontes presentan una relación a porcentaje en respecto a las arcillas – arenas de 85-15%.

Las areniscas se presentan de grano fino a medio (0,2 a 0,063 mm), cementada, de color gris claro (N7) a un gris oscuro (N3), algunas fracturas se observan rellenas de calcita y en ocasiones lentes de carbón dentro de estas.

La limolita se presenta en un color en que va de gris claro (N7) a un gris oscuro (N3) y en ocasiones un gris verdoso (5G 6/1), el tamaño de las partículas va de arenas muy finas (0,004 mm) a medias (0,008 mm) (Fotografía 7).

Dentro de las alternancias de estos estratos se tienen principalmente lutitas con areniscas, se presentan en dos estratos, de ahí solamente se encuentran areniscas - lutitas, limolita - lutitas, limolita - arenisca y areniscas - limolita.

Estructuralmente las discontinuidades que se tienen dentro de la formación se concentran en los rangos que van de 11° a los 30°. El segundo sistema presente corresponde a los ángulos que van de 31° a los 60° y finalmente las estructuras que están entre los 0° a los 10° es el tercer sistema. En este se localiza la estratificación.

Una de las principales fallas observadas en esta formación se localiza a los 45,35 m de profundidad con un ángulo de 60°, se observan estrías en los planos de falla y rasgos cinemáticos como sigmoides y un espesor de esta estructura a de siete centímetros (Fotografía 8). Una segunda falla se observa a los 40,85 m con una inclinación de 50°.



Fotografía 7. Lutita de la formación Escondido, se caracteriza por componerse de arcillas (0,002 mm) de un color que va de gris claro a un gris oscuro.



Fotografía 7. Limolita observada en la formación Escondido, se observa con un material orgánico el cual presenta la efervescencia al contacto con HCl.



[Handwritten signature]

Fotografía 8. Falla localizada a los 45,35 m de profundidad con un ángulo de 60°, se observan estriaciones en los planos de falla y rasgos cinemáticos como sigmoides y un espesor de esta estructura a de siete centímetros.

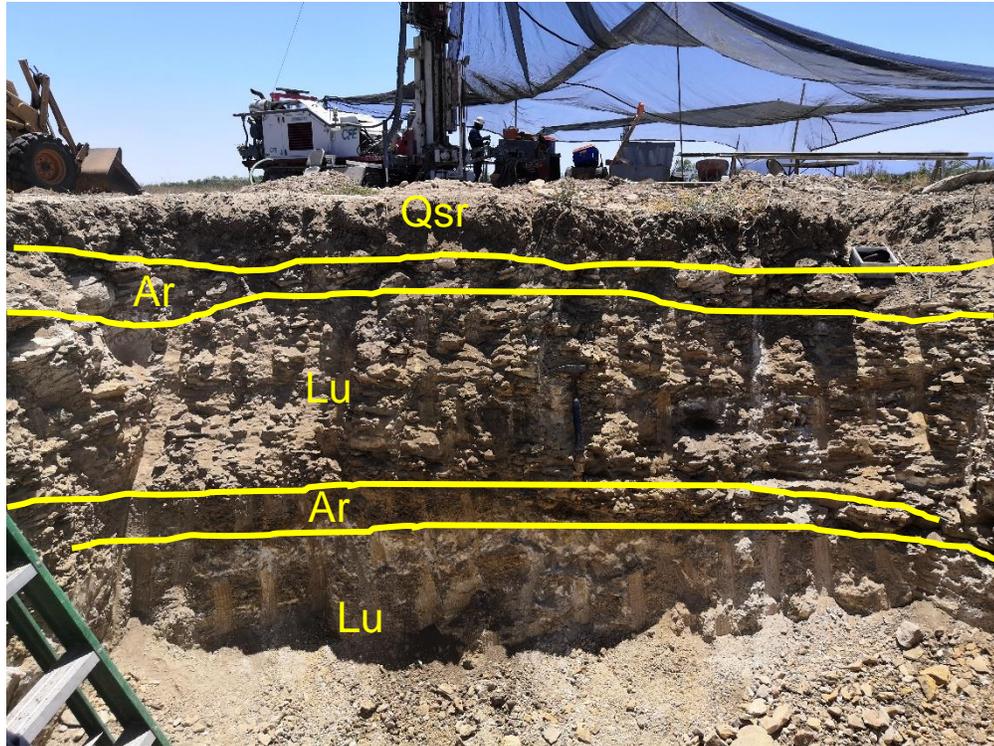
La cima de la formación corresponde a un espesor de 11,91 m, donde se tiene una alternancia de arenisca lutitas y limolitas, las cuales presentan un grado de meteorización de II hasta los IV.

De los 6,79 a los 12,09 m litológicamente se encuentran una alternancia de lutita – arenisca y limolita, respectivamente. Estas presentan un grado de meteorización II, donde se tienen una decoloración parcial a general de la roca que un gris claro (N3) aun naranja amarillento pálido (10YR 8/6). Y de los 0,18 a los 6,79 m la formación se encuentra una secuencia de areniscas y lutitas meteorizadas, además de representar la cima de la formación Escondido (Fotografía 9). Las areniscas presentan un grado de alteración III donde la roca da una apariencia de suelo y el material aun fresco se presenta con decoloración en un color naranja amarillento pálido (10YR 8/6), con materiales aislado dentro de los núcleos. Las lutitas se presentan con un grado de meteorización IV más de la materia aparente una forma de suelo con presencia de fragmentos de roca más aislada que el grado III; la decoloración de la roca es de un naranja amarillento pálido (10YR 8/6).

Estructuralmente no se observan discontinuidades tan marcadas debido al grado de meteorización de la roca, pero al levantarse el cárcamo que se usó en el sondeo (Fotografía 10) se identifica perfectamente 2,5 m de la roca en la cual se ve sistemas de fracturamiento y estratificación; además que las fracturas generan zonas descomprimidas de la roca que es muy difícil de ver en los núcleos.



Fotografía 9. Material meteorizado de la formación Escondido, se aprecian las areniscas y lutitas con un grado que va de III a IV.



Fotografía 10. Cárcamo del sondeo PCT-1 donde se correlaciona los primeros 2,5 m del sondeo PCT-1.

Suelo Residual

El suelo residual se presenta en un espesor de 0,18 m siendo un material poco consolidado con características arcillosas (1/250 mm) en un color rojo muy oscuro (10R 2/2). Presenta ocasionalmente guijarros de entre uno a tres centímetros.

3.2 Tiro Vertical 2 (Sondeo PCT-2)

El sondeo PCT-2 perforó a lo largo de 170,05 m; de estos, se observó el paso por diferentes unidades litológicas, así, distinguió tanto las unidades como la Formación San Miguel es la más profunda; sobreyacente a esta, se encuentra la Formación Olmos, de mayor espesor e interés, debido a que contiene el manto de carbón principal localmente; más cercano a superficie, se encuentra la Formación Escondido, la cual se muestra más afectada por agentes erosivos y en algún momento estuvo en interacción directa con la superficie.

