



INFORME GEOLÓGICO – GEOFÍSICO PARA EL ESTUDIO DE  
INGENIERÍA BÁSICA PARA RESCATE EN PASTA DE  
CONCHOS; SAN JUAN DE SABINAS, COAHUILA.

SEG-DGL-K1330-I-001/06-0621 Rev00



JULIO DE 2021

Rev.	Fecha	Modificación	Numeral/Página	Autor	Aprobó
00	Julio-2021	Emisión original.	-	DEP. GEOL.	VPJ
<b>Documento</b>	Informe Geológico – Geofísico para el Estudio de Ingeniería Básica para rescate en Pasta de Conchos; San Juan De Sabinas, Coahuila.				
<b>Identificación</b>	SEG-DGL-K1330-I-001/06-0621 Rev00				



## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	ANTECEDENTES	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Localización y acceso	2
1.4	Volumen de Obra	3
<b>2</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b>	<b>4</b>
2.1	FISIOGRAFÍA	4
2.2	GEOMORFOLOGÍA	5
2.3	HIDROGRAFÍA	6
2.4	ESTRATIGRAFIA	7
2.5	MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL	10
<b>3</b>	<b>DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS DE EXPLORACIÓN DEL PROYECTO PASTA DE CONCHOS</b>	<b>12</b>
3.1	ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO DE ESTUDIO	12
3.2	GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL SITIO	22
3.3	EXPLORACION DIRECTA DE LOS SONDEOS	27
3.4	PRUEBAS DE PERMEABILIDAD	33
3.5	IDENTIFICACION LITOLOGICA MEDIANTE EL ESCANER Y VIDEOFILMACIONES	41
3.6	INTEGRACION GEOLÓGICO - GEOFÍSICA	46
<b>4</b>	<b>CONDICIONES GEOLOGICAS PARA LA EXCAVACIÓN DE LOS SITIOS DE OBRA</b>	<b>53</b>
4.1	PORTAL DE ENTRADA	53
4.2	RAMPA GENERAL	54
4.3	RAMAL GENERAL	57
4.4	RAMAL 1	58
4.5	RAMAL 2 (PONIENTE Y ORIENTE)	59
4.6	RAMAL 3	64
4.7	TIROS VERTICALES	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>70</b>

**ANEXO A PLANOS Y SECCIONES**

**ANEXO B INFORMES DE SONDEOS**

**ANEXO C FICHAS DE LEVANTMIENTOS DE CAMPO**

**ANEXO D FICHAS DE SONDEOS PCV**

**ANEXO E REPORTE TIROS VERTICALES**



## 1 GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Conforme a los acuerdos que llegó el Gobierno Federal y los familiares de los mineros fallecidos en Pasta de Conchos en 2006; se determinó iniciar de con los estudios y propuestas de las obras que se requieren para el rescate de los cuerpos a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) y el Servicio Geológico Nacional (SGM) realizaron la entrega a la CFE de toda la documentación y los estudios técnicos relacionados con la mina Pasta de Conchos desde el 2006 hasta el 2020.

En atención a la instrucción del Gobierno Federal la CFE ha realizado los estudios de campo que han permitido efectuar los trabajos de ingeniería de detalle correspondientes, para llevar a cabo el rescate de los cuerpos de los 63 mineros atrapados en la Unidad 8 de la Mina Pasta de Conchos.

### 1.2 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.

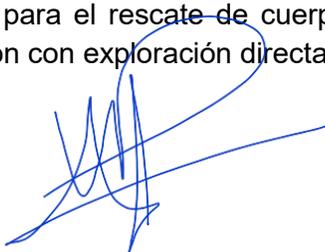
Después de los intentos de rescate en 2006 y 2007, en junio de 2010, Industria Minera México (IMMSA) procedió a sellar todas las entradas a la mina conforme a las instrucciones de la norma MSHA120-75.336.1.07.010 de la “*Mine Safety and Health Administration*”.

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.

El 1° de mayo de 2019, el presidente de la República aprobó el rescate de los restos de los 63 mineros y propuso elaborar el “Plan Integral para la Reparación y la Justicia en Pasta de Conchos” y, para realizar este proyecto, comisionó a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) desarrolla los estudios para la ingeniería básica de las obras para el rescate de cuerpos en la Unidad Minera de Pasta de Conchos, obteniendo información con exploración directa y la integración de un modelo geotécnico.



El Departamento de Geología se dispuso a revisar toda la información que se tenía antes del inicio del proyecto y de desarrollar un nuevo modelo geológico – geofísico junto con esta nueva información y la exploración que ejecuto durante los meses de noviembre de 2020 a junio del 2021.

## 1.2 Objetivo

- Establecer un modelo geológico con los precedentes de información que tienen **IMMSA** y **SGM** hasta el 2020, para cinco alternativas de acceso que se tiene propuestas.
- Con la alternativa definida, se elaboró un modelo geológico – geofísico de detalle, con la finalidad de conocer las condiciones que se puedan presentar durante la excavación de las obras, las cuales emprenden portal de entrada, rampa de acceso, túneles principales, ramales, túneles de acercamiento y tiros verticales

## 1.3 Localización y acceso

Mina 8, como se conoce a Pasta de Conchos, se localiza en el municipio de San Juan de Sabinas en el estado de Coahuila. Para llegar al sitio partiendo de la localidad de Nueva Rosita, se toma la carretera número 53 con rumbo a Palao; al pasar el poblado y río Paso del Coyote se continua por unos kilómetros, hasta llegar a la Universidad Tecnológica de la Región Carbonífera (UTRC) y se da vuelta a la derecha para tomar camino a Rancho Nuevo por 4,8 km, llegando a la entrada de la mina Pasta de Conchos.



Figura 1. Localización de Mina 8, Pasta de Conchos; localizado en el municipio de San Juan de Sabinas en el estado de Coahuila.

## 1.4 Volumen de Obra

En el estudio para los estudios para las obras de rescate de mineros de Pasta de Conchos, se realizó un levantamiento de semidetalle de la superficie, descripción de barrenos, pruebas de permeabilidad, análisis de información y la realización de informes de barrenos e informe geológico. En la Tabla 1 se muestran las actividades y volúmenes de obra ejecutados.

*Tabla 1. Resumen del volumen de obra ejecutado*

Actividad	Unidad	Volumen
Levantamiento geológico de semidetalle	km <sup>2</sup>	11
Descripción detallada de núcleos de sondeos.	m	4500
Ejecución, calculo e interpretación de pruebas de permeabilidad tipo lugeon y lefran.	prueba	150
Revisión y análisis de la información.	Análisis	1
Integración y análisis de la información geológico – geofísica.	Integración	1
Informe geológico.	Informe	2
Informe técnico de barrenos.	informe	31

## 2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1 FISIOGRAFÍA

El estado de Coahuila está definido por tres provincias fisiográficas: Sierras y Llanuras del Norte, que abarcan más del 17% del territorio y está definida por tres subprovincias; La Sierra Madre Oriental que abarca más del 65% del estado y la conforman 8 subprovincias, donde destacan Las Sierras y Llanuras Coahuilenses y la Sierra de Paila; y el resto del paisaje lo define la provincia de Grandes Llanuras de Norteamérica definida por la subprovincia de Llanuras de Coahuila y Nuevo León; en esta última se localiza el municipio de San Juan de Sabinas, donde se localiza la mina de Pasta de Cochos (Figura 2).

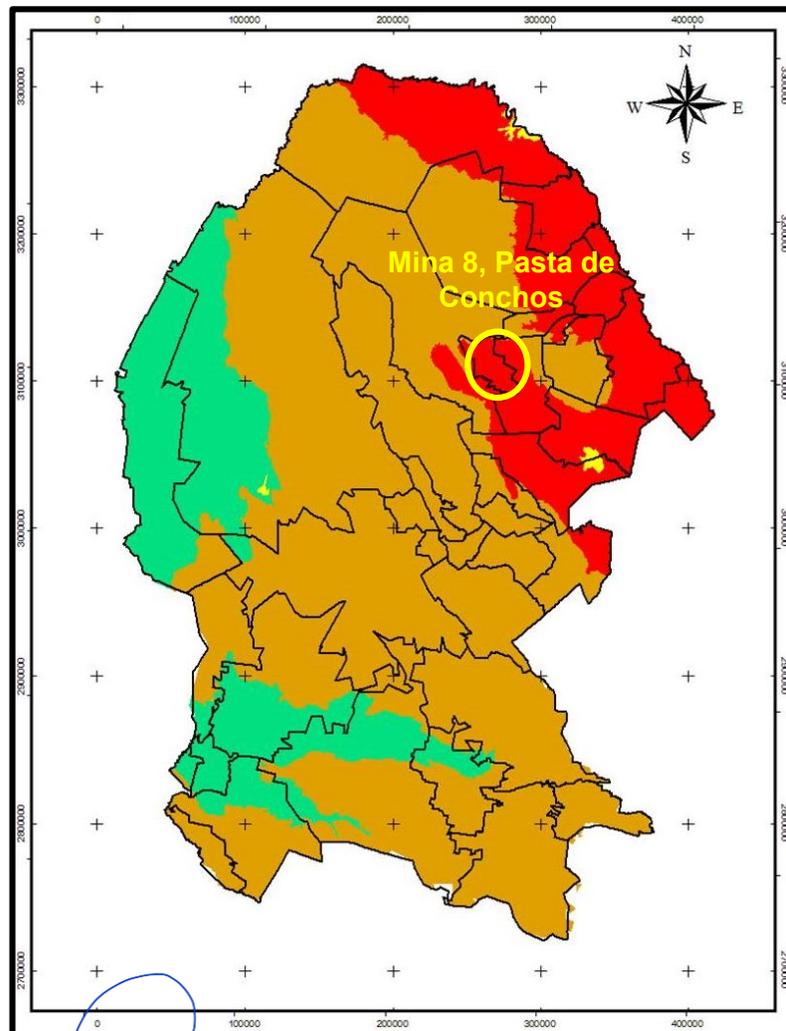


Figura 2. Provincias fisiográficas del estado de Coahuila (INEGI, 2021).

## 2.2 GEOMORFOLOGÍA

La zona de Mina 8, Pasta de Conchos se localiza en una región morfológica denominada lomeríos en lutitas y areniscas. Estos lomeríos presentan formas suaves, redondeadas, que se elevan entre 10 y 60 m sobre los valles. En la zona comprendida entre Múzquiz y Sabinas, son frecuentes las elevaciones topográficas, onduladas, de poca pendiente, que se elevan de 20 a 40 m sobre los valles. Corresponden a remanentes de erosión de las formaciones del Cretácico Superior (Olmos, San Miguel y Escondido). Por otra parte, el Lomerío de Peyotes, corresponde a un anticlinal de forma cómica y flancos de suave pendiente, que en el centro y parte alta se eleva a 700 msnm y a 350 m sobre el valle de Sabinas-Nueva Rosita. Tiene una forma elíptica con su eje mayor en dirección NW-SE y 70 km de longitud por 30 km en su eje menor (Figura 3).

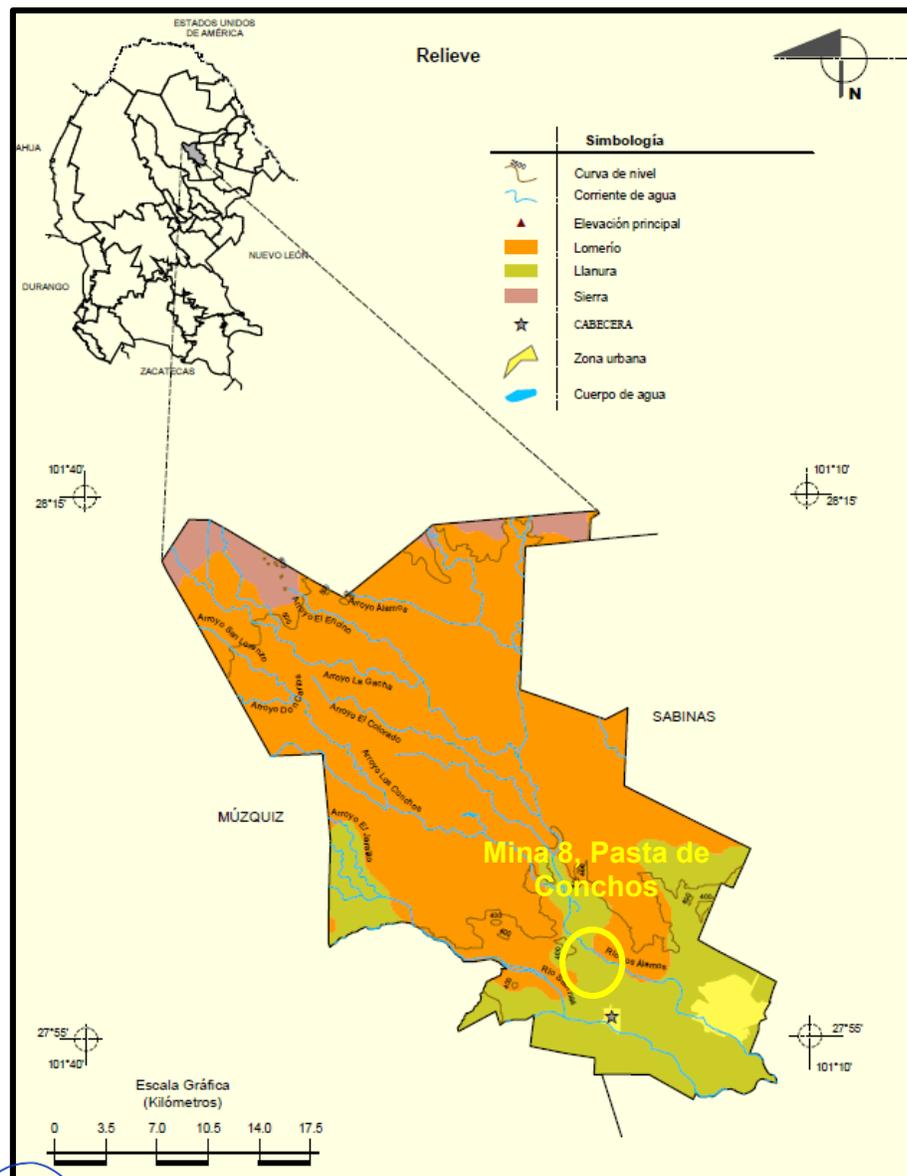


Figura 3. Mapa morfológico de la región de San Juan de Sabinas, municipio de Coahuila, donde se localiza la mina Pasta de Conchos (INEGI, 2009).

### 2.3 HIDROGRAFÍA

El área de estudio de la mina Pasta de conchos se localiza dentro de la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, cuenca Presa Falcón-Río Salado.

La Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos se localiza al Norte del país en la parte central de América del Norte, su cauce principal y la frontera entre los Estados Unidos de América y los Estados Unidos Mexicanos es el Río Bravo, que comprende desde las ciudades de El Paso, Texas y Ciudad Juárez, Chihuahua, hasta su desembocadura en el Golfo de México; tiene una superficie de escurrimiento de 226,275 km<sup>2</sup>. En el estado existen alrededor de 15 presas, las dos más importantes son la Presa de La Amistad y la Presa Venustiano Carranza, conocida también como Don Martín.

La cuenca Presa Falcón-Río Salado es la más extensa de la Región Hidrológica, tiene una topografía abrupta en el oeste, determinada por la Sierra Madre Oriental, la superficie restante está constituida principalmente por lomeríos y grandes zonas planas desérticas. Su extensión en el estado es de 4,600 km<sup>2</sup>. El principal colector en la cuenca es el Río Salado, cuyo régimen es perenne, se origina en la confluencia de los ríos Sabinas y Salado o Nadadores, donde se construyó la presa Venustiano Carranza, la cual tiene una capacidad de 1,368 hm<sup>3</sup> (Figura 4).

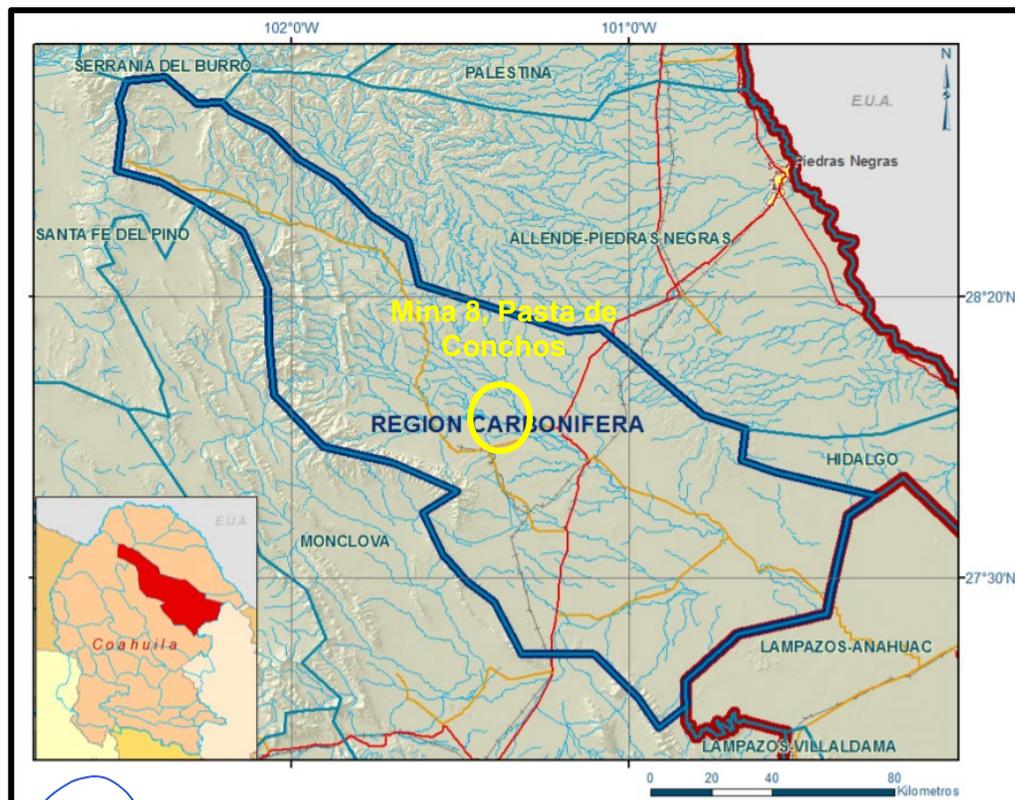


Figura 4. Región Hidrográfica de la zona carbonífera, donde se localiza la mina pasta de Conchos (CONAGUA, 2015).