Fm San Miguel

La Formación San Miguel, proveniente del Campaniano Superior, se encuentra en contacto con el manto de carbón, proveniente de la Formación Olmos; está compuesto de una arenisca de grano medio (0,2 a 0,63 mm) con un matriz cementante muy fina a fina (0,063 a 0,125 mm). Debido al contacto subyacente con el manto de carbón, este afecta físicamente la arenisca tornándola en coloraciones gris pardusco ligero (5YR 5/1).

Esta arenisca cuenta con un bandeamiento o estratificación de hasta 2,0 mm, que ocasionalmente se compone de materiales más finos de color negro (N1) correspondientes a granos finos de arcilla y de carbón depositados con un ángulo de hasta 9° (Fotografía 11).

Dentro de esta formación, en el sondeo, se identifica la presencia de materia orgánica, siendo la flora la más abundante, con impresiones de hojas y marcas de rama, también estructuras sedimentarias orgánicas como bioturbación

Al momento de la ejecución del sondeo se comprometió en un tramo la integridad del núcleo, exponiendo de esta forma, unos planos de debilidad sintética cuyo ángulo es superior a los 45°. A partir de los 160,24 m tiene lugar la Formación San Miguel.



Fotografía 11. Fracturamiento inducido en arenisca de formación san miguel, exponiendo posibles planos de debilidad fracturamiento.

Fm. Olmos

Con un espesor en total de 102,50 m, la Formación Olmos se encuentra emplazada a partir de los 57,74 m y llega hasta los 160,24 m; a lo largo de todo este tramo, el sondeo PCT-2 atraviesa una secuencia litológica compuesta por un manto de carbón, lutita, arenisca, limolita y lutita carbonosa.

El manto de carbón se presentó en el sondeo con un espesor de 2,03 m; según Corana et al. (2006), el carbón local se encuentra dentro de la clasificación de sub-bituminoso adecuado para la transformación de Coque, con un índice de materias volátiles de media a baja (Fotografía 12).

El contacto superior del manto de carbón consiste en una intercalación dada por arenisca y lutita con una carga ligera de carbón dentro de sí misma, por parte de la arenisca, esta se encuentra estratificada, y en algunos estratos se encuentran cargados con materiales consolidados finos correspondientes a granos de arcilla y otros de carbón, a pesar de tener el mismo color, negro (N1), estos dos se diferencian porque la arcilla no desprende su contenido dando la apariencia de coloración al contacto, como lo hace el carbón; esta misma litología hospeda una vetilla de carbón de 0,37 m (Fotografía 13).



Fotografía 12. Contacto entre formación San Miguel con manto de carbón (formación Olmos), la carga mineral influye en los aspectos físico de la arenisca.



Fotografía 13. Contacto entre guía de carbón con lutita, en este intervalo se cuenta con la presencia de gas.

Otra litología característica de la formación es la lutita carbonosa, la cual, comparte cualidades de la lutita, tales como estratificación laminar, fisibilidad, ángulo de fracturamiento, sin embargo, se diferencia de esta por su carga de carbón, visible por su coloración negro grisáceo (N2).

La formación Olmos presenta varios sistemas estructurales preferenciales, el más destacado es que corresponde a un ángulo de 30° a 60°, donde también se localizan algunos sistemas de fallas que se observaron dentro de los núcleos. Como segundo sistema esta las que van de 11° a los 30° y, por último, las que van de 0° a 10°, es estos se localiza el sistema de estratificación; estos tres sistemas se localizan principalmente en las lutitas y las lutitas – lutitas carbonosas, para las areniscas solo se logran identificar las dos últimos y en algunos horizontes no se presentan ninguna estructura que afecte a la roca (Fotografía 14).

A lo largo de todo el sondeo fue apreciable de alguna manera la presencia de carbón en las litologías, ya sea en forma de lóculos o estratificación, principalmente en areniscas, y logrando así, planos de debilidad en la estratificación. Proveniente del Cretácico Superior, más preciso del Maastrichtiano, la Formación Olmos en el sondeo cuenta con una muy buena recuperación, así como RQD.



Fotografía 14. Evidencia de los sistemas estructurales predominantes de la formación Olmos. por una parte, se tienen los coincidentes con la estratificación horizontal y, por otra parte, los ángulos generados a partir de esfuerzos a los que fue expuesta una litología menos resistente como lutita o limolita.

Fm. Escondido

La Formación Escondido se encuentra más cercano a la superficie, y en la zona, específicamente en el sondeo, se encuentra emplazado desde 3,45 m hasta los 57,64 m; conformada por una intercalación litológica compuesta por arenisca, lutita y limolita. Esta formación perteneciente al Cretácico Superior, del Maastrichtiano, destaca por la cercanía en la que se encuentra con la superficie, y, por ende, en interacción con la atmosfera y sus factores capaces de alterar su estructura física, claro ejemplo de ello es la zona de meteorización, plenamente identificable por su coloración naranja amarillenta (10YR 6/6) y llevar a la arenisca que alberga esta zona hasta un grado III de meteorización (Fotografía 15).



Fotografía 15. Zona de meteorización dentro de la formación Escondido, la cual compromete la condición física de la arenisca, llevándola incluso a un grado de meteorización nivel V.

De esta formación se destaca la arenisca en diversas profundidades, ya que esta alberga la zona de meteorización, se encuentra entremezclada con lutita y limolita. Presuntamente, de esta Formación proviene el suelo residual sobreyacente a esta formación y que está en contacto directo con la superficie, este tramo presenta una muy buena recuperación y un buen RQD (Fotografía 16).



Fotografía 16. Intercalación entre limolita y arenisca, ambas con buen RQD y recuperación.

Las estructuras detectadas a lo largo del sondeo son en su mayoría de menor grado, coincidentemente, en las zonas de contacto litológico se incrementa la cantidad de estructuras, principalmente en la intercalación de limolitas con lutitas, estas estructuras, principalmente fracturas, son de hasta 45°. Se identificó 3 fallas considerables en el sondeo, una de 45° ubicada a 106,45 m de profundidad, a la cercanía del contacto entre limolita y lutita. Otro a 112,10 m de profundidad con un ángulo de 31° acaecido en una intercalación entre lutita y lutita carbonosa; por último, muy cercano a la zona de contacto entre lutita carbonosa y limolita, y con un ángulo de 40° se encuentra otra falla aislada. Cabe destacar que, aunado a lo previamente descrito, se identificaron 3 zonas de falla, las cuales están conformadas por más de 2 estructuras de fallamiento y otras tantas de fracturamiento, igualmente, estas zonas de falla coinciden con los porcentajes más bajos de RQD y recuperación. Se cree que la zona de fallamiento (Fotografía 17) sucedida de 143,40 m a 143,80 m puede estar activa o lo estuvo muy recientemente, ya que, se localizaron múltiples microfallas, fracturamientos naturales e inducidos y una discordancia muy notoria entre dos litologías y su ángulo de depósito.



Fotografía 18. Zona de falla presuntamente activa, se aprecian múltiples microfalloamientos y una falla mayor, sin relleno y con una notoria discontinuidad en los ángulos de depósito.