## 2.4 ESTRATIGRAFIA

La Región Carbonífera de Coahuila, también designada “Cuenca de Sabinas”, se divide en dos sub-regiones. La primera se localiza al sur de las poblaciones de Nueva Rosita y de Sabinas, y se extiende hasta las cercanías de Monclova, cubriendo una superficie aproximadamente de 10,000 km<sup>2</sup> (Figura 5). La segunda se localiza en el área Nava-Piedras Negras, se extiende en una franja paralela al Río Bravo del Norte, cubre una superficie de aproximadamente 2,000 km<sup>2</sup> y se le designa “Zona de Fuentes-Río Escondido”, nombre tomado de una pequeña mina del área. (Robeck et al., 1956, 1960; López-Ramos, 1985; Flores-Galicia, 1988; Verdugo y Ariciaga, 1988a, b; Flores-Espinoza, 1989; Santamaría Orozco, 1990; Brizuela, 1992).

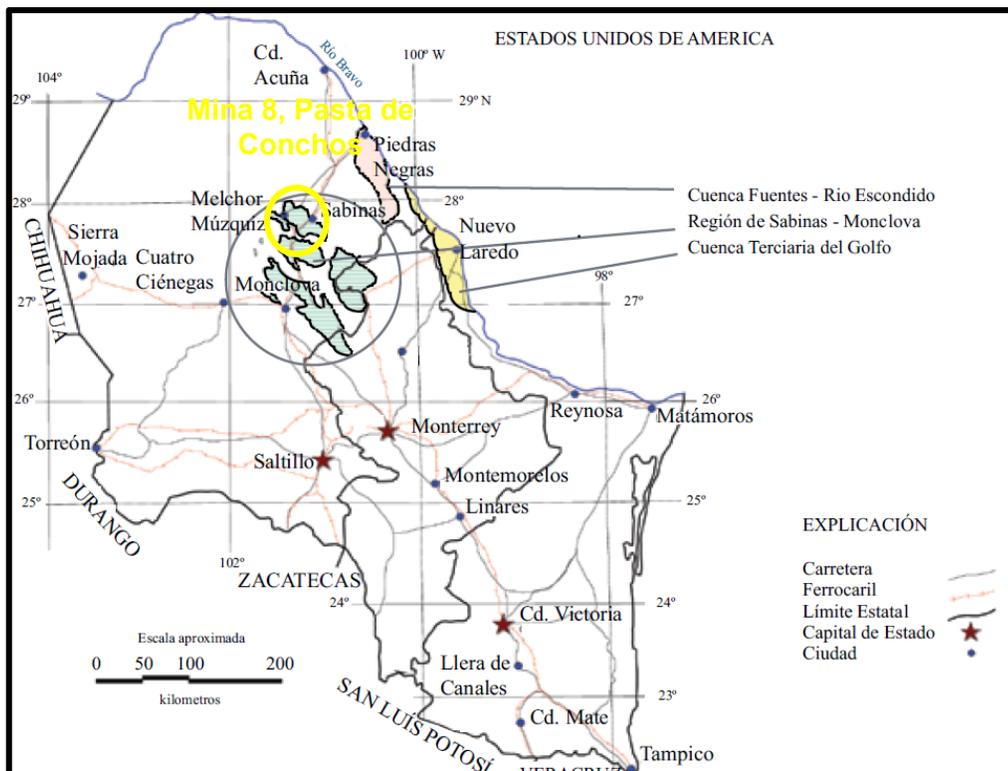


Figura 5. Plano de localización de las cuencas carboníferas de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Tomado de Rivera-Martínez y Alcocer-Valdés 2003).

Geológicamente, la “Cuenca de Sabinas” está constituida por ocho “subcuencas” que se corresponden con sinclinales amplios, cuya orientación NW-SE se ajusta a la estructura regional. Estas “subcuencas” localmente se designan como Sabinas (en esta cuenca se localiza la mina Pasta de Conchos), Esperanzas, Saltillito, Lampacitos, San Patricio, Las Adjuntas, Monclova y San Salvador (Flores-Galicia, 1988) (Figura 6). Las rocas que afloran dentro de la Región Carbonífera de Coahuila varían en edad del Jurásico Tardío al Cuaternario (Young, 1972, 1983; Flores-Galicia, 1988; Santamaría Orozco, 1990; Eguluz de Antuñano, 2001; Román-Ramos y Holguín-Quñones, 2001). Los materiales mesozoicos están esencialmente representados por rocas sedimentarias de ambientes marinos; los sedimentos del Terciario y Cuaternario están esencialmente representados por rocas de tipo continental, incluyendo algunos derrames de

*[Firma manuscrita]*

basalto. Estas rocas han sido estudiadas por varios autores, entre ellos Robeck et al. (1956, 1960), de quien se transcribe parte de sus descripciones.

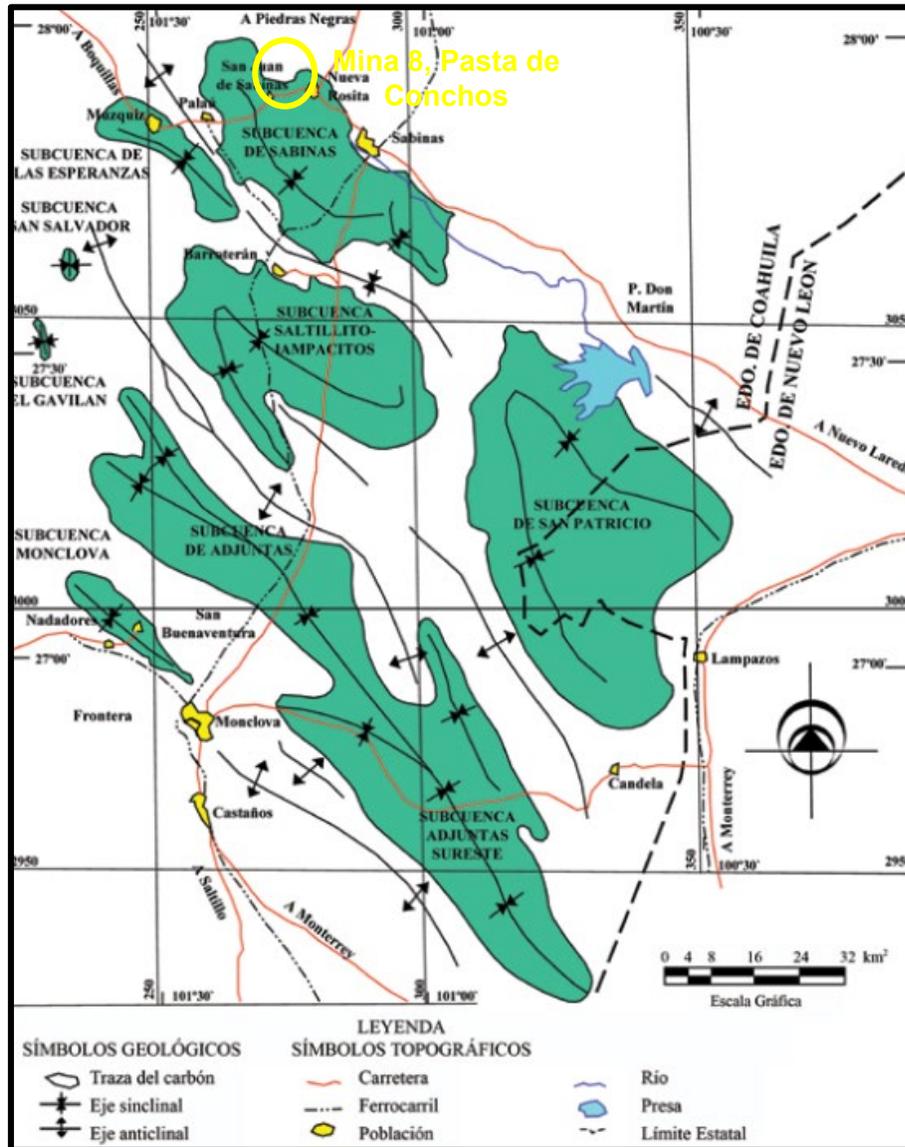


Figura 6. Plano de localización de la Cuenca Sabinas-Monclova (Tomado de Rivera-Martínez y Alcocer-Valdés 2003).

Dentro de la zona de estudios se describen de forma general las principales unidades litológicas y formaciones que se presentan en esta:

### FORMACIÓN SAN MIGUEL

Su localidad tipo se localiza en Eagle Pass, Texas. En México aflora en varias partes del área planificada de la región de Sabinas. La formación está constituida por limolita de estratificación delgada que cambian gradualmente hacia arriba hasta limolita sin estratificación y a algunas areniscas estratificadas con varias especies de fósiles marinos del final de Campaniano. Su espesor en el área de Sabinas es del orden de 270 m (Robeck et al., 1956).

*[Firma manuscrita]*

## **FORMACIÓN OLMOS**

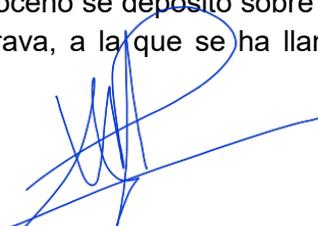
La Formación Olmos, cuya edad es Cretácico Tardío (Robeck et al., 1956), es conocida también como “Formación del Carbón”. Es la de mayor importancia económica ya que contiene los principales mantos de carbón. Fue definida por L.W. Stephenson (1927), quien la describió de la manera siguiente : “La discordancia entre las formaciones Taylor y Navarro se continúa hacia el occidente entre la caliza Anacacho y la formación suprayacente Escondido, pero en Maverick Country, el hiato estratigráfico representado por la discordancia, se encuentra parcialmente cubierto por capas no marinas, conocidas hasta ahora como “coal series” y aquí denominadas Formación Olmos, que se interponen entre las Formaciones San Miguel y Escondido. El nombre Olmos se tomó de la estación ferroviaria de bandera: Olmos, ubicada sobre el afloramiento de la formación y del Arroyo Olmos, que sigue el rumbo de la formación cerca del centro de la zona del afloramiento desde un punto a 11 u 12 kilómetros al norte de Eagle Pass, hasta la confluencia del arroyo con el Río Grande. El espesor de la formación varía desde casi imperceptible hasta 121 a 152 metros. La formación consiste de lutitas gris verdosa y limolita arenosa fina, interestratificadas irregularmente con arenisca gris verdosa, fina a gruesa, blanda a dura, de estratificación delgada a maciza, más o menos diastratificada, que contiene algunas capas con ondulitas y mantos de carbón y lignito. Parece haber discordancia tanto en la base como en la cima de la Formación Olmos”. Robeck et al. (1956) mencionan que en el área de Sabinas no es posible planificar individualmente los estratos de la Formación Olmos, debido a su excesiva naturaleza lenticular. Sin embargo, se determinaron cinco zonas litológicas planificables; estas zonas no se definieron al grado de poder considerarlas como miembros de la Formación Olmos. En la sección de El Cedral, la zona del carbón tiene 36 m de espesor; consiste de un doble manto de carbón y localmente, dos o tres mantos lenticulares, delgados, arriba del doble manto. El resto de la zona está compuesto por argilitas en la base, que varía hacia arriba a limo y finalmente cambia a arena fina, en un horizonte por lo regular indefinido.

## **FORMACIÓN ESCONDIDO**

La edad de esta formación es Cretácico Tardío y se encuentra cubriendo concordantemente a la Formación Olmos. Su localidad tipo está en la confluencia del Río Escondido, cerca de Piedras Negras y más o menos sigue el curso del Río Bravo aguas abajo, por 60 kilómetros, hasta Loma Prieta donde está expuesto el contacto entre el Cretácico y las capas del Eoceno (Dumble, 1892). Robeck et al. (1956), señalan que en el área de Sabinas esta formación está expuesta a lo largo del camino de Nueva Rosita a la de Las Esperanzas, pero en general son escasos los afloramientos. Está compuesta por limolita y argilitas macizas a fósiles, contiene algunas lentes calcáreas fosilíferas que aumentan en número, espesor y longitud hacia arriba de la sección, hasta formar estratos de 0.05 m de espesor.

## **CONGLOMERADO O FORMACIÓN SABINAS**

Durante el Terciario toda la región quedó sobre el nivel del mar, sujeta a la erosión. Ya durante el Plioceno se depositó sobre aproximadamente la tercera parte del área una capa muy extensa de grava, a la que se ha llamado conglomerado Reynosa. Robeck et al. (1956) proponen el



nombre de Conglomerado Sabinas para su uso en México, debido a que el conglomerado presenta múltiples afloramientos en la ciudad de Sabinas y a lo largo del río del mismo nombre. La formación está restringida a las terrazas de grava más altas que normalmente se levantan de 20 a 30 m sobre los valles adyacentes. El Conglomerado Sabinas consiste de gravas de calizas más o menos cementadas por carbonato de calcio. El tamaño de los constituyentes de la grava varía desde bloques angulosos de un metro, cerca de las montañas, hasta guijarros de 5 cm de diámetro o menores en Don Martín, a 70 km de las montañas. Localmente, como en los piloncillos, la formación consiste de 5 a 6 m de caliza maciza en la que no hay guijarros. En el Cedral, el espesor de la formación es de unos 15 m en el afloramiento que hay bajo la corriente de lava que cubre esa región.

## **SUELO Y ALUVIÓN**

De acuerdo con Robeck et al., (1956) durante el Cuaternario hubo varios lugares donde se depositaron cantidades variables de grava y limo, quedando sujetos a la erosión. Probablemente hubo varios factores que causaron la obstrucción de los cauces de algunos arroyos formando barriales y lagos transitorios durante el final del Plioceno y Pleistoceno. Entre esos factores tal vez figuraron movimientos tectónicos, cambios climáticos y bloqueo de los cauces por corrientes de lava. Todos estos depósitos, cuya edad comprende desde el final del Terciario al Reciente, han cubierto las rocas cretácicas. Actualmente las corrientes fluviales ya no están bloqueadas y, con excepción de los lugares cercanos a las montañas, están causando degradación de sus cauces.

### **2.5 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL**

Estructuralmente, las rocas sedimentarias de la región adoptan la forma de anticlinales y sinclinales de dimensiones relativamente grandes, estructuras que presentan complicaciones locales tales como recostamientos, plegamientos subordinados en las calizas de estratificación delgada, y adelgazamiento de las formaciones de lutitas; estas rocas están también afectadas por diapiros de yeso y cuerpos ígneos intrusivos. Las rocas plegadas más jóvenes son del final del Cretácico y sobre ellas descansa en posición discordante el conglomerado Sabinas, considerado como del Plioceno. De todas las estructuras la más larga es el anticlinal de la Sierra de Santa Rosa, el cual tiene 120 kilómetros de longitud; la más corta es el anticlinal de Metatosa, que tiene tan sólo 10 km. El anticlinal de la Sierra de la Gloria se levanta hasta unos 2,200 metros sobre el nivel del mar y 1,540 metros sobre el nivel de los valles adyacentes, y es el que exhibe el mayor relieve estructural en la región; el de menor relieve es el anticlinal de Metatosa, con 700 m (Robeck et al., 1956). Todos los anticlinales buzan en sus extremos hacia las cuencas adyacentes. Por lo regular la cresta de los anticlinales mantiene la misma elevación por varios kilómetros, tal como se observa en la Sierra de Santa Rosa, pero en sus extremos buzan bruscamente hacia las cuencas. En otros, como en la Sierra de la Laja, la cresta presenta una curvatura continua entre uno y otro extremo (Robeck et al., 1956). Los anticlinales son por lo regular más empinados en su flanco noreste, donde es común encontrar inclinaciones de 70°, aunque también hay lugares donde las capas son verticales o ligeramente recostadas. En los

flancos suroeste, de la mayoría de este tipo de estructura la inclinación varía desde 20° hasta 60° (Robeck et al., 1956).

Los sinclinales son cuencas estructurales que se reflejan fisiográficamente en forma de cuencas topográficas. Las cuencas que existen al noreste de la Sierra de Las Hermanas son por lo regular poco profundas y de forma elíptica, en tanto que las que se encuentran hacia el suroeste son profundas, alargadas y angostas (Figura 7).

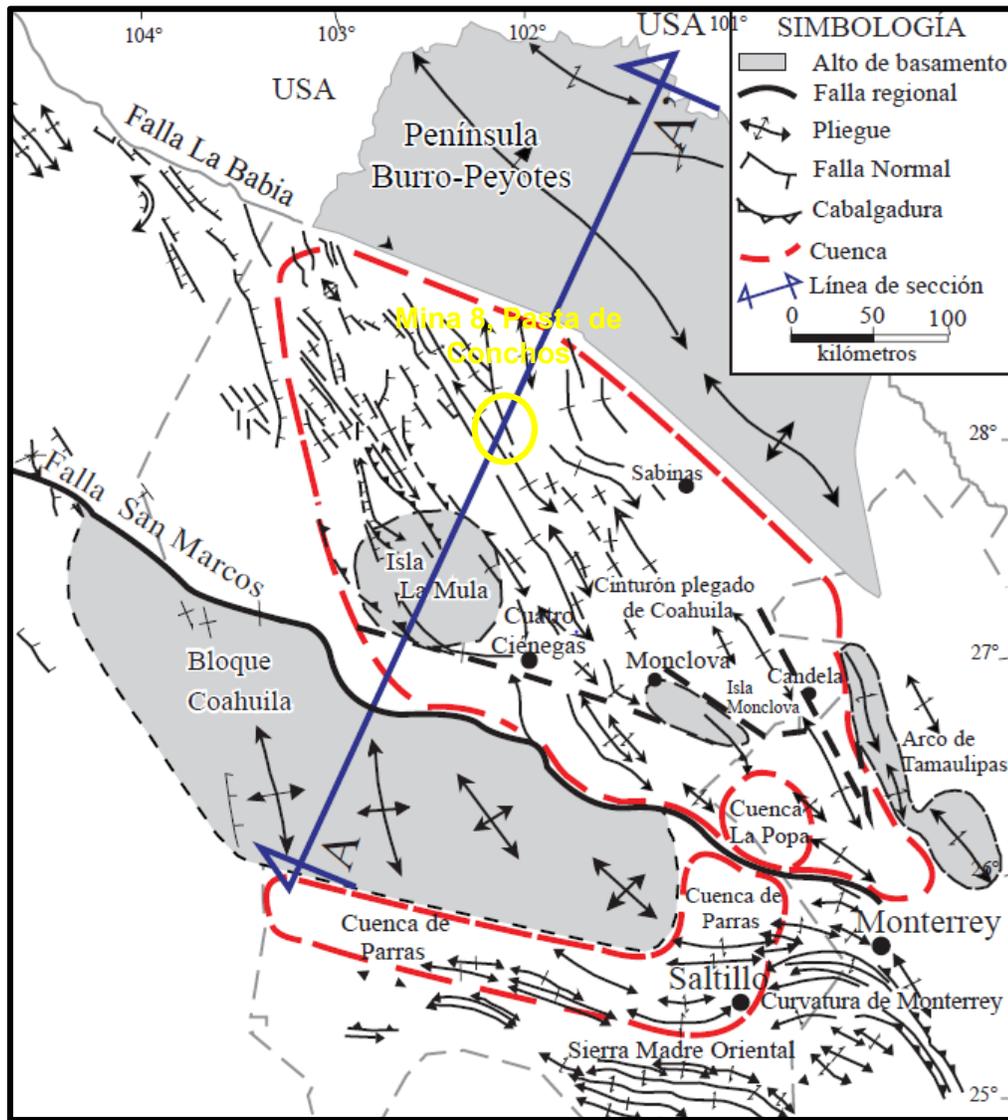


Figura 7. Configuración estructural y rasgos tectónicos del Noreste de México (estado de Coahuila y áreas adyacentes). Modificado de Chávez-Cabello et al. (2005).

### 3 DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS DE EXPLORACIÓN DEL PROYECTO PASTA DE CONCHOS

#### 3.1 ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO DE ESTUDIO

En la zona de estudio se llevó a cabo levantamientos geológicos a semi-detalle en afloramientos de roca que se observaron en las proximidades del sitio, principalmente en la cercanía del río Sabinas.

La zona se caracteriza por tener una cobertura de suelo residual, y ser muy llana, que dificulta tomar datos de afloramientos en la zona, sin embargo se pudieron identificar unidades litológicas y depósitos expuestos como: material aluvial (Qal), arenisca (KsmAr) y lutita (KsmLu) de la Formación Escondido. Las demás unidades litológicas fueron identificadas en los sondeos de exploración directa. A continuación, se esquematiza en la columna litológica del área de estudio (Figura 8) y se describirán estas unidades litológicas:

EÓN				PERIODO		ÉPOCA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Qal	Qsr	<p><b>Suelo Residual (Qsr).</b> Material poco consolidado, compuesto por materiales arcillosos y arenosos (0,002 a 0,063 mm), con un alto grado de adherencia y consistencia plástica; presentándose con un color café pardo oscuro.</p> <p><b>Aluvial (Qal).</b> Depósitos no consolidados derivados de la transportación fluvial de la zona, está compuesta por un matriz limo arcillosa y fragmentos líticos de rocas preexistentes gruesas (63 mm) y bloques (256). Su forma va de sub-redondeados a redondeados.</p>			
			No depósito					
	NEÓGENO	PLEISTOCENO						
PALEÓGENO	OLIGOCENO							
MESOZOICO	CRETÁCICO SUPERIOR	Ksm Ar-Lm-Lu		<p><b>Fm. Escondido (Ksm Ar-Lm-Lu).</b> Unidad común espesor promedio de 65,00 m. Se observa en los primeros metros arenisca y lutita, ambas meteorizadas con un espesor de 11,00 metros, presentándose muy deleznable y con una coloración naranja amarillenta pálida. Al finalizar la zona meteorizada, se encuentran secuencias de lutita gris oscuro, limolita verde pálido y arenisca que presenta grano fino a grueso (0,063 a 0,63 mm) con una coloración gris claro. Es común la presencia de estratificación sub-horizontal.</p>				
		Ksm Lu-Lu-C-Ar		<p><b>Fm. Olmos (Ksm Lu-Lu-C-Ar).</b> Unidad litológica con un espesor promedio de 68,00 metros. Constituida por secuencias de lutita gris claro y lutita carbonosa con cantidad considerable de materia orgánica, que presenta una coloración negro grisáceo, ambas se componen de un tamaño de arcillas de 0,002 mm; Secuencia litológica de limolita deleznable verde pardo claro con un tamaño de limo que va de 0,004 a 0,008 mm; arenisca muy compacta de grano fino a medio (0,063 a 0,63 mm) color gris claro y en la base de la formación un manto de carbón de color negro, con un brillo lustroso, muy frágil que se rompe al tener contacto con la intemperie, espesor promedio de 2,4 metros.</p>				
		Ksc Ar		<p><b>Fm. San Miguel (Ksc Ar).</b> Depósitos de areniscas de color gris claro, con un tamaño de grano que va de fino a grueso (0,002 a 0,63 mm), muy compacta, presenta un contacto grano a grano y presenta porosidad; En diferentes puntos de la zona un olor intenso a aceite, y se llegan a observar pequeños horizontes de lutita.</p>				

Figura 8. Columna litológica de Mina 8, Pasta de Cochos.

## SUELO RESIDUAL (Qsr)

Esta unidad tiene una gran extensión en toda la región presenta un espesor promedio en la zona va de los 0,18 a los 2,50 m, presenta poca consolidación, está compuesto por materiales que van de arcillas hasta arenas (0,002 a 0,063 mm), con un alto grado de adherencia y consistencia plástica; con un color café pardo oscuro (10R 4/6) y en algunas zonas con presencia de materia orgánica.



Fotografía 1. Suelo residual. Excavación dentro del terreno de IMMSA.

## ALUVIAL (Qal)

Depósitos no consolidados derivados de la transportación fluvial de la zona, está compuesta por un matriz limo arcillosa (1/250 a 1/16 mm) observado en la zona de descarga del sondeo en un color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) y fragmentos líticos de rocas preexistentes que van desde gravas medias (16 mm) a gruesas (63 mm) y bloques (256). Su forma va de sub-redondeados a redondeados como se puede observar en la muestra del sondeo PC-20 (SEG-DGL-K1330-I-024/06-0621).



Fotografía 2. Material Aluvial, recuperado del sondeo PC-20 (SEG-DGL-K1330-I-024/06-0621).

## FORMACIÓN ESCONDIDO (Ksm Ar-Lu-Lm)

En esta unidad se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias de diferente tamaño de grano, distribuidas en toda la zona de estudio con un espesor promedio de 65,00 metros, la cima de la formación presenta una zona de meteorización en los primeros metros, tiene un color característico naranja amarillento pálido (10YR 8/6), mientras que en roca fresca tiene un color gris verdoso (5G 6/1) esta particularidad se observa en los afloramientos vistos en campo (Anexo C; fichas: F-K1330-GEOL-F1-001, F-K1330-GEOL-F1-002, F-K1330-GEOL-F5-007, F-K1330-GEOL-F1-004, F-K1330-GEOL-F1-005, F-K1330-GEOL-F1-006, F-K1330-GEOL-F1-007) que se presentan en las proximidades de la Mina de Pasta de conchos, cercano al río álamos.

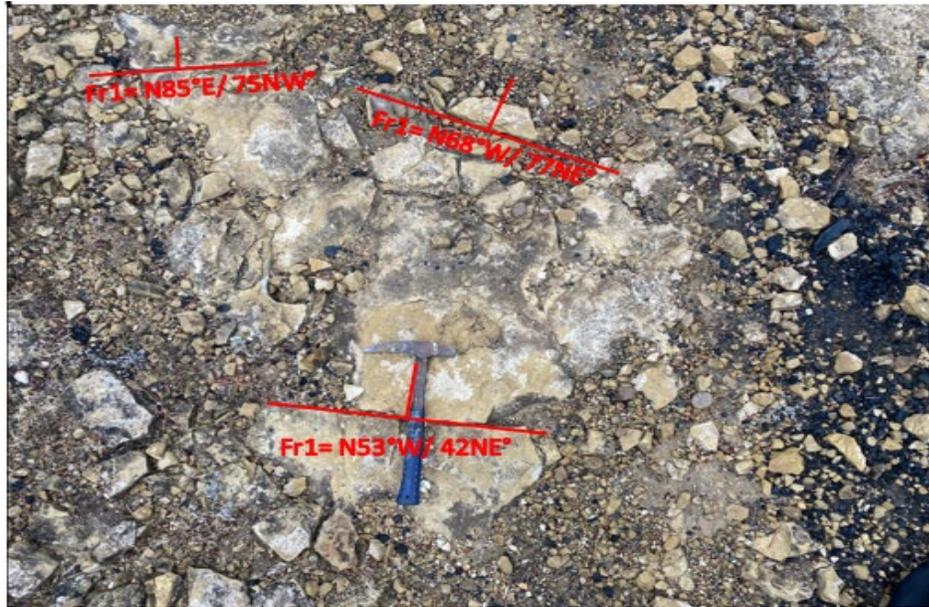
A continuación, la descripción de cada litología de la Formación Escondido:

*Arenisca Meteorizada (KsmAr):* Unidad de roca meteorizada con diferentes grados poco competente, presentando un tamaño de grano fino a medio (0,25 a 0,125 mm), con una coloración que va de gris amarillento (5Y 7/2) al amarillo moderado (5Y 7/6) como se puede apreciar en la Fotografía 3, esta roca está presente en los afloramientos ya mencionados, y en los primeros metros de los sondeos.



Fotografía 3. Secuencia de areniscas que presentan una mínima diferencia de tamaño de grano medio a fino (0,25 a 0,125 mm) el color varía entre gris amarillento (5Y 7/2) al amarillo moderado (5Y 7/6). Rocas moderadamente intemperizadas. Este afloramiento se ubica en las siguientes coordenadas:  $E(X)=270\ 832$ ,  $N(Y)=3\ 096750$ ,  $Z=383$ .

Esta arenisca tiende a tener fracturas planas rugosas en mayor porcentaje como se puede observar en la Fotografía 4 y 5 de los afloramientos a piso (F-K1330-GEOL-F1-001) y en menor cantidad, discontinuidades onduladas rugosas.



Fotografía 4. Fractura en afloramiento a piso, en las coordenadas E(X)=271 067, N(Y)=3 095 893, Z=386.



Fotografía 5. Afloramiento a piso, con las coordenadas E(X) = 271 414.00, N(Y)=3 096 090.00, Z=390.00.

**Lutita meteorizada (KsmLu):** Unidad de roca con grados de meteorización IV a V, con arenas de grano muy finos (0,002 mm), se presentan horizontes más competentes por la mezcla de granos mayores como se puede observar en la Fotografía 6, del sondeo PCT-1 (SEG-DGL-K1330-I-029/06-0621)



Fotografía 6. Suelo residual y los primeros metros de la Formación Escondido (Arenisca y lutita), con un grado de meteorización que va de IV a V. Muestra del sondeo PCT-1 (SEG-DGL-K1330-I-029/06-0621).

**Arenisca (Ksm):** Al terminar la zona meteorizada generalmente se encuentra una arenisca sana y competente, de color gris claro (N7) y con una granulometría que va de grano fino a medio que va de 0,2 a 0,063 milímetros (Fotografía 7), que sobreyace a una intercalación de lutitas, que su tamaño de arcillas es de 0,002 mm, y un color verde grisáceo (10GY 5/2); las limolitas se presentan con una coloración gris claro verdoso (5G 8/1) y con un rango de limos que van de 0,004 a 0,008 mm, esta limolita al perder humedad se disgrega muy fácilmente.



Fotografía 7. Contacto entre la zona meteorizada y la arenisca sana. Sondeo PC-15 (SEG-DGL-K1330-I-019/06-0621).

**Lutita (KsmLu):** Roca compuesta por arenas de grano muy fino (0,002 mm), se observa en un color gris claro (N7) a un gris oscuro (N3), esta unidad presenta horizontes de roca disgregada, al entrar en contacto con la intemperie y al perder humedad, esta se agrieta con facilidad como se puede observar en la Fotografía 8.



Fotografía 8. Lutita con fracturas y agrietamientos debido a la pérdida de humedad.

**Limolita (KsmLm):** Roca compuesto por limos que van de 0,004 a 0,008 mm, con un color en muestra seca que va de verde muy pálido (10G 8/2) en seco y húmedo un color azul verdoso pálido (5BG 7/2), las fracturas que se presentan en esta litología tienden a ser onduladas (rugosas y lisas), esta limolita tiene horizontes más concurrecidos de roca disgregada a comparación de la limolita de la Formación Olmos.

**Lutita-Arenisca (KsmLu-Ar):** Lutita de grano muy fino (0,002mm) con un aporte de grano fino (0,063 mm), esta unidad es más competente a comparación de una lutita pura, es de color muestra seca de gris claro (N7) en seco y en muestra húmeda es gris medio (N5).

**Arenisca-Lutita (KsmAr-Lu):** Se componen las arenas de materiales de grano fino a grano medio (0,063 a 0,2 mm) y las lutitas se componen de arcillas (0,002 mm). En ambos casos se tiene una mezcla de estos materiales, aunque en algunas zonas se observa estratificada la arenisca y la lutita, y en otras zonas e observan estas litologías combinadas (Fotografía 9).



Fotografía 9. Arenisca-Lutita (Ksm Ar-Lu). Horizonte de lutitas estatificada y combinada.

**Limolita-Lutita(KsmLm-Lu):** Litología constituida por dos tipos de granos finos que se presenta de manera convoluta, estratificada o entremezclada indiferenciadamente, así como en intercalaciones plenamente diferenciables entre sí, en algunos horizontes se cuenta con la presencia de líticos (superiores a 2mm) y granos de tamaño correspondiente con arenas (0,063 hasta 2 mm). Presenta un ángulo de fracturamiento preferencial del orden de 11 a 30°. El color que presenta en la dominancia de limolita es azul verdoso grisáceo (5BG 5/2) en muestra húmeda y gris azulado ligero (5B 7/1) en muestra seca. En caso de presentar abundancia de lutita, su color es gris medio (N5) en muestra seca y gris oscuro medio (N4) en muestra húmeda.

**Lutita-Limolita(KsmLu-Lm):** Roca formada por la mezcla de dos tipos de granos finos que suele presentarse de manera estratificada y entremezclada indiferenciadamente, así como en intercalaciones diferenciables entre sí, en algunos horizontes se cuenta con la presencia de granos de tamaño de arena (0,063 hasta 2 mm). Presenta un ángulo de fracturamiento preferencial del orden de 11 a 30°. El color que presenta en la dominancia de lutita es gris medio (N5) en muestra seca y gris oscuro medio (N4) en muestra húmeda. En caso de presentar abundancia de limolita, su color es azul verdoso grisáceo (5BG 5/2) en muestra húmeda y gris azulado ligero (5B 7/1) en muestra seca, esta unidad suele disgregarse con facilidad al entrar en contacto con la intemperie como se observa en la Fotografía 10.



Fotografía 10. Lutitas y limolitas disgregadas y fracturadas en el sondeo PC-20 (SEG-DGL-K1330-I-1024/06-0621).

### **FORMACIÓN OLMOS (Ksm Lu-LuC-Ar).**

La principal diferencia de esta Formación con la Fm. Escondido es la lutita carbonosa que es la que marca el límite de estas Formaciones, dicha roca se diferencia de la lutita común por su gran aporte de materia orgánica y su color más oscuro que puede llegar a ser completamente negro.

Esta formación tiene un espesor promedio de 68,00 metros, generalmente está constituida de secuencias de lutita gris claro y lutita carbonosa con cantidad considerable de materia orgánica, en menor proporción arenisca y limolita.

**Lutita (KsmLu):** Roca compuesta principalmente por arcilla (0,002 mm), con un color que va gris claro (N7) en muestra seca y en muestra húmeda un gris claro verdoso (5G 8/1), Se observa una

principal estratificación sub-horizontal, esta menor a 5°, aunque hay pequeños horizontes donde se observa zona de turbidez; Y un fracturamiento con un ángulo preferente que va de los 11° a 30°.

*Limolita (KsmLm)*: Roca compuesto por limos que van de 0,004 a 0,008 mm, con un color en muestra seca que va de verde muy pálido (10G 8/2) en seco y húmedo un color azul verdoso pálido (5BG 7/2), las fracturas que se presentan en esta litología tienden a ser onduladas (rugosas y lisas) y se observan estrías, es algo común la presencia de calcita.

*Arenisca (KsmAr)*: Roca muy competente y dura, compuesta de granos que pueden variar de fino a grueso (0,063 a 0,63 mm), con un color gris claro en muestra seca y gris medio (N5) en muestra húmeda; Se observa una estratificación sub-horizontal, hay presencia de pequeñas vetillas de carbón menores a 5 mm y de material arcilloso (0,002 mm) como la lutita y lutita carbonosa; Sus principales fracturas se deben a estos planos de debilidad por lo cual no superan los 10 grados de inclinación.

*Lutita-Limolita (KsmLu-Lm)*: Unidad compuesta por dos litologías diferentes mezcladas entre sí, distinguidas por tamaño de grano donde predomina más la arcilla (0,002) que los limos (0,0063), su coloración va de gris claro (N7) a gris claro verdoso (5G 8/1) en seco y a verde grisáceo (10GY 5/2) a gris medio (N5) en muestra húmeda; Presenta un ángulo preferente de fracturas que va de 11° a 30° de inclinación.

*Limolita-Lutita (KsmLm-Lu)*: Unidad compuesta por dos litologías diferentes mezcladas entre sí, distinguidas por tamaño de grano donde predomina más los limos (0,0063) que la arcilla (0,002), su coloración va de gris claro (N7) a gris claro verdoso (5G 8/1) en seco y a verde grisáceo (10GY 5/2) a gris medio (N5) en muestra húmeda. Su estratificación va de sub-horizontal a una estratificación turbia, debido a los cambios de energía en su ambiente de depositación. Por lo general esta unidad al perder humedad se disgrega y se agrieta con facilidad como se puede apreciar en la Fotografía 11.



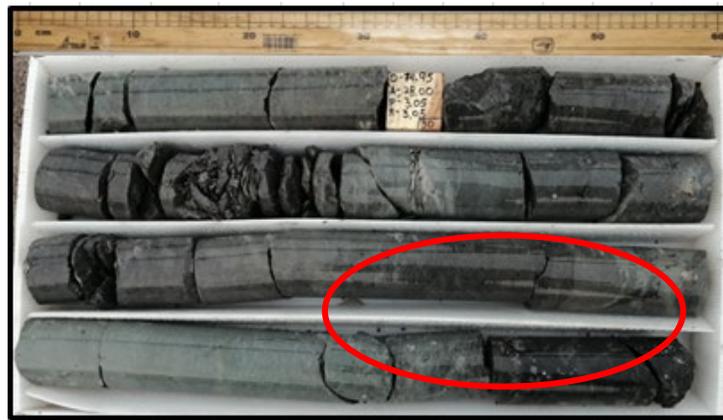
Fotografía 11. Limolita-Lutita con zona de disgregación y agrietamiento. Muestra del Sondeo PC-13B (SEG-DGL-K1330-I-017/06-0621).

*Arenisca-Limolita (KsmAr-Lm)*: Unidad compuesta por granos finos a gruesos que van de 0,063 a 0,63 mm y en menor porcentaje limos de tamaño que van de 0,004 a 0,008 mm, su coloración

va de coloraciones verdes muy pálidas (10G 8/2) en seco y húmedo un color azul verdoso pálido (5BG 7/2). Con una estratificación sub-horizontal debido a la baja energía en el ambiente de depósito.