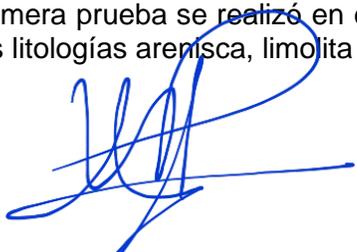
Otro de los factores a destacar en el sondeo PCT-2, es la acumulación de gas en diversas profundidades (Anexo 3), esto se notó al momento del levantamiento en canal, en las maniobras realizadas por el personal de perforación y en una prueba de permeabilidad: al momento del levantamiento de muestra en canal se notó la presencia de algún tipo de gas (se adjuntan videos), durante las maniobras de perforación, al momento de levantar tubería y retirar para maniobra de sustracción de muestra, al personal le resultó muy ardua esta operación de rutina, y, al momento de culminar el desenroscamiento entre tubería, se liberó presión, notada por un característico ruido de liberación de gas; sucedió algo similar al concluir una prueba de permeabilidad, percibiendo un sonido similar al momento de retirar la manguera de inyección de agua a la tubería.

4 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

Durante las pruebas de permeabilidad que se realizaron en el sondeos de los Tiros Verticales se consideraron algunos criterios para ejecutarlas; en primera, dentro de los primeros 100 m se consideró el nivel de agua que se tiene como resultado de la perforación; en segundo, por debajo de los 100 m se considera una carga de presión sin nivel de agua, para ajustar los incrementos bajos de la presión durante la prueba debido a que ya se tienen más de 10,00 kg/cm² y que el nivel de agua no existe dentro de la zona de estudio; y en tercera, con las características litológicas de cada uno de los tiros.

4.1 Tiro Vertical 1 (Sondeo PCT-1)

La primera prueba se realizó en el intervalo de 30,00 a los 35,00 m en la Fm Escondido dentro de las litologías arenisca, limolita y lutita – arenisca; los resultados arroja que es un material que



se comporta como cuerpo poco permeable; el flujo que se presentó durante la prueba lo podemos describir como un flujo laminar con un destaponamiento en su carga máxima relacionadas a las fracturas que se localizan en la lutita – arenisca, posteriormente en el descenso se vuelven a cerrar las fracturas hasta llegar a un gasto de 0,00 litros.

La segunda prueba se realizó de los 74,70 a los 79,70 m, en lutitas – lutitas carbonosas de la Fm Olmos, durante la prueba en la segunda carga ascendente se presentó resurgencia de agua entre el ademe y la roca por lo que se detuvo la prueba; esto pudo ser el resultado que durante la perforación el diámetro HQ se amplía al bailar un poco la tubería; adicionalmente, ya que este material es muy deleznable es afectado también por el agua de perforación y el agua requerida durante la prueba de permeabilidad, haciendo que pierda estabilidad la obturación del permeámetro.

La tercera prueba se ejecutó en arenisca - lutita y areniscas de la formación Olmos. La prueba da un material poco permeable, el comportamiento del flujo es laminar con un posible destaponamiento por expansión de fracturas o fracturamiento hidráulico, el cual se pudo generar en los materiales arcillosos de la lutita.

La última prueba se realizó por debajo del manto de carbón, en las areniscas de la Fm San Miguel, arrojó un resultado poco permeable, con un comportamiento en la gama ascendente con un destaponamiento gradual y en la descendente con bloqueo de fisuras. Esta arenisca, dentro de este intervalo presenta horizontes no mayores a los 5 cm de lutita, el comportamiento antes mencionado del flujo es resultado de la afectación a este material y adicionalmente, a que la arenisca también presenta porosidad en esta formación.

Los resultados de absorción se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Resultados generales obtenidos de las pruebas de permeabilidad PCT-1.

INTERVALO (m)	ABSORCIÓN l/min/m	PRESIÓN		CLASIFICACIÓN
		(Mpa)	(kg/cm ²)	
30,00-35,00	4,20	0,9814	10,00	Poco permeable
74,70-79,70	5,64	0,4626	4,72	Poco permeable
135,00 a 140,00	8,04	1,4465	14,74	Poco permeable
146,33-151,33	3,04	1,5385	15,68	Poco permeable

4.2 Tiro Vertical 2 (Sondeo PCT-2)

Las pruebas de permeabilidad realizadas en el sondeo PCT-2 del tipo Lugeon fueron efectuadas a profundidades que van de 70,00 a 75,00 m, 145,00 a 150,00 m y 148,00 a 153,00, de las cuales se destacan por tratarse de tramos poco permeables y el ultimo permeable, esto debido a la litología a la cual fue aplicada.

En resumen, dentro del primer intervalo indica que se obtuvo un taponamiento que posteriormente fue cediendo a la presión para que, al momento de ocurrir la gama descendente, esta lograse un flujo laminar. En el segundo tramo que va de 145,00 a 150,00 m presenta un bloqueo de fisuras por el posible lavado de una guía de carbón; y por último, el tramo que va de 148,00 a 153,00 m de profundidad presenta un flujo laminar uniforme, a pesar de tener una absorción considerable de hasta 6.48 l/min/m.



El criterio para la realización de la primera prueba de permeabilidad fue basado en la intercalación muy notoria entre lutita carbonosa, limolita y arenisca, así como un bajo RQD y recuperación; sin embargo, a pesar de las condiciones tan desfavorables, el resultado arrojado indica que se trata de un tramo poco permeable, se interpreta con ello, que durante la prueba, la gama de asenso es consistente con un sistema complejo de taponamiento y destaponamiento de fracturas regido por la presión a la cual fue sometido, por parte de la gama descendiente esta tiene un comportamiento uniforme, similar a las presentadas en un flujo laminar.

El criterio que se tomó para efectuar una prueba de permeabilidad en el intervalo marcado de 145,00 a 150,00 dependió por la cercanía con el manto de carbón, al momento de la perforación se cruzó por una guía o vetilla de carbón inmersa dentro de la litología principal, conformada por una arenisca estratificada de buen RQD y competitividad que está intercalada con horizontes de lutita carbonosa; los resultados arrojaron que se trata de un tramo poco permeable, que al momento de incrementar la presión a 1,5 Bar, se presentó una apertura en la guía de carbón, logrando así un máximo consumo de 118 l por intervalo, presentando un comportamiento gráfico de flujo laminar.

La última prueba de permeabilidad fue efectuada en un intervalo de 148,00 a 153,00 m, esto debido a la proximidad estimada, en su momento del manto de carbón, fue efectuada sobre una arenisca muy uniforme que no presentó estratificación o intercalación con algún otro material de tamaño de grano distinto, de buen RQD; las pruebas efectuadas sobre este material arrojan como resultado que se trata de un tramo impermeable que presenta, gráficamente, un comportamiento de flujo laminar en la gama descendiente, mientras que en la gama de asenso se presentó un comportamiento de expansión de fracturas, logrando, como máximo una absorción de 6,48 l/min/m.

Durante la ejecución del sondeo, se detectó un nivel de agua, sin embargo, este no es consistente con un nivel de agua freático, tratándose más bien, de agua de perforación que no influye en la carga hidrostática de la prueba de permeabilidad.