*Limolita-Arenisca (KsmLm-Ar)*: Unidad donde su principal aporte es de limos (0,002 a 0,008 mm) y en menor proporción arenas que van en un rango de 0,063 a 0,63 mm, el color de esa unidad va de coloraciones verdes muy pálidas (10G 8/2) en seco y húmedo un color azul verdoso pálido (5BG 7/2).

*Limolita-Lutita Carbonosa (KsmLm-LuC)*: Combinación de litologías (Fotografía 12) con tamaño de grano que van de 0,002 mm a 0,02 mm, esta combinación por lo general viene de forma sana, y con pocas fracturas, las pocas discontinuidades que se presentan tienen un ángulo <35 grados, se observa una coloración verde muy pálida a gris oscuro medio (N4) en seco (10G 8/2) y azul verdoso pálido (5BG 7/2) a gris oscuro (N3).



Fotografía 12. Contacto entre limolita y Lutita carbonosa en el sondeo PC-13B (SEG-DGL-K1330-I-017/06-0621).

*Lutita Carbonosa- Limolita (KsmLuC-Lm)*: Unidad de litologías combinadas donde predomina la lutita carbonosa con su tamaño de grano que la compone (0,002 mm) y en menor porcentaje están los limos de (0,0063 a 0,02), esta unidad tiene una coloración donde predomina el gris oscuro (N3) en seco y negro grisáceo (N2). Por lo general presenta una estratificación sub-horizontal, pero hay horizontes en donde se encuentra una depositación turbulenta.

*Lutita Carbonosa-Arenisca (KsmLuC-Lm)*: Unida con un pequeño porcentaje de aporte de grano fino (0,063 mm) lo que hace que esta roca sea más competente que en su forma pura, por lo general presenta fracturas de bajo ángulo; La estratificación de esta es sub-horizontal debido a la poca energía que había en su medio de depositación, se presenta con una coloración gris oscuro (N3) en seco y negro grisáceo (N2).

*Arenisca-Lutita Carbonosa(KsmAr-LuC)*: Unidad con una combinación de grano fino a medio (0,063 a 0,63) con un porcentaje de arcilla (0,002mm), se presenta de forma compacta donde sus principales fracturas estarían en sus zonas de debilidad que estas están en la intercalación con la lutita carbonosa (Fotografía 13).



Fotografía 13. Arenisca-Lutita Carbonosa(KsmAr-LuC) en un medio de depositacion de energía media.

**Carbón (KsmC):** Unidad compuesta principalmente de una gran materia orgánica (Fotografía 14), de mediana densidad y muy frágil, se presenta con un color negro (N1) en seco y húmedo, con brillo lustroso; Esta unidad tiende a tener un espesor <3 m, pero tiene una gran extensión lateral incluso hasta las guías de carbón <5 cm pueden tener una gran extensión. Presenta emanación de gas metano.



Fotografía 14. Carbón, a la profundidad de 141,88 a 146.55 metros, en el sondeo PCT-1 (SEG-DGL-K1330-I-029/06-0621).

### **FORMACION SAN MIGUEL (Ksc Ar).**

**Arenisca(KsmAr):** En esta unidad se presenta una arenisca de color gris claro, con un tamaño de grano que va de fino a grueso (0,002 a 0,63 mm), muy competente, presenta un contacto grano a grano y presenta porosidad; la estratificación de esta roca se presenta sub-horizontal (Fotografía 15). En diferentes puntos de la zona un olor intenso a aceite, se presenta con una coloración gris claro (N7). Presenta pequeños horizontes de lutita que presenta un tamaño de arcilla de 0,002 mm, y una coloración gris oscuro (N3). Presenta materia fósil.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, located at the bottom left of the page.



Fotografía 15. Arenisca (muestra en seco) perteneciente a la Formación San Miguel, del sondeo PC-5 (SEG-DGL-K1330-I-007/06-0621).

### 3.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL SITIO

Localizada dentro de la cuenca de Sabinas, la zona de estudio los sistemas estructurales que principalmente se tienen dentro de esta zona son sinclinales limitado por el bloque Coahuila y la península Burro – Peyotes y presencia de sistema de fallas normales y cabalgaduras.

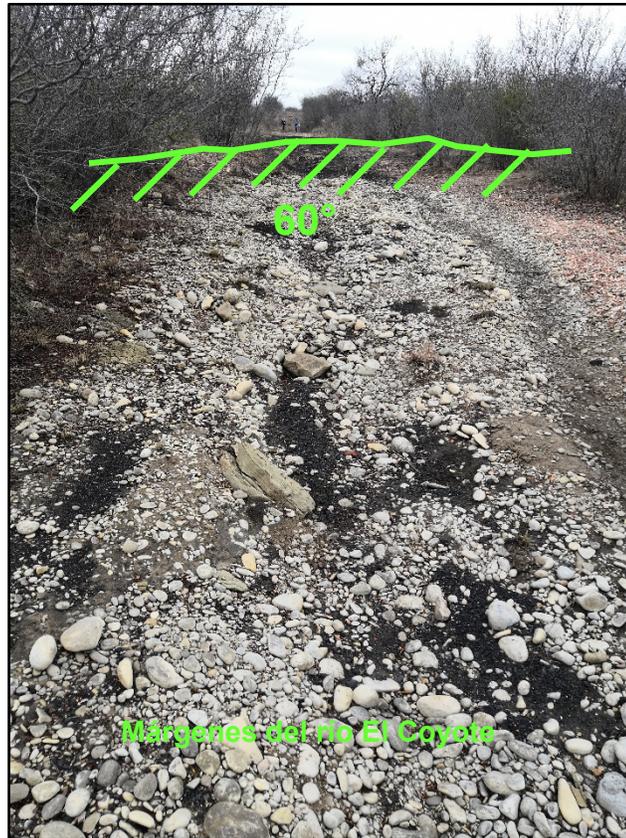
Como parte del levantamiento geológico, se midieron los rumbos y echados de los planos de fallas, fracturas y estratificación identificados en la zona de estudio dentro de los terrenos de IMMSA, del Sr. Raúl Flores y en las márgenes de los ríos Álamos y San Juan. Los datos recabados se analizaron estereográficamente. A continuación, se describen las características estructurales identificadas.

#### FALLAS

Solamente se pudieron reconocer dos sistemas de fallas en la zona de estudio, esto a que la morfología del lugar no da para identificar afloramientos de un gran corte, lo que limita la identificación de este tipo de estructuras.

Al norte se identificó un rasgo de falla, sobre el río Álamos cerca de los límites norte de los terrenos de IMMSA se tomó el dato de falla con un rumbo NW 60° con un echado al NE de 60° (Fotografía 16). Hacia el sur de la zona de estudio, a la cercanía del río San Juan se tomaron dos datos de falla, el primero con un rumbo de NW 46° y un echado de 78° al SW y el segundo con un rumbo de NW 42° y una inclinación al SW de 50°.

Como podemos observar no se tienen datos suficientes para realizar un análisis estereográfico y conocer las familias de fallas, pero si se puede interpretar el mecanismo estructural que se observa en el sitio de estudio y que más adelante se describe.



Fotografía 16. Vista al SW, hacia la mina Pasta de Conchos, donde se identificó la Falla Paso del Coyote con un rumbo de NW 60° y un echado de 60° al NE (indicada en color verde).

Las fallas observadas son principalmente de tipo normal, en la Tabla 2, se indican las características de estas como la continuidad, espesor y material de relleno.

Tabla 2. Características de las fallas principales en margen derecha y en margen izquierda, y su relación con los sistemas de familias.

NOMBRE	RUMBO	LITOLOGÍA	CONTINUIDAD	APERTURA	RUGOSIDAD	FAMILIA
<b>Río El Coyote</b>						
<b>Falla Paso del Coyote</b>	N60°W/60° ° NESW	Ksm Ar (Fm Escondido)	> 3 km	---	Rugosa - irregular	----
<b>Río San Juan</b>						
<b>Falla San Juan</b>	N46 - 42°W/78 - 50° SW	Ksm Ar (Fm Escondido)	> 4 km	---	Ondulada-rugosa	---

Es posible que estemos hablando de un sistema de cizalla simple, se limita al norte con la Falla Paso del Coyote y al sur por la Falla San Juan de limitando un bloque rotacional con ambas fallas; estos sistemas presentan un rumbo NW – SE considerándose de primer orden y en segundo orden se cuentan en rumbo N –S y NNE- SSW.

## FRACTURAS

Son las discontinuidades más abundantes en el sitio de estudio, se encuentran afectando a todas las rocas expuestas y se observaron principalmente en afloramientos a piso en los ríos El Coyote y San Juan, en la excavación cerca del portal de entrada y en el cárcamo del sondeo PCT-1.

En campo se tomaron en ambas márgenes 72 datos de fracturas que se analizaron en proyección estereográfica.

Se identificaron tres familias, en primer orden la Familia 1 tiene un rumbo de  $fr1 = N12^\circ W$  y un echado de  $46^\circ$  al NE, la segunda familia representada por  $fr2$  con un rumbo de  $N15^\circ W$  y echado de  $72^\circ$  al SW y la tercera familia  $fr3$  con un rumbo de  $N15^\circ W$  y echado de  $21^\circ$  al SW (Figura 9, Fotografía 17).

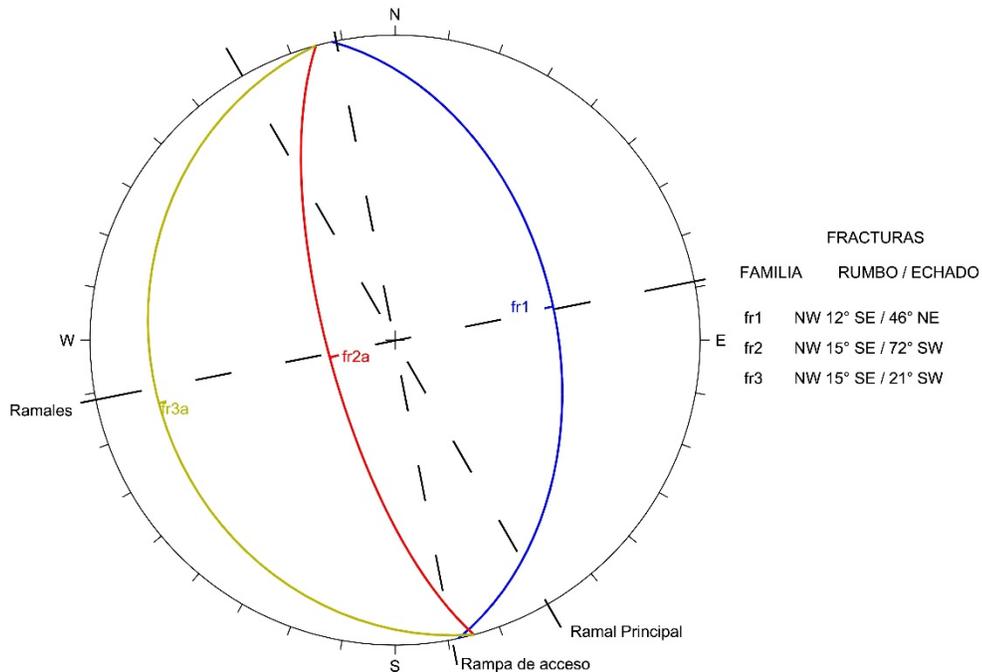


Figura 9. Estereograma de fracturas para el proyecto de Pasta de Conchos.



*Fotografía 15. Levantamiento geológico en el Rio El Coyote, donde se levantaron datos estructurales (fracturamiento, línea roja) sobre areniscas y lutitas de la Formación Escondido,*

Las características físicas de las fracturas consisten en rugosos y ondulados-rugosos, en general se encuentran cerradas en contacto roca a roca; recristalizando a incipiente calcita, su espesor va de 0,001 hasta 0,03 m, presentan longitudes visibles que van de los 2,0 m hasta 10,0 m.

## **ESTRATIFICACIÓN**

Es la discontinuidad de menor persistencia (28 datos) en las rocas del sitio de estudio, principalmente se observó sobre las zonas de contacto entre las areniscas y las lutitas de la Formación Escondido. La equidistancia entre estratos es, por ejemplo, en la excavación del portal y en el cárcamo de 0,40 m hasta los 1,00 m; dando la apariencia en la arenisca de una roca masiva y en las lutitas de un material menos consolidado. El rumbo preferencial So1 es de N50°W / 08° SW (Figura 10 y Fotografía 16).

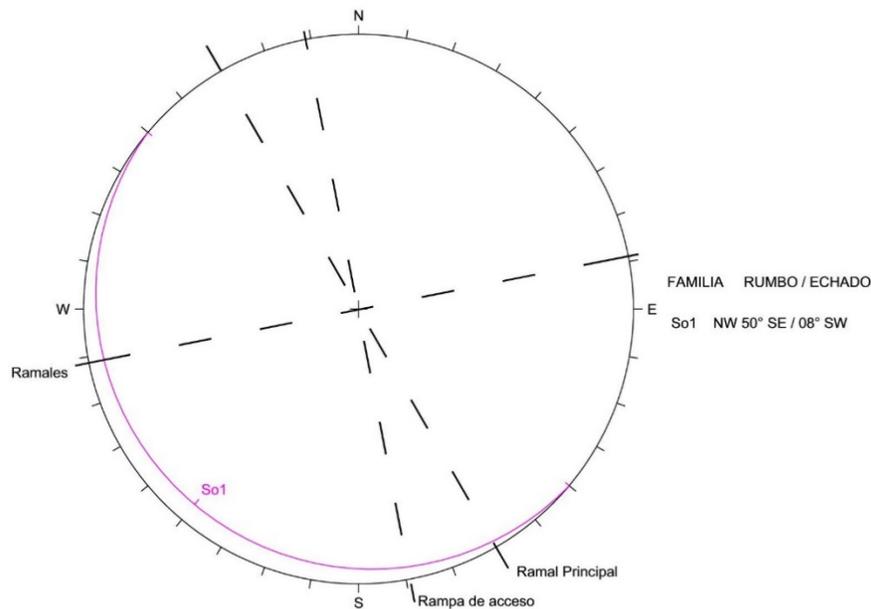


Figura 10. Estereogramas de estratificación; a) estereograma de margen derecha, b) estereograma en margen izquierda.



Fotografía 16. Levantamiento geológico en el Río El Coyote, donde se levantaron datos estructurales (fracturamiento, línea roja) sobre areniscas y lutitas de la Formación Escondido.

Las tres familias de fracturamiento y la estratificación identificadas en sitio con los caminamientos geológicas y las excavaciones realizadas podemos interpretar que durante las excavaciones con respecto a la rampa de acceso y el ramal principal no tendrían afectación directa en la construcción de la tablas, ya que los inclinaciones tendrían dirección hacia la roca, pero al tener la presencia de la estratificación, se pueden formar bloques en la clave de los túneles, generando caídos y bloques de un por dos metros, hasta los tres metros se podrían generar en algunos

casos como las areniscas. Para los ramales de los túneles de acercamiento favorecería a la excavación de estos, pero al igual que la rampa y el ramal principal, se tendrían las mismas condiciones en las claves.

### 3.3 EXPLORACION DIRECTA DE LOS SONDEOS

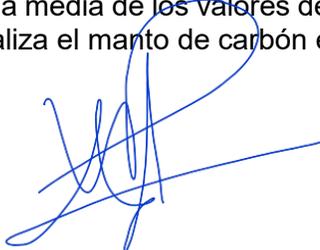
De acuerdo a los sondeos realizados, se determinaron diversas litologías de origen clástico con tamaño de grano de arcillas a arenas, las cuales se asocian en tres formaciones geológicas y dos materiales recientes, estos últimos no se presentan en todos los núcleos de perforación.

Los materiales recientes, corresponden al suelo color pardo oscuro conformado de material arcilloso compactado se muestra en espesores desde 0,18 m hasta máximo 3,45 m, siendo el espesor más recurrente el menor a un metro; el mayor espesor en el barreno PCT-2 y ausentándose en el barreno PC-20. El material presenta compactación, en ocasiones penetrable con navaja, además, al perder agua, presenta mayor resistencia. Al no ser un material consolidado, no es posible obtener su clasificación RQD, asimismo, se observan recuperaciones variables entre 60 a 100 %.

El segundo material reciente, se subdivide en dos tipos de litologías pertenecientes a la condición aluvial, el primero se refiere a material arcilloso de consistencia plástica con algunos aportes de arenas gruesas y no presenta consolidación por lo que es penetrable con un lápiz; el segundo, consiste en clastos de tamaños arenas a gravas embebidos en material arcillo – limoso no consolidado, dichos fragmentos de roca de composición carbonatada presentan variación de granulometría, son redondeados a sub-redondeados con forma discoidal, al realizar la perforación su recuperación es complicada debido a la baja consolidación que existe en el material, generando recuperaciones promedio de 73,38 %, al igual que el suelo, de este material no es posible obtener valores de RQD; el espesor promedio es de 4.48 m, mostrando el mayor espesor en el barreno PC-13B.

Continúa a las litologías anteriores, la Formación Escondido, presenta variaciones entre litologías areniscas, lutitas y limolitas color gris verdoso oscuro, las cuales suelen presentarse en intercalación entre ellas de manera no cíclica ni espesores constantes. Los primeros metros son de arenisca intemperizada con grado de intemperismo II a IV, teniendo roca deleznable ante la presión de la mano o a un impacto del martillo geológico, además, la existencia de lutita fisil y limolita deleznable a lo largo de la formación, genera valores de RQD bajos; intercalados con rocas con mayor consolidación, resistentes de 4 a 6 impactos de martillo geológico, principalmente atribuido a aporte de arenas. Este conjunto de litologías genera valores de RQD de 60,84 %, con clasificación regular, y recuperaciones de 86,95 %, con espesor promedio de 53,84 m y máximo de 65,80 m en el barreno PC – 20.

Subyace la Formación Olmos, se compone de litologías clásticas similares a la Formación Escondido, con mayor aporte de material arenoso por lo que se presentan mejores condiciones de consolidación, aunado a ello, la presencia de carbón comienza a ser notoria, aumentando los cuerpos de materia orgánica y fósiles, y con ello la presencia de lutita carbonosa. En promedio, la formación presenta espesores de 88,71 m, los mayores espesores se ubican en el barreno PC – 11, la roca presenta recuperaciones mayores a 90,00 %, con promedio de 96,68 %, de igual forma la media de los valores de RQD es 80,05 %, generando roca de buena calidad. Así mismo, se localiza el manto de carbón explotable que en promedio se presenta de 1,9 m a los 3,2 m.