5 CONDICIONES GEOLOGICAS DE LOS DISEÑOS DE OBRA

5.1 Tiro Vertical 1

La excavación del Tiro Vertical 1 se removerá en primera instancia 0,18 metros de suelo para inmediatamente comenzar el retiro de los materiales meteorizado de la formación Escondido; los siguientes metros a excavar son 0,87 m de arenisca meteorizada de grado III, esta arenisca se comporta parcialmente areno - arcillosa, con presencia de fragmentos menores alterados de esta misma. El siguiente material en excavar es la lutita meteorizada que presenta un grado IV con un espesor de 5,71 m, este material tiene un comportamiento muy plástico y los escasos fragmentos de roca que un se observan pueden presentar un bajo grado de arena en ellos, además de que se tienen lentes de arenisca entre estos (Figura2).

Siguiendo con la excavación, se tiene dos litologías con las cuales se termina de remover el material meteorizado, estos se presentan con un grado II; la primera corresponde a una lutita – arenisca medianamente compacta y un fracturamiento medio; mientras que la limolita presenta



horizontes muy alterados y un fracturamiento alto. Los espesores de estos materiales son de 2,98 m y 2,35 m respectivamente (Figura 2).

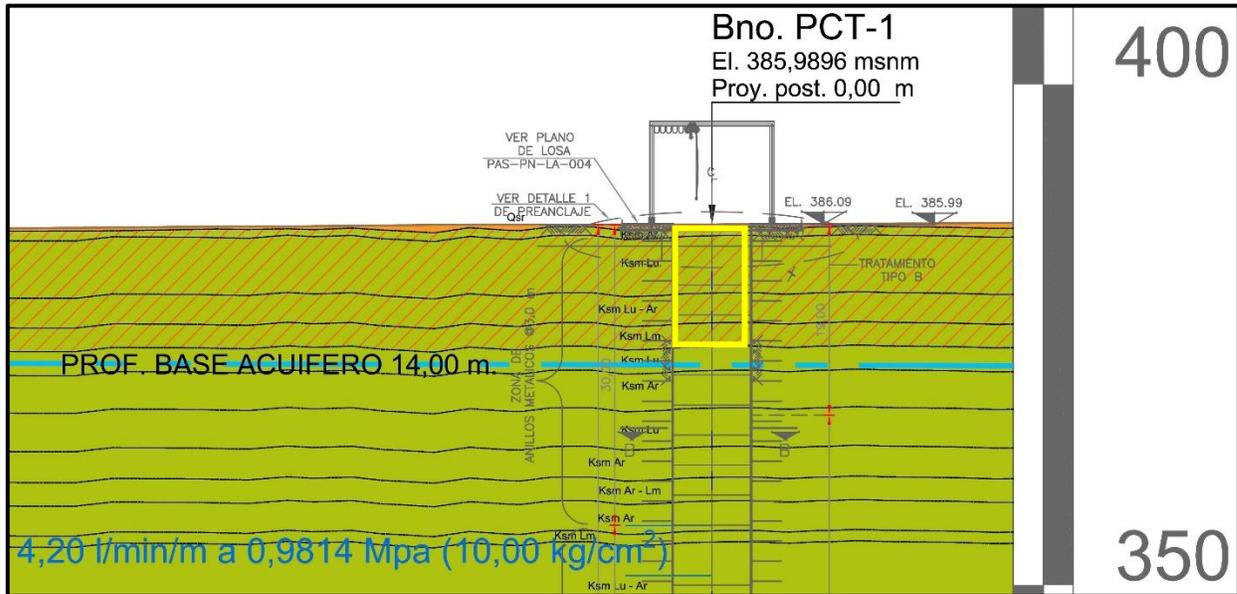


Figura 2. Características litológicas de los primeros 12,09 m de excavación del Tiro Vertical 1.

Ya en una roca sana se tendrá a partir de los 12,09 m comenzando con una lutita con un espesor de 2,41 m, esta se presenta con un fracturamiento bajo y competente. Al inicio esta litología se observa una zona de falla la cual representaría algo significativo durante la excavación.

Los siguientes 3,75 m se excavará en areniscas muy compactas con un grado de fracturamiento muy bajo. Con 3,85 m se continuaría retirando lutita medianamente compacta y un fracturamiento medio. En los siguientes metros y hasta los 30,00 m se irán excavando areniscas muy competentes y con un fracturamiento muy bajo, es espesor de este material es de 3,14 m. por debajo de esta se identificó una secuencia de areniscas - lutitas con un espesor de 2,35 m con un comportamiento competente y un fracturamiento bajo. Y nuevamente un espesor de 2,93 m de arenisca competente y de bajo fracturamiento.

En el tramo de 30,00 a los 35,00 m se observa parte de la arenisca antes descrita, posteriormente una limolita con un espesor de 1,12 m medianamente competente y con un fracturamiento medio y finalmente con un espesor de 7,71 m se identificó una secuencia de lutitas – areniscas de medianamente a alto grado de competencia y un fracturamiento alto. Dentro de estos materiales se realizó una prueba de permeabilidad, dando como resultado una roca poco permeable. Podemos esperar la presencia de agua en esta zona, pero no por algún manto, si no por las excavaciones, es probable que desde el inicio de los trabajos este comportamiento en litologías similares a estas se comporte de la misma manera.

Se continúan con dos secuencias que se componen de limolita – areniscas y limolita – lutitas; la primera tiene un comportamiento competente de la roca, con un fracturamiento que va de medio

a bajo, en esta una se localiza una falla de importancia y su espesor es de 2,43 m; y la segunda tiene un comportamiento de mediana competencia y un grado de fracturamiento medio.

De los 47,82 m y hasta los 62,98 m se localizan las últimas tres secuencias que se tienen de la formación Escondido. La primera de ellas es una lutita – arenisca con un comportamiento medianamente compacto a alto y un fracturamiento medio, el espesor de este material a excavar es de 6,92 m. Posteriormente se continuaría con una limolita medianamente competente en algunas zonas su competencia es baja y una intensidad media de fracturamiento; su espesor es de 2,39 m. Finalmente la base de la formación Escondido comprende un espesor de 5,85 m bastante competente y un fracturamiento bajo, esta capa corresponde a areniscas – lutitas (Figura 3).

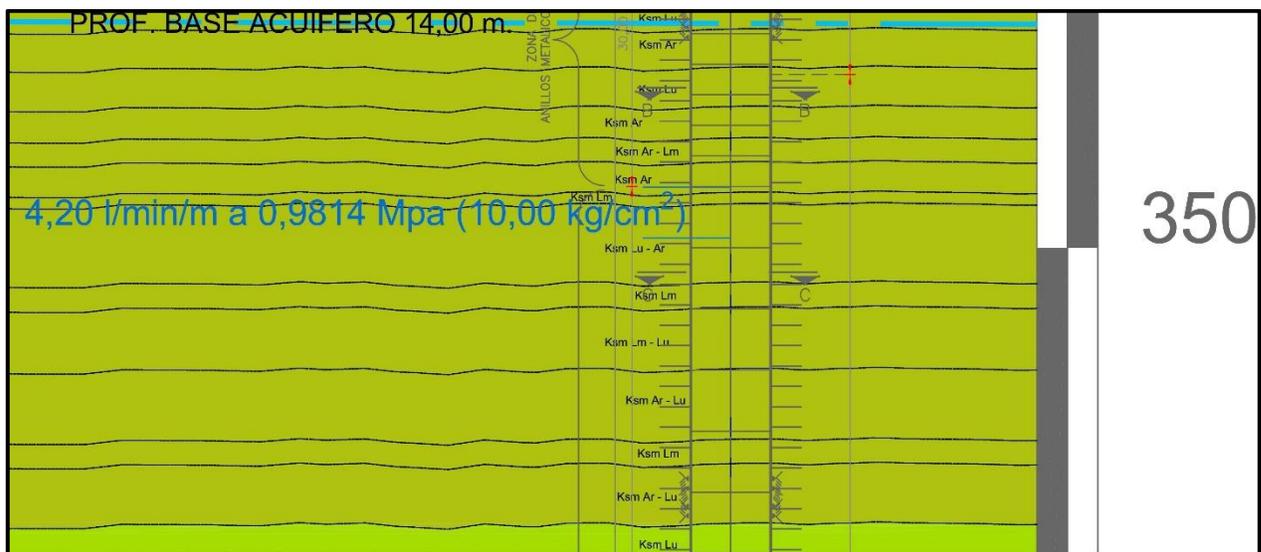


Figura 3. Características litológicas de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 1.

Partir de los 62,98 m comienza a excavar sobre la formación Olmos, donde la primera capa por remover es una lutita con un espesor de 4,52 m, se presenta como una roca de media a muy alta competencia, el grado de fracturamiento es bajo y presencia de manchones de carbón. Con un espesor de 3,13 m se excavaría una arenisca muy bien compactada y un fracturamiento completamente nulo.

Terminando estas areniscas se continuaría con un espesor de 9,79 m de lutita – lutita carbonosa donde, esta litología tiene un comportamiento de roca medianamente a baja compactación, con un fracturamiento medio. Dentro de esta se realizó la segunda prueba de permeabilidad, dando como resultado un material poco permeable, pero debido a la observación de resurgencia entre el ademe y la roca se detuvo la prueba. Posteriormente se entrará en una lutita, una roca medianamente a altamente compacta y un fracturamiento medio, el espesor del material es de 9,79 m.

Con un espesor de 12,77 m se cortará lutitas – lutitas carbonosas, es una roca de media a baja competencia, con un fracturamiento alto, estos materiales estarán inter estratificado,

[Handwritten signature]

KsmAr

0,00 a 3,45

Material no consolidado, no fue distinguible capa de suelo y se asume todo este tramo como aluvial de grano fino, a las cercanías del contacto inferior es posible encontrar líticos y material de mayor consolidación, ya que se considera una roca con un alto grado de meteorización de grado VI.

3,45 a 3,97

Arenisca muy intemperizada con horizontes de material suelto, estratificada, fracturada, estas fracturas cuentan con paredes rellenas.

3,97 a 8,60

Arenisca con grado de meteorización grado II o III, algunos horizontes de material blando, termina zona de meteorización.

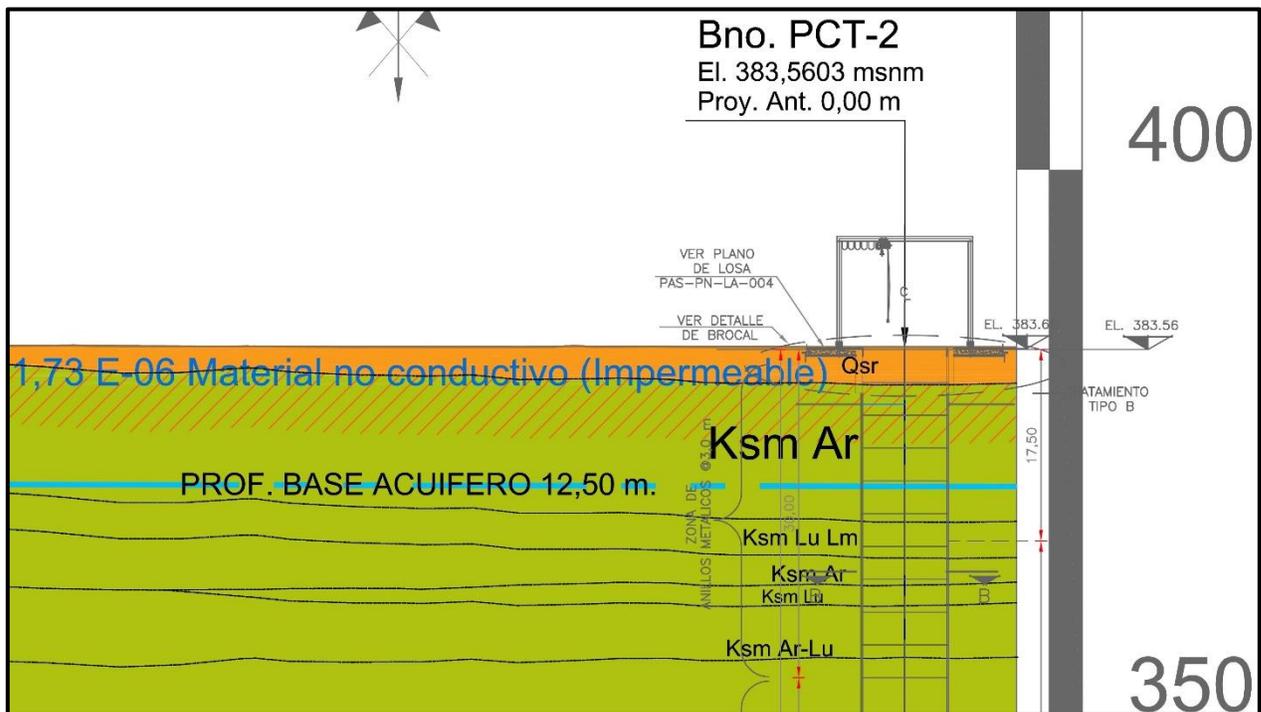


Figura 5. Características litológicas de la zona meteorizada de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 2.

8,60 a 9,12

Arenisca de grano más fino, más compacta, muy competente, fracturamiento inducido mayor que natural.

9,12 a 15,99

Arenisca de grano medio que presenta a diferentes profundidades nódulos de materiales más finos, así como estratos de lutita, muy competente, sin fallamiento y ocasionalmente en fracturas se vislumbró depósitos de pirita y se presentan ocasionales horizontes de mala selección.

Ksm Lu-Lm

15,99 a 19,28

Intercalación de lutita con limolita, competente, pero frágil, deleznable, con fracturamiento natural e inducido medio-alto que se presenta principalmente menor a 10°, posiblemente se pueden encontrar fracturas de hasta 40°.

Ksm Ar

19,29 a 21,77

Arenisca que muestra varias facies, estratificación horizontal grado máximo 12°, nódulos de granos finos, es muy competente.

21,77 a 23,65

Lutita deleznable, poco competente, posible falla a 22,35 m, laminar, fracturas ángulo de hasta 36° (Fotografía 19).