Por último, la Formación San Miguel, conformada principalmente por areniscas de grano medio con lentes delgadas de lutita color gris oscuro a negro en alternancia bien definida y escasos cuerpos de carbón, exhibiendo roca bien consolidada, resistente a más de 5 impactos de martillo geológico; ésta comienza, en general, a la profundidad de 142,85 a 160,24 m, con espesores no definidos pues no se determina el contacto inferior. El valor de recuperación es de 99,80 %, mientras el valor de RQD es excelente con 98,38 %.

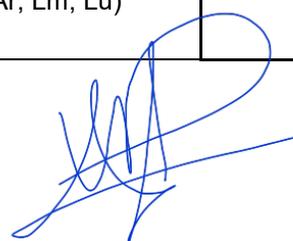
A continuación; se resumen los resultados de 14 barrenos de exploración en la Tabla 3:

*Tabla 3. Resumen de los resultados de los sondeos de exploración directa en la zona de estudio.*

<b>Bno. PC – 2</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 0,40	---	100	---	---
Aluvión (Qal)	0,40 a 3,04	Tramo sin consolidación	100	0	---
Fm. Escondido (zona de meteorización)	3,04 a 14,95	Arenisca meteorizada	65,80	30,02	Muy mala
Fm. Escondido (Ar, Lu, Lm)	14,95 a 51,99	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	95,32	78,01	Buena
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	51,99 a 100,35	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	94,77	78,75	Buena
<b>Bno. PC – 3</b>					
<b>Unidad geológica</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,00 a 2,47	Arcillas compactadas sin consolidación	84,00	---	---
Fm. Escondido	2,47 a 60,50	Intercalación de unidades bien consolidadas con unidades deleznable con la mano.	97,00	70,00	Regular
Fm. Olmos	60,50 a 155,79	Unidad intercalaciones de lutita, arenisca y limolita comúnmente bien consolidadas con discontinuidades por estratificación y fracturas.	98,00	82,00	Buena
Fm. San Miguel	155,79 a 161,10	Unidad muy consolidada de arenisca de grano grueso con escasos cuerpos de lutita, posee porosidad primaria alta.	100,00	100,00	Excelente

<b>Bno. PC - 4</b>					
<b>Unidad geológica</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 1,00	Arcillas no consolidadas	-	---	---
Fm. Escondido	1,00 a 54,92	Unidad bien consolidada compuesta por limolitas, lutitas y areniscas	80,60	70,90	Regular
Fm. Olmos	54,92 a 149,82	Unidad bien consolidada de intercalaciones de lutita, arenisca y limolita. Posee un alto contenido orgánico y en su base contiene un manto de carbón, no considerado en los resultados de RQD	97,60	91,10	Buena
Fm. San Miguel	151,80 a 160,04	Unidad bien consolidada de arenisca con algunas vetillas de carbón, posee una porosidad alta y presenta un fuerte olor a hidrocarburos.	99,70	99,70	Excelente
<b>Bno. PC - 5</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 0,60	---	67,00	---	---
Aluvión (Qal)	0,60 a 1,40	Tramo poco consolidado de mala calidad.	64,00	---	---
Fm. Escondido (Arenisca meteorizada)	2,70 a 9,40	Tramo de arenisca meteorizada	71,80	35,07	Muy mala
Fm. Escondido (Ar, Lu, Lm)	9,40 a 65,70	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	88,60	65,57	Regular
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	65,70 a 142,85	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	97,14	76,79	Buena
Fm. San Miguel (Ar)	142,85 a 148,00	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de excelente calidad.	100,00	95,66	Excelente

<b>Bno. PC - 8</b>					
<b>Unidad geológica</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,00 a 1,71	Arcillas y limos compactadas sin consolidación. Comportamiento plástico.	-	---	---
Fm. Escondido	1,71 a 64,36	Lutitas, limolitas y areniscas en intercalación aleatoria. Mayormente disgregable.	97,00	70,00	Regular
Fm. Olmos	64,36 a 154,05	Unidad intercalaciones de lutita, arenisca y limolita comúnmente bien consolidadas pero disgregable con la mano o con máximo 3 golpes de martillo geológico.	98,00	82,00	Buena
Fm. San Miguel	154,05 a 170,00	Unidad muy consolidada, conformada por areniscas de grano medio, con intercalaciones de lutita. Presenta cementante lo cual la hace dura y resistente.	100,00	100,00	Excelente
<b>Bno. PC - 11</b>					
<b>Unidad geológica</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 1,42	Arcillas poco consolidadas	-	---	---
Fm. Escondido	1,42 a 21,72	Unidad bien consolidada, sumamente fracturada en la zona meteorizada	71,00	50,00	Regular
Fm. Olmos	22,16 a 145,76	Unidad bien consolidada de intercalaciones de lutita, arenisca y limolita.	93,00	89,00	Buena
Fm. San Miguel	148,48 a 157,10	Unidad bien consolidada de arenisca con algunas vetillas de carbón, presenta porosidad y un tramo con arena a hidrocarburos.	100,00	100,00	Excelente
<b>Bno. PC - 12</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr) y Material no consolidado (Qal)	0,0 a 11,53	---	---	---	---
Formación Escondido (Ar, Lm, Lu)	11,60 a 49,00	Intercalación de areniscas competentes, limolitas poco competentes y lutitas poco competentes	90,00	73,00	Regular



Formación Olmos (Lu, LuC Lm, Ar)	49,00 a 140,54	Intercalación de areniscas competentes, limolitas poco competentes, lutitas poco competentes y lutitas carbonosas poco competentes	97,00	84,00	Buena
Carbón	140,54 a 142,75	Carbón deleznable a la intemperie	91,96	85,00	Buena
Formación San Miguel	142,75 a 151,35	Arenisca muy competente	100,00	99,00	Muy buena
<b>Bn. PC - 13B</b>					
Litología	Tramo (m)	Características de la roca	Rec. (%)	RQD (%)	Índice de calidad de la roca
Suelo (Qsr)	0.0 a 0.57	Gravas y arenas.	100,00	---	---
Aluvión (Qal)	0.57 a 11.35	Tramo poco consolidado de mala calidad.	100,00	---	---
Fm. Escondido (Lu, Lm, Ar, )	11.35 a 31.83	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de buena a excelente calidad.	94,02	79,38	Buena
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	31.83 a 134.96	Tramo de intercalación de rocas sedimentarias donde predominan las rocas de buena a excelente calidad.	95,49	77,06	Buena
Fm. San miguel (Ar)	134.96 a 142.60	Tramo de roca sedimentaria donde predomina una roca de excelente calidad.	99,45	98,42	Excelente
<b>Bno. PC - 15</b>					
Litología	Tramo (m)	Características de la roca	Rec. (%)	RQD (%)	Índice de calidad de la roca
Suelo (Qsr)	0,0 a 0,60	---	78,00	---	---
Aluvión (Qal)	0,60 a 1,40	Tramo poco consolidado de mala calidad.	78,00	0	---
Fm. Escondido (Arenisca meteorizada)	2,70 a 9,40	Tramo de arenisca meteorizada	84,11	30,02	Muy mala
Fm. Escondido (Ar, Lu, Lm)	9,40 a 40,81	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	95,22	71,35	Buena
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	40,81 a 142,85	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	98,96	72,28	Buena
Fm. San Miguel (Ar)	142,85 a 148,00	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de excelente calidad.	99,01	97,50	Excelente

<b>Bno. PC - 20</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Aluvión (Qall)	0.0 a 9,60	Gravas medias a gruesas y bloques	48,30	---	---
Fm. Escondido (Lu, Lm, LuC y Ar)	9,60 a 75.40	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de buena a excelente calidad.	87,70	55,99	Regular
Fm. Olmos (Lu, Lm, LuC y Ar)	75,40 a 145.95	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de buena a excelente calidad.	97,40	83,23	Buena
<b>Bno. PC - 21</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr) y Material no recuperado	0,0 a 2,85	---	---	---	---
Fm. Escondido (Lu, Lm, Ar)	2,85 a 40,70	Tramo de intercalación de rocas sedimentarias de granulometría variada.	81,59	62,18	Regular
<b>Bno. PCT - 1</b>					
<b>Unidad geológica</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 0,18	Arcillas poco consolidadas	100	---	---
Fm Escondido, zona meteorizada	0,18 a 12,09	La cima corresponde a una secuencia poco consolidada y en la parte baja a una zona descomprimida de la roca	84,00	54,00	Regular
Fm Escondido, roca sana	12,09 a 62,98	Unidad bien consolidada	99,00	87,00	Buena
Fm Olmos	62,98 a 143,95	Unidad bien consolidada, con presencia de tres guías de carbón y en la primera manifestación de gas	99,00	92,00	Excelente
Fm. Olmos, manto de carbón	143,95 a 146,33	Unidad medianamente consolidada, se encuentra estratificada con lutita carbonosa	100,00	70,00	Regular
Fm. San Miguel	146,33 a 170,20	Unidad bien consolidada de arenisca con algunas vetillas de carbón y lutita, presenta olor aceitoso	100,00	100,00	Excelente



<b>Bno. PCT - 2</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 3,45	---	60,00	---	---
Fm. Escondido (Ar, Lu, Lm)	9,40 a 57,74	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	96,00	77,00	Buena
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	57,74 a 160,24	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	97,00	80,00	Buena
Fm. San Miguel (Ar)	160,24 a 170,05	Tramo de arenisca con excelente recuperación y RQD	100,00	94,00	Excelente
<b>Bno. PCV - 1</b>					
<b>Litología</b>	<b>Tramo (m)</b>	<b>Características de la roca</b>	<b>Rec. (%)</b>	<b>RQD (%)</b>	<b>Índice de calidad de la roca</b>
Suelo (Qsr)	0,0 a 0,44	---	---	---	---
Aluvión (Qal)	0,44 a 2,70	Tramo poco consolidado de mala calidad.	50,00	---	---
Fm. Escondido (Arenisca meteorizada)	2,70 a 9,40	Tramo de arenisca meteorizada	79,66	24,60	Muy mala
Fm. Escondido (Ar, Lu, Lm)	9,40 a 71,97	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	93,70	71,86	Regular
Fm. Olmos (Lu, Lm, Ar, LuC, C)	71,97 a 143,00	Tramo de intercalación de rocas donde predominan las rocas de regular a buena calidad.	90,10	72,28	Regular

### 3.4 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

#### PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

En este trabajo fueron consideradas las pruebas de permeabilidad de 11 sondeos, con un total de 14 pruebas (Tabla 3); los resultados fueron promediados metro por metro, y a pesar de que la mayoría las pruebas resultan en un comportamiento poco conductivo, en la Grafica 1 se identifican dos aumentos en el promedio, los cuales se relacionan con respecto a la profundidad; con las unidades litológicas identificadas en el sitio de estudio. La primera corresponde de la superficial y hasta un promedio de 5,00 m a el suelo residual, material aluvial y zona meteorizada de la Formación Escondido, el segundo tramo corresponde a la unidad litológica de la cima de la formación Escondido, con una profundidad de 5,00 a 6,00 m, y la segunda en la transición de 13,00 a 14,00 m a zonas con baja meteorización y a rocas más sanas de la Formación Escondido.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de permeabilidad tipo Lefranc con respecto a la profundidad y la conductividad promedio con los datos de 11 sondeos.

PROFUNDIDAD (m)	CONDUCTIVIDAD (k)
0	1.71958E-05
1	1.71958E-05
2	1.71958E-05
3	1.71958E-05
4	1.71958E-05
5	1.90145E-05
6	4.14659E-05
7	4.14659E-05
8	4.14659E-05
9	3.85144E-05
10	3.50736E-05
11	3.50736E-05
12	3.50736E-05
13	3.50736E-05
14	6.18933E-05
15	6.18933E-05

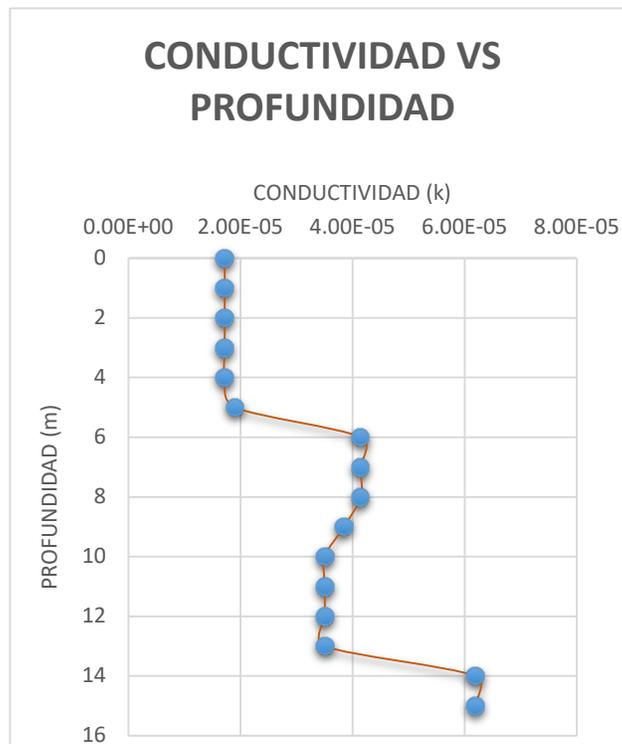


Grafico 1. Resultados de la conductividad Vs profundidad, don se observan los dos incrementos que se correlacionan directamente con las unidades litológicas.

*[Firma manuscrita]*

## PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

Para este ejercicio se integraron 65 pruebas de permeabilidad realizadas en 15 sondeos (Tabla 4) a diferentes profundidades, siendo más concurrentes las pruebas efectuadas en las cercanías con el manto de carbón, tanto en la parte superior como en la inferior y en algunas profundidades coincidentes con algún cambio litológico o suceso estructural, así como en las zonas de obra.

*Tabla 4. Relación sondeo-profundidad-absorción de las cuales consta este análisis. se incide en el número de pruebas efectuadas en la proximidad con el manto de carbón, resultando en su mayoría como un tramo poco permeable.*

Sondeo	Intervalo	Absorción (L/min/m)
PC-2	25,00 A 30,00	0,72
PC-2	34,00 a 39,00	0,92
PC-2	80,80 a 85,80	0,16
PC-3	125,60 a 130,60	1,08
PC-3	130,70 a 135,70	3,6
PC-3	135,80 a 140,80	3,2
PC-3	140,85 a 145,85	5,92
PC-3	145,90 a 150,90	2,64
PC-3	151,00 a 156,00	3,16
PC-3	156,10 a 161,10	2,2
PC-5	129,00 a 134,00	0,12
PC-5	134,00 a 139,00	0
PC-5	139,00 a 144,00	0
PC-5	144,00 a 148,60	0
PC-1A'	49,25 a 54,25	0,12
PC-1A'	54,25 a 59,35	0,12
PC-1A'	59,35 a 64,40	0,04
PC-1A'	64,40 a 69,50	0
PC-1A'	69,50 a 74,55	0
PC-1A'	74,55 a 79,60	0
PC-1A'	79,60 a 84,70	0
PC-1A'	84,70 a 89,75	0,04
PC-1A'	89,75 a 94,80	1,66
PC-1A'	119,30 a 124,30	0,48
PC-4	125,10 a 130,10	0,04
PC-4	130,15 a 135,15	8,08
PC-4	135,15 a 140,15	5,88
PC-4	140,20 a 145,20	6,92
PC-4	145,20 a 150,20	4,72
PC-4	155,04 a 160,04	1,56
PC-9	136,00 a 141,00	7,96
PC-9	141,00 a 146,00	6,08
PC-13	125,00 a 130,00	0,04
PC-13	130,00 a 135,00	0,24



PC-13	135,00 a 140,00	1,76
PC-13	140,00 a 145,00	0,24
PC-11	136,00 a 141,00	7,96
PC-11	141,00 a 146,00	3,2
PC-11	152,00 a 157,00	6,64
PC-12	126,00 a 131,00	13,8
PC-12	131,00 a 136,00	7,52
PC-12	136,00 a 141,00	7,12
PC-12	143,30 a 148,30	1,88
PC-13B	15,00 a 20,00	5,48
PC-13B	45,00 a 50,00	1,36
PC-13B	95,00 a 100,00	0,79
PC-13B	119,00 a 124,00	19,92
PC-13B	124,00 a 129,00	17,00
PC-13B	129,00 a 134,00	12,8
PC-13B	134,50 a 139,50	3,16
PC-21	5,00 a 10,25	12,38
PC-21	10,00 a 14,8	8,75
PC-21	15,00 a 19,40	15,27
PC-21	20,50 a 25,40	14,45
PC-15	133,00 a 138,00	7,72
PC-15	138,00 a 143,00	0,92
PC-15	143,00 a 148,00	8,4
PCT-1	30,00 a 35,00	4,2
PCT-1	74,70 a 79,70	5,64
PCT-1	135,00 a 140,00	8,04
PCT-1	146,33 a 151,33	3,04
PCT-2	70,00 a 75,00	0,24
PCT-2	145,00 a 150,00	4,72
PCT-2	148,00 a 153,00	6,48
PCV-1	125,80 a 130,80	10,96

Este análisis se basó en el empate de resultados tanto de litologías como de profundidades; el primer empate se da entre los sondeos PC-21 y PC-13B, en el intervalo de 15,00 a 20,00 m, y, aunque se trata de la misma litología, una arenisca que presenta un cambio de condición física por intemperismo, se tienen diferentes condiciones, principalmente estructurales, recuperación y RQD, logrando así, el tramo ensayado del sondeo PC-21 una absorción mayor, interpretándose como un tramo permeable; por su parte, el resultado del sondeo PC-13B indica que este tramo es poco permeable. Sin embargo, gráficamente ambos ensayos muestran un comportamiento de fracturamiento hidráulico o expansión de fracturas (Figura 11).