Fotografía 19. Fracturamiento natural e inducido de la lutita, es similar a diferentes condiciones.

Ksm Ar-Lu

23,65 a 24,04

Intercalación arenisca lutita en la cual predomina arenisca con posible clorotización (color verde), competente, ligeramente frágil, sin fracturamiento natural, solo inducido.

24,04 a 25,07

Intercalación arenisca lutita en la cual predomina lutita, poco competente, frágil, cuenta con fracturamiento natural e inducido.

25,07 a 31,62

Arenisca de grano medio compacta con intercalaciones de finos y calcáreos, competente, estratificación se identifica como zona de debilidad, paralelo a la horizontal.

Ksm Lm-Lu

31,62 a 33,18

Lutita mezclada con arenisca, competente hasta 32,80 m, después se hace más frágil y con fracturamiento natural e inducido.

33,18 a 36,25

Arenisca entremezclada con granos más finos de limo y arcilla, poco competente, fracturas naturales e inducidas de hasta 45°, en ocasiones se presentan nódulos y horizontes calcáreos.

36,25 a 36,67

Lutita muy frágil, con fracturamiento inducido y natural de 42°, poco competente.

36,67 a 37,47

Limolita muy frágil con fracturamiento natural e inducido de 43°.

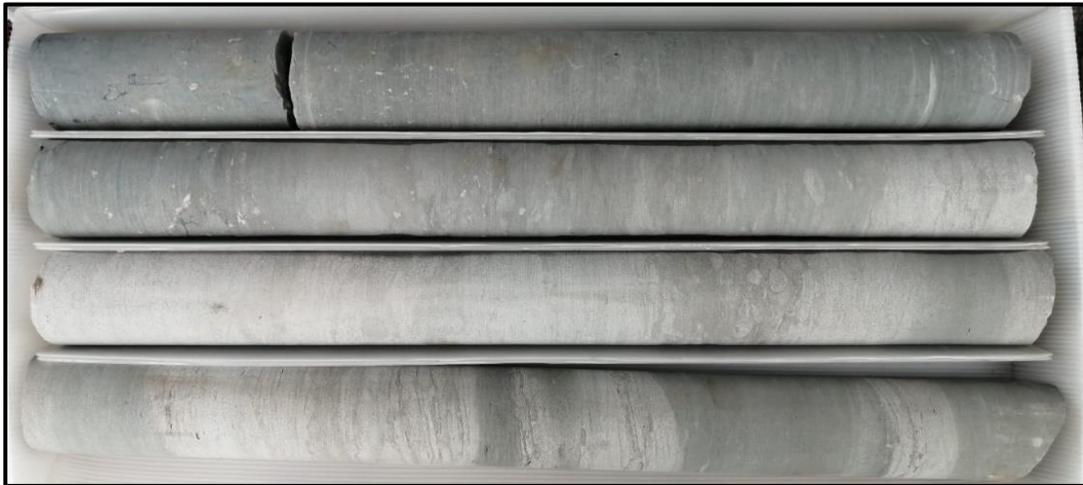
37,47 a 39,58

Lutita muy deleznable que presenta laminación, tiene fracturas naturales y es poco competente, no es muy resistente al golpe.

Ksm Ar-Lm

39,58 a 53,22

Arenisca de grano medio que tiene aporte de granos finos hasta los 40,66 m, muy competente, poco fracturamiento, estratificación laminar de forma convoluta, y revuelta con finos y calcáreos de 49,39 a 50,42 m, cuenta con horizontes de mala selección de 43,66 a 43,90 m, 44,30 a 44,56 m, de 45,92 a 47,35 m a 52,65 m, se cuenta con la presencia de fósiles (Fotografía 20).



Fotografía 20. Arenisca muy competente y uniforme con una ligera influencia de granos finos al inicio de caja de núcleos. tramo de 39,58 a 41,97 m.

53,22 a 54,05

Intercalación de lutita con arenisca donde predomina la lutita, poco competente, con fracturas de hasta 40°, deleznable, se presenta laminación.

Ksm Lm-Lu

54,05 a 54,79

Lutita mezclada con granos de limo, competente, con varias fracturas naturales e inducidas.

54,79 a 55,45

Limolita mezclada con granos de arcilla, poco competente, muy fracturada.

55,45 a 56,35

Lutita mezclada con granos de limo, poco competente, muy fracturado, frágil, con fracturas naturales e inducidas.

56,35 a 57,98

Limolita entremezclada con granos de lutita, medianamente competente, cuenta con algunos líticos de más de 2 mm de grosor (Figura 6).

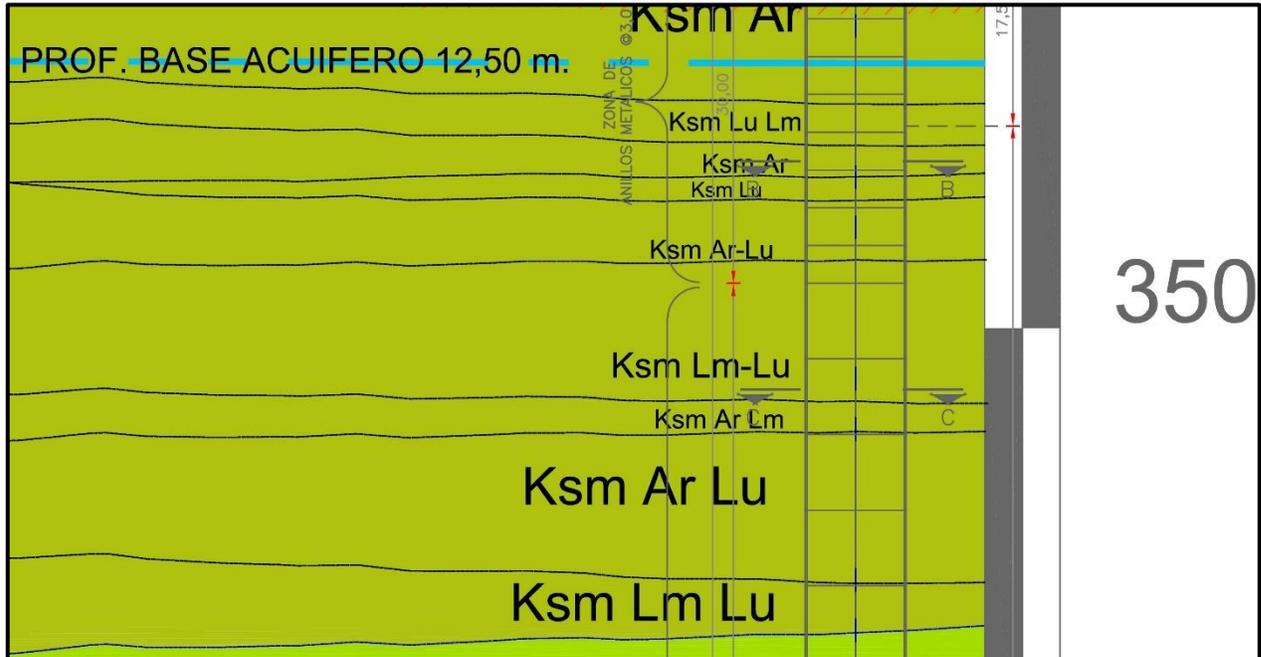


Figura 6. Características litológicas de la formación Escondido para la excavación del Tiro Vertical 2.