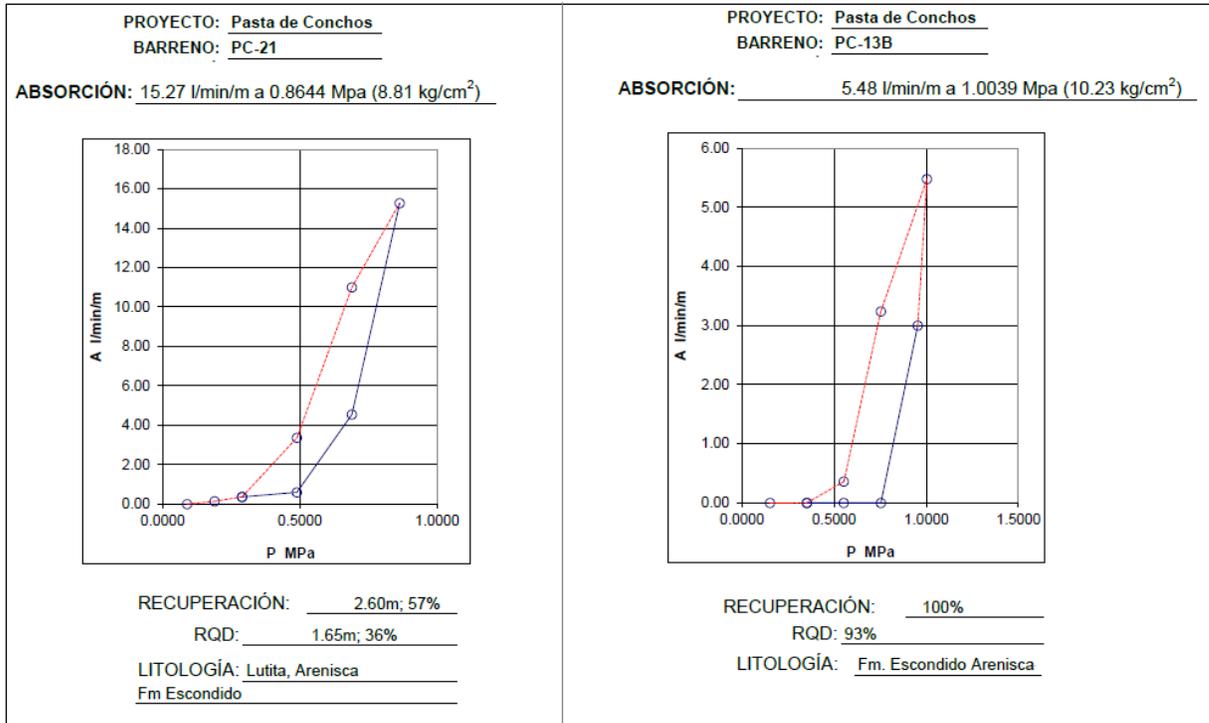


Figura 11. Comparativa entre gráficas resultantes de las pruebas del tipo lugeon realizadas en profundidades similares a la misma litología en condiciones diferentes.

El segundo empalme a profundidad compatible entre dos pruebas de permeabilidad se dio en el tramo de 28,00 a 33,00 m por parte del sondeo PC-2, y el tramo de 30,00 a 35,00 m del sondeo PCT-1. En este tramo, se tienen condiciones similares respecto a recuperación y RQD, litológicamente hay similitudes: ambos tramos están compuestos principalmente por areniscas y un aporte fino, el cual es más abundante en el sondeo PCT-1; mientras el sondeo PC-2 presenta una absorción de 0,72 l/min/m situando el tramo como impermeable, su contraparte presenta una absorción de 4,20 l/min/m clasificándolo así, como un tramo poco permeable. Ambos comparten la característica de presentar flujo laminar con destaponamiento (Figuras 12 y 13).

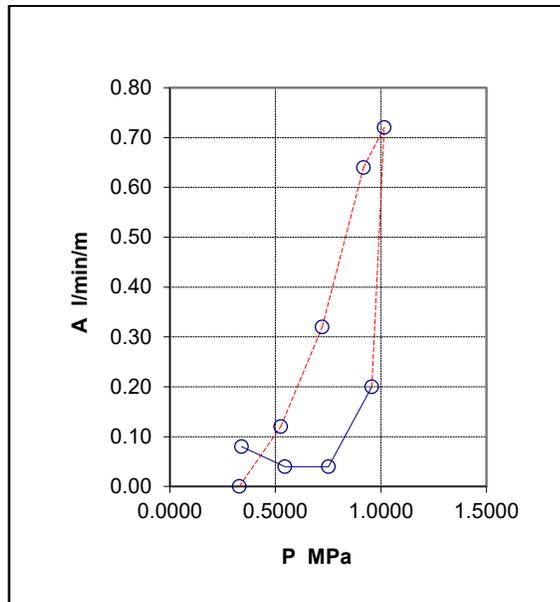


Figura 12. Absorción vs presión en intervalo 28,00 a 33,00 m, sondeo PC-2.

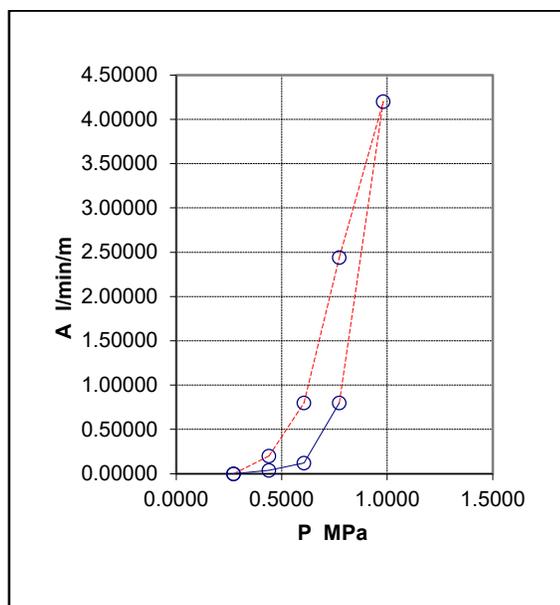
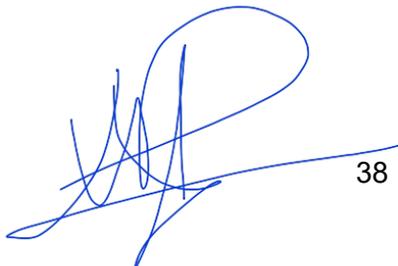
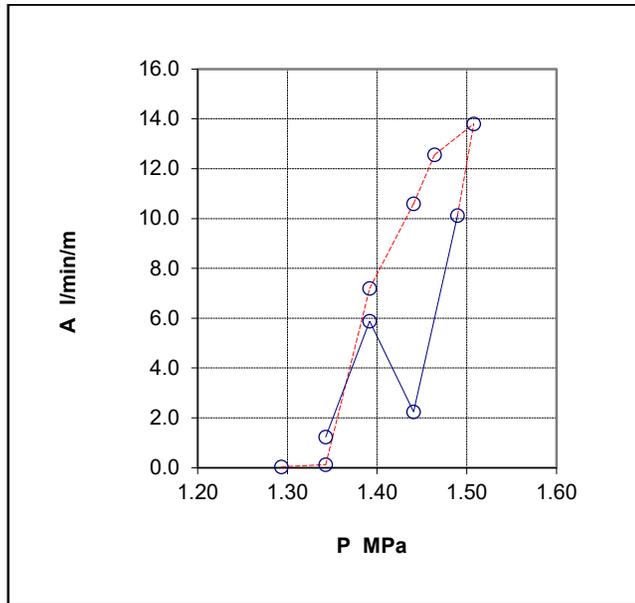
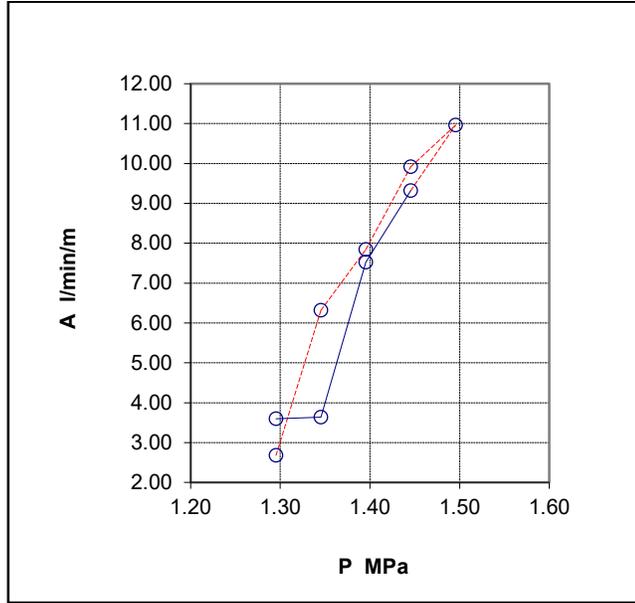


Figura 13. Absorción vs presión en intervalo 30,00 a 35,00 m, sondeo PCT-1.

El tramo que va de los 124,00 m a 129,00 fue ensayado por 6 sondeos, de estos se destacan dos tendencias de comportamiento en absorción; en los sondeos PC-12, PC-13B y PCV-1 se muestran, en sus respectivos tramos como permeables, en un flujo laminar que esporádicamente presenta saturación o taponamiento, ya sea en gama de ascenso o descendiente; este tramo, compuesto en su mayoría por una arenisca con intercalaciones de lutita y lutita carbonosa, tiene una recuperación superior a 85% y un RQD que va de muy bueno a excelente (Figuras 14, 15 y 16).

  
38



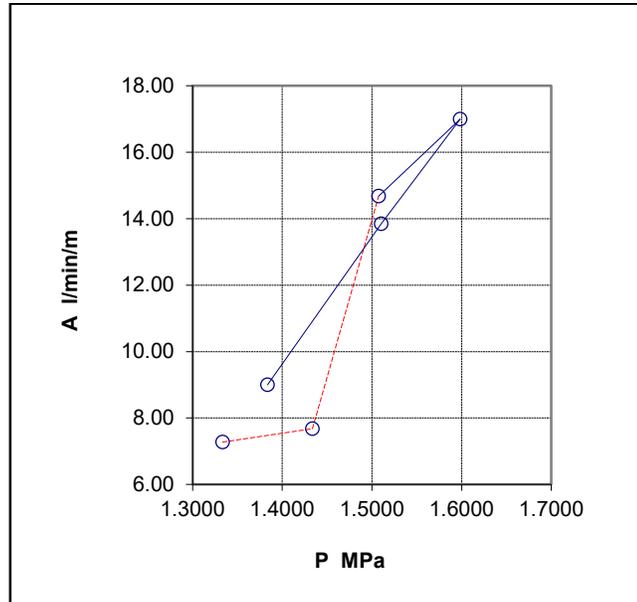


Figura 14, 15 y 16. Absorción vs presión a una profundidad promedio de 124,00 a los 129,00 m; se destaca el taponamiento a varias presiones independiente de la gama ascendente o descendente.

En el mismo tramo, sobre la misma litología, en los sondeos PC-3, PC-4 y PC-13 se obtuvieron resultados de absorción muy bajos, clasificando así, como tramo impermeable; de estos, el que presenta un flujo más congruente y uniforme correspondiente con un flujo turbulento capturado por el PC-3 (Figura 17).

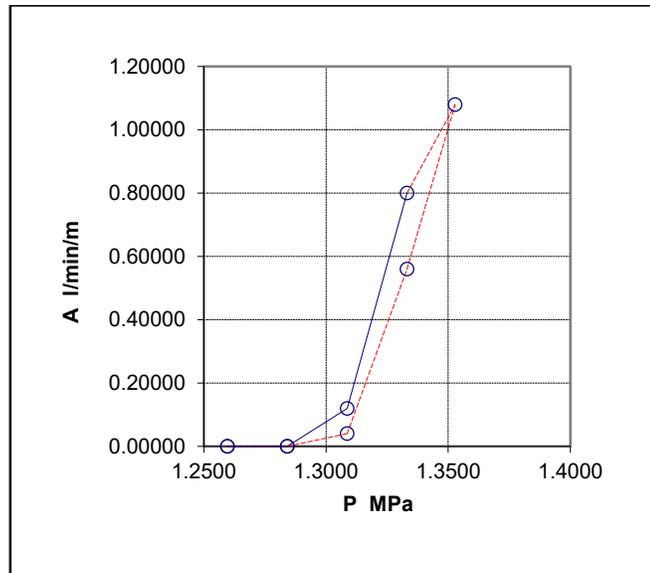


Figura 17. Absorción vs presión, su resultado concuerda con un flujo turbulento en un tramo impermeable a una profundidad promedio de 124,00 a los 129,00 m; se destaca el taponamiento a varias presiones independiente de la gama ascendente o descendente.

El último tramo presentado va de 146,00 a 150 m, en este lapso incidieron 7 pruebas en 6 sondeos, de las cuales, se consideraron 4 pruebas del mismo número de sondeos, en todas se presentaron valores de absorción bajos, lo cual indica que, en general, a estas profundidades las unidades litológicas son poco permeables, asimismo, a estas profundidades, los cambios litológicos son más abruptos y fluctúan entre carbón, lutita carbonosa, lutita y dos areniscas,

*[Firma manuscrita]*  
40

distinguidos por su origen y formación, por una parte, la arenisca de la Formación San Miguel contiene más aporte oceánico que la arenisca de la Formación Olmos (Figura 18).

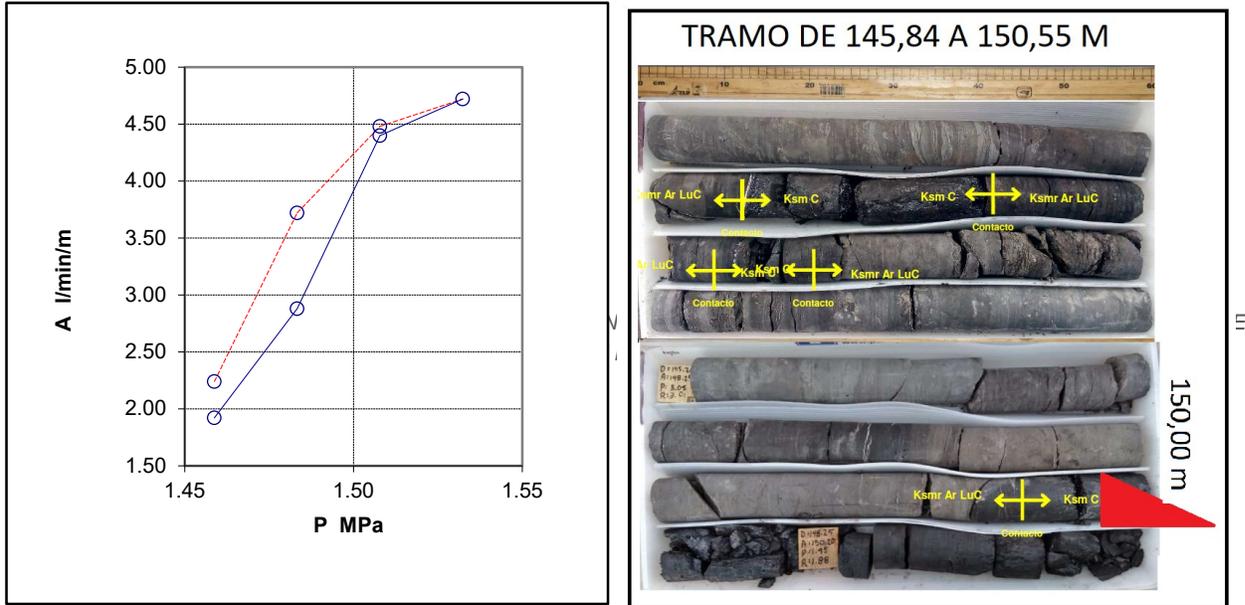
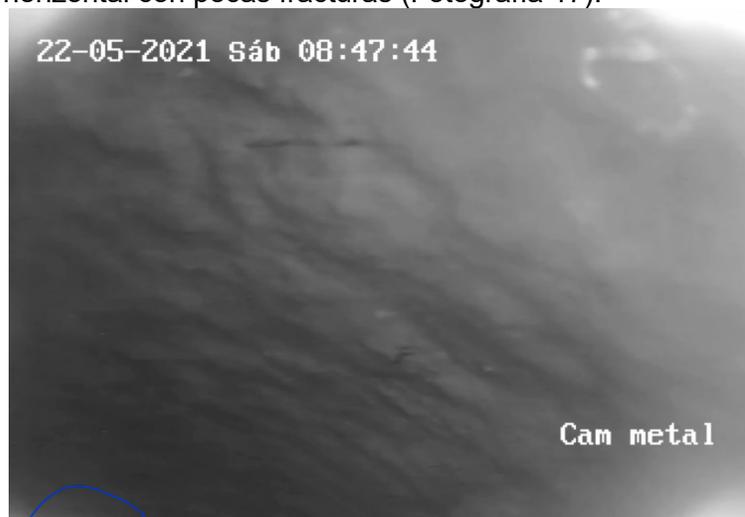


Figura 18. Absorción vs presión resultante de la prueba de permeabilidad, al lado izquierdo se muestra en la imagen del núcleo la cual fue afectada durante la prueba en el sondeo PC-3.

### 3.5 IDENTIFICACION LITOLOGICA MEDIANTE EL ESCANER Y VIDEOFILMACIONES

#### SONDEO PCV-1A

En el descenso de la cámara se observó el ademe a la profundidad de 125.88 metros, con un escurrimiento constante de agua por su perímetro. El goteo constante no permitía observar claramente las paredes del sondeo, pero lo que se permitió apreciar son unas paredes con una estratificación sub-horizontal con pocas fracturas (Fotografía 17).



Fotografía 17. Pared del sondeo PCV -1A.

*(Handwritten signature in blue ink)*

El espejo de agua se identificó a los 137.67 metros de profundidad; Al estar dentro del agua no se permitía tener una buena visión por la turbidez de la misma. El contacto con la galería se encontró a los 149.36 metros y solo 0,76 metros se tocó el fondo, con fragmentos de roca colapsados.

## SONDEO PCV-2

En el descenso de la cámara por el sondeo se observó el espejo de agua a los 136,19 metros con un burbujeo intenso debido al gas metano (CH4), el ademe se encuentra a la profundidad de 137.25 metros.

A escasos centímetros del ademe se observan unas paredes sub-irregulares de lutita (Fotografía 18, 19 y 20). se observó unas paredes sanas en arenisca con estratificaciones sub horizontales y en las lutitas se observan unas leves oquedades.

En la Tabla 5, se muestran características geológicas encontradas.

*Tabla 5. Características del PCV-2.*

PROFUNDIDAD (m)	CARACTERISTICAS
138.35	Fractura muy marcada rellena, en litología de lutita con paredes sub irregulares.
138.80	Lutita con estratificación de lutita carbonosa, con oquedades.
139.65	Salida de gas metano en una vetilla de carbón.
140.60	Lente de pirita.
143.40	Calcita en una vetilla de carbón.
144.43	Lentes de pirita de carbón.
147.03	Vetilla de pirita sub horizontal que se alarga por las paredes de pirita.
150.02	Contacto de arenisca con lutita carbonosa con salida de gas.
150.90	Horizonte de Lutita carbonosa-Carbón con lentes de pirita irregular.



*Fotografía 18. Pared del sondeo PCV-2 con un lente de pirita.*



Fotografía 19. Contacto de arenisca con lutita carbonosa con salida de gas.



Fotografía 20. Objeto metálico en el piso de la galería.

El límite superior de la galería se encontró a la profundidad de 153.87 metros; El fondo tuvo una profundidad 154.44 metros, mostrando fragmentos de rocas dispersas y un objeto metálico alargado de color anaranjado.

### SONDEO PCV-3

En el descenso de la cámara por el sondeo se observó el *espejo de agua* (Fotografía 21) a los 122,46 metros, el agua se presenta muy turbia por el corto tiempo de las maniobras de perforación y la videofilmación. Se obtuvo la profundidad del ademe a la profundidad de 146.40 metros.

El contacto de la galería está a 150.86 metros y el fondo detectado está a 156.96 metros, estos dos últimos datos pueden ser medianamente fiables por el agua turbia y la poca visibilidad que observamos.



*Fotografía 21. Espejo de agua turbia.*

#### **SONDEO PCV-4**

En el descenso de la cámara por el sondeo se observó el final del ademe a los 131.29 metros con un goteo intenso en su perímetro y posteriormente se observan unas paredes sanas con una estratificación marcada en los primeros centímetros del sondeo, al acercarse el fondo del sondeo se ve una pared con concavidades muy marcadas (Fotografía 22). Se llegó al espejo de agua a los 137.36 metros

Se llegó al fondo del barreno sin tener un contacto con la galería claramente por la turbidez que presentaba el agua.



*Fotografía 22. Paredes irregulares, con fragmentos de roca suelta.*

## SONDEO PCV-5

En este sondeo el *ademe* se encuentra a la profundidad de 125;17 m, pasando esta estructura se observan paredes sanas y poco convolutas, pero presentando una coloración amarilla de una posible alteración (Fotografía 23), esto sigue así por 8,31 metros hasta el *inicio de la galería* presentándose a los 133,48 metros, esta se muestra con una cantidad de agua despreciable donde su mayor carga es del escurrimiento del barreno. En el fondo se ve fragmentos de rocas colapsadas y en el fondo se aprecia una pieza metálica de tamaño considerable de color naranja (Fotografía 24).



Fotografía 23. Paredes sanas con manchones anaranjados.



Fotografía 24. Pieza metálica en el fondo de la galería.

## SONDEO PCV-6

En el descenso de la cámara por el sondeo se observó el *ademe* a 110,50 metros con un goteo intenso y constante alrededor de él, este mismo goteo no permitía ver las paredes con claridad; no se mostró rasgos de concavidades a lo largo de las paredes del sondeo, El espejo de agua se presentó a los 138,10 metros de una forma muy turbia. Se presentan en las lutitas, paredes con pequeñas oquedades, horizontes muy marcados de lutita carbonosa, y macizos rocosos muy sanos antes de entrar en el contacto con la galería (Fotografía 25); En el interior de la galería se presentan oquedades paralelas a la estratificación, aproximadamente de unos 20 centímetros de ancho.



Fotografía 25. Contacto con la galería.

### 3.6 INTEGRACION GEOLÓGICO - GEOFÍSICA

#### SECCIÓN GEOLÓGICO – GEOFÍSICA 1, RAMPA GEERAL Y RAMAL PRINCIPAL

La sección se ubica en la rampa general acceso y en la rampa principal con un rumbo de SE 11° y presenta un quiebre en el cadenamiento 0+942,54 m y el rumbo cambia a SE 30°. La sección se ubica al sur de la entrada anterior de la mina, con una longitud total de 1 300 m; eh interseca con la sección 2, 3, 4, 6 y 7.

Cadenamiento de 0+609,71 a 1+300,00 m. Suelo Residual (Qsr)

A lo largo de este cadenamiento se identifica superficialmente suelo residual, con espesores que varían de 0,18 m a los 1,15 m con los resultados de la sísmica profunda, podemos correlacionar esa litología con la Unidad U1; las velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+700,00 m. Aluvión (Qal)

El espesor del aluvión en esta sección va de los 2,00 hasta los 10,50 m; al igual que el suelo residual, el aluvión se correlaciona con la unidad geofísica U1, con velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+300,00 m. Fm Escondido (Ksm)

La Formación Escondido corresponde a la unidad geofísica U2, la cual se dividió durante las primeras interpretaciones en tres subunidades. La unidad U2A corresponde a la cima de la formación la cual se identifica la zona meteorizada constituida principalmente por areniscas y lutitas. Las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional (P) y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s, con espesores que varían entre los 0,22 m a la altura del cadenamiento 0+570,39 m y un espesor máximo aproximado de 13,00 m en los extremos de la sección.

La unidad U2B da continuidad a la Formación Escondido, corresponde a areniscas y lutitas principalmente, en algunas zonas se observan limolitas y alternancias de areniscas – lutitas y lutita – limolita. Las velocidades de onda de corte (S) van de los 0,46 a los 0,65 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 1,7 a los 2,0 km/s. El espesor de esta unidad varía entre los 20,00 m, observada a los extremos de la sección y hasta los 35,00 m aproximadamente, en el cadenamiento 0+220,00 m.

Finalmente, la unidad U2C corresponde a la base de la forma Escondido, principalmente en esta se localizan en secuencias de lutitas y limolitas, con algunos horizontes de areniscas, lutitas – areniscas, lutitas – limolitas. El mayor espesor se localiza en el cadenamiento 0+370,00 m con un espesor promedio de 40,00m; y el menor espesor se localiza en el cadenamiento 0+222,00 m y un espesor promedio de 18,00 m. Las velocidades en la onda de corte (S) van de los 0,66 a los 0,90 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 2,17 a los 3,5 km/s.

Del cadenamiento 0+529,70 y hasta el 1+300 m, parte de la unidad U2C se localiza la cima de la Formación Olmos, la cual está representada por lutita y lutita carbonosa, con algunos horizontes de areniscas y limolita.

En el cadenamiento 0+700 m se localiza una anomalía geofísica (A2) identificándose bajas velocidades, definiéndose horizontes de lutita, limolita- lutita, arenisca – lutita y limolita – lutita.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+300,00 m. Fm Olmos (Ksm)

Esta formación queda dentro de dos unidades geofísicas definidas, la primera es la U3 que litológicamente corresponde a lutita, lutita carbonosa, con presencia en menor proporción de arenisca, limolita y alternancias de estos materiales. El espesor promedio de esta unidad es de entre los 97,00 a los 99,00 m. desde el cadenamiento 0+000,00 hasta los 0+700,00 m y de los 0+700,00 a los 1+300,00 m se presenta con un espesor promedio de 37,00 m. Las velocidades de onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s. A lo largo de la unidad se localizan anomalías geofísicas (A1 y A2) las cuales se observan en los cadenamientos 0+282,39; 0+524,35; 0+733,33; 0+833,36; 1+008,80; 1+100,00 y 1+170,72 m; en estas se observan principalmente secuencias de lutitas y lutitas carbonosas, nos indican una baja resistencia en la roca.

De los 0+700,00 a los 1+300,00 m la formación Olmos se tiene dentro de la unidad U4 en la secuencia de la base, donde se tienen areniscas con lutitas y lutitas con lutitas carbonosas, así el horizonte del manto de carbón. Geofísicamente no se da una velocidad definida tanto en la onda compresional y de corte.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+300,00 m. Fm San Miguel (Ksc)

Al igual que la base de la Formación Olmos, la Fm San Miguel queda dentro de la unidad U4 con velocidades no definidas tanto en la onda compresional y de corte. Su espesor tampoco es definido, esto a que la sísmica profunda no llegó a mayor profundidad por debajo de los 200 msnm y ni los sondeos de exploración directa.

## **SECCIÓN GEOLOGICO – GEOFÍSICA 2, RAMAL SUPERIOR**

La sección es perpendicular a la rampa de acceso con un rumbo de 79° al NE. En esta se encuentran las obras nuevas del Ramal 1 para los túneles de acercamiento a las galerías de lo que se conoce como Frente 1 de las viejas galerías accidentadas. La sección se ubica al SE de la entrada anterior de la mina, con una longitud total de 1 000 m; eh interseca con la sección 1 y 5.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+950,00 m. Suelo Residual (Qsr)

A lo largo de este cadenamiento se identifica superficialmente suelo residual, el espesor del suelo es en promedio de 0,18 a los 1,18 m; con los resultados de la sísmica profunda, podemos correlacionar esa litología con la Unidad U1; las velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento 0+000,00 a 0+836,00 m. Aluvión

El espesor del aluvión en esta sección va del metro y hasta los 6,50 m; se correlaciona con las unidades geofísicas U1 y U2; la primera corresponde las velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s. mientras que la U2A las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional(P); que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s.

Cadenamiento 0+000,00 a los 0+950,00. Fm Escondido (Ksm)

La formación Escondido corresponde a la unidad geofísica U2 y U3; la primera está dividida en tres subunidades la cual se dividió durante las primeras interpretaciones en tres subunidades: la unidad U2A corresponde a la cima de la formación la cual se identifica la zona meteorizada constituida principalmente por areniscas y lutitas. Las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional (P) y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s, con espesores que varían entre los 0,22 m a la altura del cadenamiento 0+570,39 m y un espesor máximo aproximado de 5,00 m.

La unidad U2B da continuidad a la Formación Escondido, corresponde a areniscas y lutitas principalmente, en algunas zonas se observan limolitas y alternancias de areniscas – lutitas y lutita – limolita. Las velocidades de onda de corte (S) van de los 0,46 a los 0,65 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 1,7 a los 2,0 km/s. El espesor de esta unidad

varía entre los entre los 5,00 a los 17,00 m en promedio, el máximo en el extremo poniente y el más delgado al extremo oriente.

Finalmente, la unidad U2C corresponde a la base de la forma Escondido, principalmente en esta se localizan en secuencias de lutitas y limolitas, con algunos horizontes de areniscas, lutitas – areniscas, lutitas – limolitas. El mayor espesor se localiza en el cadenamiento 0+100,00 m con un espesor promedio de 50,00 m y el menor espesor se localiza en el cadenamiento 0+920,00 m y un espesor promedio de 17,00 m. Las velocidades en la onda de corte (S) van de los 0,66 a los 0,90 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 2,17 a los 3,5 km/s.

Del cadenamiento 0+424,00 y hasta el 0+950,00 m, la Formación Escondido forma parte de la Unidad U3, las velocidades de onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+950,00 m. Fm Olmos (Ksm)

Esta formación queda dentro de la unidad geofísica U3 que litológicamente corresponde a lutita, lutita carbonosa, con presencia en menor proporción de arenisca, limolita y alternancias de estos materiales. El espesor promedio de esta unidad es de 70,00 m. Las velocidades de onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s. A lo largo de la unidad se localizan anomalías geofísicas (A1 y A2) las cuales se observan en los cadenamientos 0+175,00 m; 0+350,00 m; 0+500,00 m y 0+840,00 m; en estas se observan principalmente secuencias de lutitas y lutitas carbonosas, nos indican una baja resistencia en la roca.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+300,00 m. Fm San Miguel (Ksc)

En el caso de la Fm San Miguel queda dentro de dos unidades geofísicas, U3 y U4; en la primera se presentan dentro de los primeros 10,00 a los 20,00 m, con unidades de velocidad onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s. Para la unidad U4 son velocidades no definidas tanto en la onda compresional y de corte. Su espesor tampoco es definido, esto a que la sísmica profunda no llego a mayor profundidad por debajo de los 200 msnm y ni los sondeos de exploración directa.

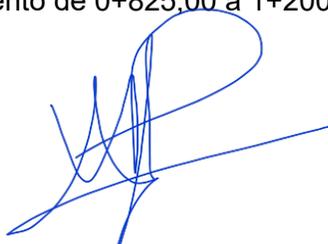
### **SECCIÓN GEOLÓGICO – GEOFÍSICA 3, RAMAL INTERMEDIO**

La sección se ubica perpendicular a la rampa de acceso, con un rumbo de NE 79° La sección se ubica al centro de la zona de estudio, con una longitud total de 1 200 m; eh interseca con la sección 1 y 5.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+825,00 m. Suelo Residual (Qsr)

A lo largo de este cadenamiento se identifica superficialmente suelo residual, con espesores que varían de 0,18 m a los 1,20 m con los resultados de la sísmica profunda, podemos correlacionar esa litología con la Unidad U1; las velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento de 0+825,00 a 1+200,00 m. Aluvión (Qal)



El espesor del aluvión en esta sección va de los 1,70 hasta los 4,60 m; al igual que el suelo residual, el aluvión se correlaciona con la unidad geofísica U1, con velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+200,00 m. Fm Escondido (Ksm)

La Formación Escondido corresponde a la unidad geofísica U2, para este caso no se cuenta con divisiones de la unidad, se correlaciona toda la formación como una sola por los contactos geofísicos que se tienen. Aunque se debe tener en cuenta que la U2A sigue correlacionándose a las zonas de roca meteorizada de la formación, constituida principalmente por areniscas y lutitas. Las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional (P) y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s.

La unidad U2B y U2C da continuidad a la Formación Escondido, corresponde a areniscas y lutitas, y limolitas, con algunos horizontes de areniscas, lutitas – areniscas, lutitas – limolitas, en algunas zonas de alternancias de areniscas – lutitas y lutita – limolita. Las velocidades de la U2B en la onda de corte (S) van de los 0,46 a los 0,65 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 1,7 a los 2,0 km/s. Y en la unidad U2C las velocidades en la onda de corte (S) van de los 0,66 a los 0,90 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 2,17 a los 3,5 km/s.

Del cadenamiento 0+050,00 a 0+150,00; 0+520,00; 0+600,00 y del cadenamiento 0+740,00 a 0+875,00 se localizan tres anomalías geofísicas A1 y una A2 identificándose bajas velocidades, definiéndose horizontes de lutita, limolita- lutita, arenisca – lutita y limolita – lutita.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+200,00 m. Fm Olmos (Ksm)

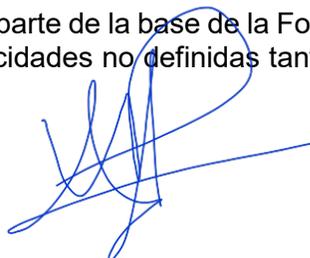
Esta formación queda dentro de tres unidades geofísicas definidas, la primera es la U2C la cual se observa del cadenamiento 0+000;00 a los 0+740,00 con un espesor de 16 m en promedio. Las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional (P) y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s.

La segunda unidad que se identifica dentro de esta formación U3 que litológicamente corresponde a lutita, lutita carbonosa, con presencia en menor proporción de arenisca, limolita y alternancias de estos materiales. El espesor promedio de esta unidad es de entre los 74,00 m; las velocidades de onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s. A lo largo de la unidad se localizan anomalías geofísicas (A1) en los cadenamientos 0+050,00 a 0+150,00 y 0+740,00 a 0+875,00; en estas se observan principalmente secuencias de lutitas y lutitas carbonosas, nos indican una baja resistencia en la roca.

De los 0+000,00 a los 0+740,00 m la Formación Olmos se tiene dentro de la unidad U4 en la secuencia de la base, donde se tienen areniscas con lutitas y lutitas con lutitas carbonosas, así el horizonte del manto de carbón. Geofísicamente no se da una velocidad definida tanto en la onda compresional y de corte.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+200,00 m. Fm San Miguel (Ksc)

Al igual que parte de la base de la Formación Olmos, la Fm San Miguel queda dentro de la unidad U4 con velocidades no definidas tanto en la onda compresional y de corte. Su espesor tampoco



es definido, esto a que la sísmica profunda no llega a mayor profundidad por debajo de los 200 msnm y ni los sondeos de exploración directa.

## **SECCIÓN GEOLÓGICO – GEOFÍSICA 4, RAMAL INFERIOR**

La sección se ubica al sur de la zona de estudio, con un rumbo de 79° NE; tiene una longitud de con una longitud total de 700 m; eh interseca con la sección 1 y 5.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+700,00 m. Suelo Residual (Qsr)

A lo largo de este cadenamiento se identifica superficialmente suelo residual, con espesores que varían de 2,00 m a los 3,00 m; con los resultados de la sísmica profunda, podemos correlacionar esa litología con la Unidad U1; las velocidades en la onda compresional (P) se tienen rangos 0,4 a los 0,8 km/s; mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,15 los 0,25 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+700,00 m. Fm Escondido (Ksm)

La Formación Escondido corresponde a la unidad geofísica U2, como en el caso de la Sección 3, no se cuenta con divisiones de la unidad, se correlaciona toda la formación como una sola por los contactos geofísicos que se tienen. De igual manera, se debe tener en cuenta que la U2A sigue correlacionándose a las zonas de roca meteorizada de la formación, constituida principalmente por areniscas y lutitas. Las velocidades rondan entre los 0,9 a los 1,6 km/s en la onda compresional (P) y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades 0,26 los 0,45 km/s.

La unidad U2B y U2C da continuidad a la Formación Escondido, corresponde a areniscas y lutitas, y limolitas, con algunos horizontes de areniscas, lutitas – areniscas, lutitas – limolitas, en algunas zonas de alternancias de areniscas – lutitas y lutita – limolita. Las velocidades de la U2B en la onda de corte (S) van de los 0,46 a los 0,65 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 1,7 a los 2,0 km/s. Y en la unidad U2C las velocidades en la onda de corte (S) van de los 0,66 a los 0,90 km/s y la onda compresional (P) presenta velocidades que van 2,17 a los 3,5 km/s.

Cadenamiento de 0+000,00 a 1+700,00 m. Fm Olmos (Ksm)

Esta formación queda dentro de dos unidades geofísicas, la U3 y U4; la U3 litológicamente corresponde a lutita, lutita carbonosa, con presencia en menor proporción de arenisca, limolita y alternancias de estos materiales. El espesor promedio de esta unidad es de entre los 85,00 a los 99,00 m. Las velocidades de onda compresional (P) son mayores a los 3,6 km/s y mientras que la onda de corte (S) se presentan velocidades superiores a los 0,90 km/s. A lo largo de la unidad se localizan anomalías geofísicas (A1 y A2) las cuales se observan en los cadenamientos 0+200,00; 0+300,00; 0+475,00 y 0+570,00 m; en estas se observan principalmente secuencias de lutitas y lutitas carbonosas, nos indican una baja resistencia en la roca.

De los 0+000,00 a los 0+460,00 m la Formación Olmos se tiene dentro de la unidad U4 en la secuencia de la base, donde se tienen areniscas con lutitas y lutitas con lutitas carbonosas, así el horizonte del manto de carbón. Geofísicamente no se da una velocidad definida tanto en la onda compresional y de corte.

Cadenamiento de 0+000,00 a 0+700,00 m. Fm San Miguel (Ksc)

Al igual que la base de la Formación Olmos, la Fm San Miguel queda dentro de la unidad U4 con velocidades no definidas tanto en la onda compresional y de corte. Su espesor tampoco es definido, esto a que la sísmica profunda no llego a mayor profundidad por debajo de los 200 msnm y ni los sondeos de exploración directa.