Ksm LuC-Ar

57,98 a 62,30

Lutita, lutita carbonosa mezcladas con granos más gruesos, poco competente, cuenta con más fracturas naturales que inducidas, frágil, cuenta con estratificación laminar.

62,30 a 64,51

Limolita uniforme medianamente competente, poco fracturamiento natural, zonas muy frágiles.

64,51 a 65,56

Lutita carbonosa medianamente frágil y competente, laminar, con importante contenido mineral, posee poco fracturamiento, exceptuando en la zona de contacto con la litología previa.

65,56 a 67,70

Arenisca de grano con influencia de granos de arcilla, lo que la hace menos competente, estratificada, fracturamiento horizontal tanto natural como inducido.

67,70 a 68,19

Limolita con influencia de granos de arena con grado bajo de fracturamiento natural e inducido, presenta buena competencia.

68,19 a 68,67

Lutita con alto grado de fracturamiento natural e inducido con ángulos de 35° y menores a 10°, deleznable.

68,67 a 69,80

Limolita con aporte de tamaño de grano correspondiente con arena, buena competitividad, los primeros 40 cm presentan fracturamiento natural e inducido con inclinación de 35° posteriormente se presenta una mejor competitividad y disminución de fracturas.

69,80 a 72,61

Arenisca de grano fino que presenta aportes de granos de limo que afecta ligeramente en su fragilidad, competente, ángulo de planos de debilidad menor a 10°.

Ksm LuC-Lm

72,61 a 76,18

Limolita que no presenta alguna mezcla de granos de otro tamaño, poco competente, con múltiples fracturas, en ocasiones se presenta disgregada, con ángulos de fractura de hasta 10° y 38°.

Ksm Ar-LuC

76,18 a 76,89

Lutita carbonosa altamente fracturada con ángulos de fractura de hasta 15°, frágil y poco competente.

Ksm Ar

76,89 a 85,90

Arenisca de grano medio que tiene aporte de granos finos hasta los 77,57 m, muy competente, presente poco fracturamiento, presenta una ligera estratificación laminar, de forma convoluta, y revuelta con nódulos de granos finos 78,80 m, de 79,67 a 79,90 m, cuenta con horizontes de mala selección de 78,04 a 78,25 m, 78, 41 a 78,50 m, de 80,10 a 80,44 m, 83,12 a 83,65 m, también cuenta con un horizonte de granos finos de color negro (N1) de 81,65 a 81,80 m.

Ksm Ar-Lu

85,90 a 86,04

Horizonte de lutita poco competente y muy fracturada con ángulos de fractura inferiores a 10°.

86,04 a 90,13

Arenisca de grano fino que presenta estratificación paralela a la horizontal y máxima inclinación de 16°, con estratos de granos finos de color negro, de 88,73 a 88,99 presenta un horizonte impregnado de lo que aparenta ser aceite, se asumen las estratificaciones como planos de debilidad.

90,13 a 91,36

Limolita con influencia de granos gruesos de arena, competente, resistente, ángulos de fractura de 35°.

91,36 a 92,31

Arenisca con influencia de granos finos de tamaño de limo, competente y sin fracturamiento considerable.

92,31 a 94,71

Arenisca con depósito de forma convoluta con mezcla de finos, también cuenta con estratificación horizontal.

Ksm Lu-Ar

94,71 a 101,27

Lutita con influencia de grano grueso de arena, que presenta laminación paralela a la horizontal, en la cercanía con contacto sobreyacente es muy competente y resistente, ángulos de fractura de hasta 36°.

101,27 a 101,60

Pequeño horizonte de lutita carbonosa que se presenta muy fracturado con ángulos bajos de hasta 20°, con laminación.

101,60 a 103,25

Lutita que presenta baja competitividad en contacto con lutita carbonosa y se hace más competente y con menos fracturas tanto naturales como inducidas a profundidad.

Ksm Ar-Lm

103,25 a 103,87

Horizonte de lutita carbonosa que presenta poco fracturamiento con ángulo bajo de hasta 20°, presenta laminación y líticos esporádicos.

103,87 a 104,86

Tramo de arenisca que se presenta muy competente entremezclado con granos muy finos, presenta pocas fracturas de ángulo menor a 10°.

104,86 a 107,10

Limolita de mediana competencia que cuenta con ángulos de fractura de hasta 42°, tiene mezcla de tamaño de grano de arena.

KSMLuC

107,10 a 108,46

Lutita que presenta poco fracturamiento con ángulos de hasta 40°, cuenta con relleno de fractura.

108,46 a 108,75

Horizonte de lutita carbonosa cuyas fracturas, naturales e inducidas, se muestran en ángulos bajos de hasta 20°.

108,75 a 110,60

Limolita que presenta muy baja competencia, disgregable, cuenta con líticos de tamaños inferiores a 2mm de color negro.

110,60 a 110,92

Horizonte de lutita carbonosa muy disgregable, cuyas fracturas, naturales e inducidas, se muestran en ángulos bajos de hasta 15°.

110,92 a 111,67

Lutita que se presenta muy frágil, cuenta con laminación y angulos de fractura de hasta 32°.

111,67 a 112,15

Lutita carbonosa que se presenta con buen RQD, cuenta con fracturas de ángulo medio, se notó la presencia de gas al momento del sondeo.

112,15 a 112,88

Lutita que no muestra mucho fracturamiento, de 32° máximo.

112,88 a 114,26

Lutita carbonosa que presentó evidencia de gas al momento de efectuarse el sondeo, frágil, con fracturas con ángulo de 32°.

114,26 a 115,39

Lutita muy frágil que presenta laminación y ángulos de fractura natural e inducida de 35°.

115,39 a 116,29

Limolita que se presenta de manera más competente que las litologías previamente mencionadas, con un ángulo de fractura de hasta 15°.

116,29 a 118,41

Lutita carbonosa que presentó evidencia de gas al momento de efectuarse el sondeo, frágil, con fracturas con ángulo de 32° e inducido a 10° como máximo.

118,41 a 118,91

Lutita muy frágil que presenta laminación y ángulos de fractura natural e inducida de 35° y menor a 10°.

118,91 a 119,36

Pequeño horizonte de limolita muy competente que se encuentra entremezclado con granos más finos, no presenta fracturamiento natural o inducido considerable.

119,36 a 119,97

Lutita carbonosa pequeño horizonte muy competente, no presenta fracturamiento natural o inducido considerable.

119,97 a 120,58

Limolita entremezclada con granos gruesos de arena con ángulo de fractura menor a 10°.

120,58 a 121,63

Pequeño horizonte de lutita muy competente que se encuentra entremezclado con granos más finos, presenta fracturamiento inducido considerable, se registró gas al momento de la perforación.

121,63 a 122,03

Limolita entremezclada con granos gruesos de arena con ángulo de fractura menor a 10°.

122,03 a 123,45

Lutita carbonosa que presenta fracturamiento inducido con ángulos de 10° y natural de hasta 40° , se contó con la presencia de gas al momento de realizar la perforación.

123,45 a 124,91

Lutita que se presenta muy competente y con ángulo de fractura de 40° .

124,91 a 125,31

Limolita que se presenta entremezclada con granos de arena dándole así, mayor resistencia y competitividad.

Ksm Ar

125,31 a 135,98

Arenisca con diversos tipos de depósito tanto convoluto como laminar y horizontal, los planos de debilidad se asumen como la estratificación horizontal que está rellena con materiales finos.

Ksm LuC

135,98 a 136,70

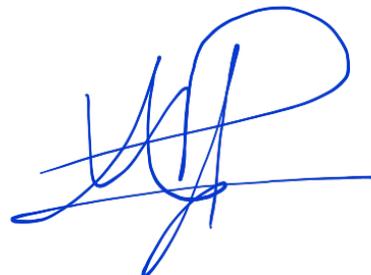
Limolita que se presenta entremezclada con granos de limo dándole así, mayor resistencia y competitividad, presenta poco fracturamiento natural de 40° .

136,70 a 146,58

Intercalación de lutita con lutita carbonosa que presenta buena competitividad y pocas fracturas naturales de hasta 42° , se contó con la presencia de gas al momento de la perforación, se cuenta con una zona de fallamiento con múltiples microfallas y fallas normales, así como fracturamiento natural muy marcado.

146,58 a 147,31

Zona de transición entre lutita carbonosa-lutita y arenisca, resultando así, una roca poco competente muy frágil con ángulos de falla de 42° (Figura 7).



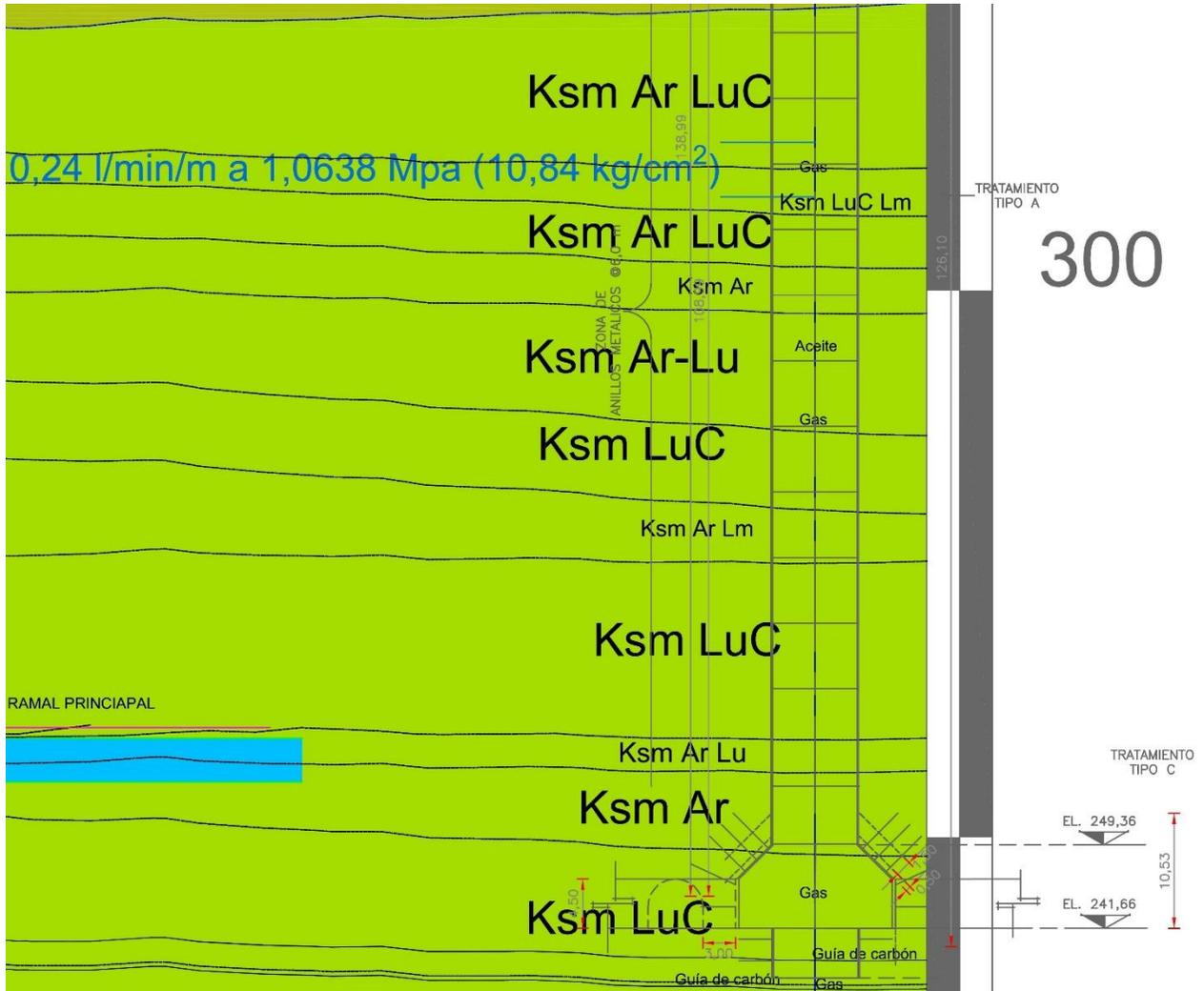


Figura 7. Características litológicas de la formación Olmos para la excavación del Tiro Vertical 2.

6 CONCLUSIONES

- A pesar de tratarse de materiales consolidados, las limolita y lutitas al momento de exponerse a factores atmosféricos tales como aire, agua, luz y calor solar, estas comenzaron a disgregarse de manera estrepitosa, debido a ello, debe ser considerado al momento de la ejecución de la obra.
- El material más competente que pueda sustentar una obra de mejor manera es la arenisca, a pesar de presentar planos de debilidad como su estratificación.
- Al momento de la ejecución de los dos sondeos se tubo presencia de gas, no solo en las guías de carbón, en el PCT-2 en algunos horizontes se identificó la emanación de este, uno cerca de una posible falla y evidencias de aceite en las muestras.
- La presencia de litologías constituidas por dos o más tamaños de grano de los grandes grupos (arcilla, limo, arena, grava) en ocasiones hace más competitiva una litología y a veces le resta competitividad a esta misma.

- Los sistemas estructurales con ángulos que van de 11° a 30° y de 31° a los 60° son los que generaran bloques a lo largo de la excavación, principalmente serán observados den las lutitas, limolita y lutitas carbonosas; mientras que la arenisca, los fracturamiento presentes son los que van en ángulos de 0° a los 10°, más cuando se encuentran con la lutita.
- Las fallas observadas en los dos tiros no presentan desplazamiento de consideración, pero si hay que mantener monitoreo cuando se vayan cruzando para ir realizando los tratamientos correspondientes.



**ANEXO 1:
SECCIONES
GEOLOGICAS 6 Y 7**



**ANEXO 2:
INFORMES
SONDEOS** DE