## 4 CONDICIONES GEOLOGICAS PARA LA EXCAVACIÓN DE LOS SITIOS DE OBRA

Para el análisis de las condiciones geológicas que se prevé encontrar durante las excavaciones de la Alternativa 4, se llevó a cabo la exploración del subsuelo mediante la perforación de 35 sondeos y la aplicación de estudios de geofísica (métodos eléctrico y sísmico). Con los resultados obtenidos se definieron contactos geológicos, distribución de unidades litológicas, índices de recuperación y RQD, así como la permeabilidad de la roca en la zona que comprende un diámetro de las nuevas obras por bajo el piso y sobre la clave, en las viejas zonas donde se localizaban los frentes explotación de la mina Pasta de Conchos, en zonas de contactos litológicos, en fallas, en la parte superficial para observar el comportamiento de un cuerpo de agua subterráneo.

### 4.1 PORTAL DE ENTRADA

En el portal de entrada se realizará con una rampa a cielo abierto, con profundidad máxima bajo el nivel del terreno natural de 10,09 m y con 64,47 m de longitud, iniciando en el cadenamamiento 0+036,99 y el cual atravesará dos litologías, material aluvial y arenisca intemperizada.

El material aluvial es de reciente creación, por lo que no se encuentra compactado ni consolidado, es de matriz arcillo – limosa, color amarillo grisáceo ligero (5Y 8/4), en núcleo de barrenación es penetrable con navaja, y en afloramiento resistente a dos impactos del martillo geológico; en ocasiones, dicha matriz reduce su presencia, dando lugar a abundantes clastos subredondeados de máximo 15,00 cm de diámetro con escasa matriz, mientras la arenisca es color anaranjado grisáceo (10YR 7/4) con grado de intemperismo de III a IV mostrando resistencia de máximo tres impactos de martillo geológico.

Para su desglose, se seccionan en siete cortes perpendiculares al avance y cadenamamientos, a continuación, se describe el espesor de cada una de las litologías, encontradas, considerando clasificación de macizos rocosos RMR, y con rangos de calidad mala de 40 – 31 y de calidad regular de 60 – 51.

**CAD. 0+041:** Se remueve 0,55 m de material aluvial el cual presenta poca compactación, y le subyace una capa con espesor de 2,57 m del mismo material; siendo la única litología afectada en esta zona. Los sedimentos extraídos y sobre las que descansa la obra son de calidad mala.

**CAD. 0+050:** Desplante de 0,54 m por debajo del nivel del terreno natural, con pendiente de 0.50:1 en los taludes laterales, los cuales se conforman de material aluvial con mala calidad y, en la base de la excavación calidad regular, teniendo contacto entre suelo y arenisca intemperizada con resistencia a dos golpes de martillo geológico.

**CAD. 0+060:** Espesor del material aluvial es de 2,57 m no compactado, a dicha profundidad, se presenta el contacto entre sedimentos aluviales y arenisca intemperizada, que tiene un espesor de 0,97 m, sin embargo, presenta comportamiento similar a los sedimentos aluviales, con clasificación mala.

**CAD. 0+070:** Se presenta un desplante de 0,18 m debajo del nivel de terreno natural, excavando en 2,60 m de aluvial, y 2,73 m de arenisca intemperizada. La calidad es mala de 0,00 a 1,76 m, y continua con calidad regular.

**CAD. 0+080:** El eje de trazo se encuentra 0,09 m bajo el terreno natural, conformado por material aluvial, el cual se exhibirá en los taludes hasta 2,55 m, y continua arenisca intemperizada de

espesor de 4,48 m. Únicamente existe mala calidad en el aluvial de 0,00 a 1,57 m, mientras a profundidad se tiene calidad regular.

**CAD. 0+090:** El aluvial mantiene espesor constante observándose hacia superficie de los taludes laterales, y bajo este, predomina arenisca intemperizada con espesor de 6,26 m. La clasificación de 1,73 m de superficie a profundidad es mala, continuando taludes con calidad de roca regular.

**CAD. 0+097:** La zona de menor elevación del portal de entrada está a 377,065 m.s.n.m., con espesor constante de aluvial de 2,58 m y el máximo espesor de arenisca intemperizada de 7,56 m. De 0,00 a 2,01 m, correspondiente a material aluvial, la clasificación es mala, mientras la parte inferior de los taludes tendrá roca y material aluvial de calidad regular.

En el talud del portal de entrada tendrá pendiente de 0.50:1 exhibiendo sobre el talud, 2,77 m de aluvial y 8,46 m de arenisca intemperizada.

## 4.2 RAMPA GENERAL

### 0+039,39 a 0+151,60

Comienza a excavarse en material suelo y aluvial, esta última se compone por dos tipos de litologías, una conformada únicamente por material fino, arcillas y limos, mientras el otro, consiste en gravas envueltas en matriz arcillosa, ninguna presenta clasificación RQD, sin embargo, se tiene condiciones poco compactas y deleznales, y condiciones hidráulicas impermeables. A partir del cadenamiento 0+100,77 comienza acuñarse la litología anterior, dando paso a arenisca intemperizada en grado III, con alternancias en grado IV, permeable, con clasificación de roca regular, mostrando valores de 56 %.

En la zona de arenisca intemperizada, e iniciando el túnel y coincidente con el talud del portal de entrada, se presenta una falla normal con 50°NW, la cual será atravesada a 40° en sentido a favor de la excavación.

### 0+151,60 a 0+197,87

Alternancia de areniscas con lutitas – limolitas con diferentes calidades de roca, mientras la primera presenta de regulares a excelentes calidades, y, es permeable, la segunda litología tiene de malas a muy malas condiciones de roca, sin embargo, en esta zona se presenta poca permeabilidad. La arenisca que sobreyace este conjunto de rocas se encuentra intemperizada, continuando con un espesor de lutita – limolita de 59,50 m en sobre el eje de la rampa de acceso, dicha litología reduce su espesor hacia la clave de la obra, introduciéndose arenisca compacta con valores RQD de 93,00 %.

### 0+197,87 a 0+309,62

Se presenta alternancia de arenisca, limolita, arenisca – limolita y arenisca en contacto horizontal, todas ellas con calidades de roca de Buena a Excelente y condiciones hidráulicas permeables. La arenisca que sobreyace el conjunto presenta condiciones buenas a excelentes mejorando ligeramente con la profundidad, en todo su espesor se muestra permeable, continúan estratos potentes de limolita y, de menor espesor un horizonte de arenisca – limolita, ambas permeables y con calidades Excelentes; finalmente, se emplaza arenisca compacta con calidades de roca Excelentes.

**0+309,62 a 0+317,38**

La arenisca inmediata superior que tiene Excelente calidad de roca, al presentar contacto horizontal con lutitas, disminuye la calidad del tramo, obteniendo 42 % de valor RQD, clasificándose como Mala, e impermeable. La arenisca se encuentra hacia la clave del tramo, mientras las lutitas hacia la bóveda y contrabóveda de la obra.

**0+317,38 a 0+395,85**

Arenisca compacta e impermeable que sobreyace a horizonte de lutita – limolita, ambas presentan calidades regulares de roca que abarcan de 54,00 a 63,00 %. El espesor de lutitas – limolitas abarca desde el 0+317,38 a 0+352,53 en bóveda y contrabóveda o del túnel, a partir de 0+352,53 hasta 0+395,85 la lutita – limolita se encuentra en la clave del túnel con acuñamiento hacia superficie subyaciendo arenisca – lutita.

**0+395,85 a 0+452,62**

La arenisca – lutita de calidad Excelente (97 %) aparece en hombros, bóveda y piso del túnel a partir del cadenamamiento 0+360,54 hasta 0+395,85, y en la clave desde dicho cadenamamiento hasta los 0+423,88 con acuñamiento gradual dando paso a un horizonte de arenisca de calidad Excelente, y le subyace otro de menor espesor de limolita – arenisca; al presentar contacto horizontal entre las 3 litologías, del cadenamamiento 0+425,88 a 0+435,57 se presenta mala calidad, con valores RQD de 43,00 %. Terminando este horizonte, predominan los estratos arenosos con valores de calidad Excelente, acuñándose hacia la clave del túnel y sobreyaciendo a limolita – arenisca.

A los 0+400,00 se encuentra una falla normal (Falla II) con 48° de echado hacia sureste, la cual se encontrará con sentido en contra de la excavación a 57° de echado.

**0+452,62 a 0+509,87**

En la clave del túnel se presentan espesores amplios de limolita – arenisca de calidad regular hasta 0+488,12. A partir de ese cadenamamiento, sobreyacen a estratos delgados de arenisca – lutita carbonosa y a lutita carbonosa – limolita, reduciendo la calidad de la roca a Mala, en un espesor de 3,60 m sobre el eje del túnel. Continua, limolita – arenisca poco permeable y de calidad Excelente y lutita carbonosa – limolita envolviendo un estrato de arenisca – lutita carbonosa, ambas de calidad Regular e impermeable.

En el cadenamamiento 0+499,09 se presenta en la bóveda una falla normal con echado de 44° al SE, teniendo un ángulo de 54° en contra, al realizar la excavación.

El contacto entre la Formación Escondido y Formación Olmos comienza con el contacto entre limolita – arenisca y arenisca – lutita carbonosa, en el cadenamamiento 0+488,12.

**0+509,87 a 0+522,66**

En zona de contacto entre litologías arenisca – lutita carbonosa, arenisca – limolita y lutita carbonosa – limolita. Las dos primeras, se encuentran en la bóveda con calidad Mala, y de condición impermeable acuñándose hacia la bóveda en el cadenamamiento 0+516,08, mientras la litología que les subyace es de calidad Buena, en espesores delgado hacia el piso del túnel.

**0+522,66 a 0+559,96**

Predominancia de lutitas carbonosas – limolitas en las paredes y bóveda del túnel con espesor máximo hasta los 0+528,90 y continúa acuñándose hacia el noroeste, reduciendo totalmente su espesor en 0+559,96, a esta litología le subyacen las siguientes litologías conforme se avanza a profundidad: arenisca – limolita, arenisca, lutita – lutita carbonosa, todas ellas de espesores delgados, y, finaliza con lutita – limolita. Las calidades son regulares, y conforme aumenta la profundidad, aumenta la calidad de la roca, hasta llegar a roca de Buena con RQD de (87,00 %). El tramo tiende a ser impermeable con poca permeabilidad en intercalación de areniscas, lutita – lutita carbonosas y lutita limolita.

**0+559,96 a 0+577,26**

En el tramo presencia de lentes delgados de calidad Buena (82,00 a 87,00 %), de carácter impermeable donde sobreyace y se exhibe, en la bóveda, arenisca – limolita y arenisca. A estas le subyacen areniscas, lutitas – lutitas carbonosas y lutitas – limolitas en lentes delgado y que se acuñan en la zona.

0+577,26 falla normal con echado de 50° hacia el sureste con echado aparente ante la obra de 60° con sentido en contra de la excavación.

**0+577,26 a 0+625,74**

La lutita – limolita comienza a acuñarse sobre lutita carbonosa – arenisca, hasta desaparecer de la bóveda a partir del cadenamiento 0+616,64, en conjunto presentan calidad Regular con 76,00 % de RQD y poca permeabilidad atribuyéndose principalmente a la lutita – limolita. A partir de 0+616,64 la roca que se encuentra sobre la bóveda será lutita carbonosa – arenisca, a la cual le subyace lutita – limolita, en conjunto tienen calidad Excelente y condiciones impermeables.

**0+625,74 a 0+661,70**

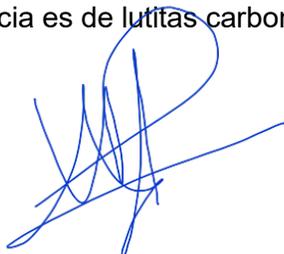
Paquete de rocas de calidad RQD Buena con valores de 79,00 a 87,00 %. compuestos de lutita – limolita que sobreyacen a estratos de arenisca – lutita carbonosa y arenisca. Se observan macizos rocos impermeables en composición lutita – limolita, mientras cuando la principal composición son arenas, su permeabilidad aumenta siendo Poco permeables.

**0+661,70 a 0+678,42**

En la bóveda del túnel se muestra arenisca – lutita carbonosa la cual sobreyace a arenisca en contacto horizontal, con acuñamiento hacia el noroeste, y continua con estrato delgado de lutita carbonosa; los valores de RQD son Excelentes con la presencia de arenisca y se reducen a Buenos en presencia de lutita carbonosa. Los estratos de mayor dominancia son de composición arenisca – lutita y arenisca encontrándose en bóveda y hastiales.

**0+678,42 a 0+839,04**

Intercalaciones de lutita carbonosa con areniscas, en general, presentan homogeneidad en comportamiento, teniendo calidad de roca Buena con escasos tramos de calidad Excelente, y, adicionalmente, algunas zonas con calidad Regular a partir 0+717,25 hasta el final de la rampa, con RQD desde 64,00 hasta 72,00 % mostrando poca permeabilidad en zonas donde la predominancia es de lutitas carbonosas, mientras en las zonas de areniscas la permeabilidad es nula.



Los tramos donde la lutita carbonosa se encuentra en la bóveda del túnel son 0+694,48 a 0+687,01 y de 0+766,54 a 0+810,87, en los tramos intermedios, la arenisca es la que se encuentra en la bóveda. Ambas presentan acuñamientos entre litologías hacia la clave de la obra.

### 4.3 RAMAL GENERAL

El esquema de obra que pertenece al Ramal Principal se observa en la SECCIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA 1-1' – RAMPA Y RAMAL GENERAL (SEG-DGL-K1330-P-003/06-0621 Rev00) inicia en el cadenamiento 0+790,44 y finaliza en el cadenamiento 1+254,30, tiene 461,93 m de longitud horizontal y 4,15 m de altura.

En el Ramal Principal se observa una única litología, misma que pertenece a la Formación Olmos, a una profundidad aproximada de 125,00 m (elevación = 255,00 m). El ramal se encuentra proyectado 15.39 m de la sección.

Para la siguiente descripción de frente de obra se relacionan datos de los sondeos más cercanos al Ramal Principal, los sondeos tomados en cuenta son; PC-8 y PC-3, los cuales se encuentran en los cadenamientos 0+893,04 y 1+046,15 respectivamente sobre la sección. Tienen una distancia entre sí de 153,1 m, al ser una gran distancia, aun hablando de la misma litología, pueden existir variaciones de litología y sus características, se necesitará mayor información para ser interpretadas adecuadamente.

Durante todo el frente se observa lutita con intercalaciones de lutita carbonosa, la roca es deleznable, con zonas penetrables con el dedo ejerciendo ligera presión y de consistencia suave, conformado por material arcilloso, su recuperación es completa, sin embargo, estas características se observan en superficie, mismas condiciones provocan la disgregación de la roca muy fácilmente. En condiciones de profundidad, es una roca moderadamente fracturada, competente, dura y masiva.

A su vez y con mayor escala, también se observan intercalaciones de arenisca y limolita de pequeños espesores, se muestran estratificadas y con zonas de transición, esto debido al acomodo de los estratos, se encuentran en intervalos horizontales y otros intervalos con formas irregulares. En estos pequeños intervalos, la roca es más resistente en condiciones superficiales. A los 137,35 m se haya una guía de carbón con 11,00 cm de espesor.

De acuerdo con las pruebas de permeabilidad, la roca va de poco permeable a permeable conforme avanza el cadenamiento. El sondeo PC-8 arrojó datos con resultados de absorción de 7 l/min/m que indican poca permeabilidad en la roca en el intervalo de 139,90m a 144,90. Así mismo, en el sondeo PC-3 se obtienen resultados de los intervalos; 125,60 m-130,60 m, 130,70 m-135,70 m y 135,80 m-140,85 m, con una absorción de 1,08 l/min/m, 3,60 l/min/m y 3,20 l/min/m respectivamente. Así, estos resultados permiten denominar a esta roca como una roca impermeable. El cadenamiento de transición de roca poco permeable a roca impermeable no es claro con la información recabada hasta el momento, sin embargo, se infiere que es un cambio gradual.

Finalizando, la información tomada en campo relacionada a la recuperación de la roca (RQD), resulta variable en los diferentes sondeos a pesar de hablar de la misma litología, en el sondeo PC-8 tiene un promedio aproximado de 72% de RQD, mientras que en el sondeo PC-3 tiene una recuperación mayor, alcanzando un promedio aproximado de 80% de RQD. Estas diferencias en RQD se deben a que, conforme incrementa el cadenamiento, también aumentan las

intercalaciones con diferentes aportes dentro de la misma litología; en el sondeo PC-3 se encuentran pequeñas intercalaciones de limolita con estructura masiva, también hay lutita con grandes alternancias de carbón en lentes horizontales y contactos ondulados. Además, las transiciones graduales de limolita y arenisca comienzan a presentarse con mejor definición que en el sondeo PC-8, siendo intervalos de roca muy resistente. Lo que indica que esta litología tiene mejor calidad hacia el SE, donde es favorecida por el aporte de granos de mayor tamaño y se vuelve más competente y resistente en condiciones superficiales.

En general, en este tramo de obra se observa lutita con intercalaciones de lutita carbonosa, también esta litología presenta lentes de arenisca y limolita de poco espesor y alargados horizontalmente en sentido de la estratificación en diferentes proporciones que pueden variar la resistencia y competencia de la roca.

#### **4.4 RAMAL 1**

El esquema de obra que pertenece al Ramal Superior se observa en la SECCIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA 2-2' – RAMAL SUPERIOR (SEG-DGL-K1330-P-004/06-0621 Rev00) inicia en el cadenamiento 0+357,77 y finaliza en el cadenamiento 0+688,23, tiene 330,45 m de longitud horizontal y 5,00 m de altura. Además, la obra se encuentra proyectada a una distancia de 50 m sobre la SECCIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA 2-2' – RAMAL SUPERIOR (SEG-DGL-K1330-P-004/06-0621 Rev00).

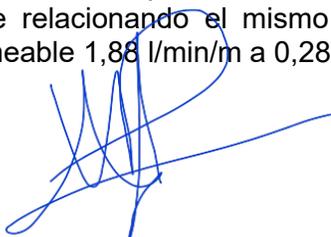
La obra se encuentra en diferentes litologías pertenecientes a la Formación Olmos, con una profundidad aproximada de 135,00 m (elevación aproximada = 247,00 m).

Para la siguiente descripción de frente de obra se relacionan datos de los sondeos más cercanos, en el caso del Ramal Superior, los sondeos tomados en cuenta son; PC-12 y PC-13, los cuales se encuentran en los cadenamientos 0+525,32 y 0+750,00 respectivamente sobre la sección.

Como primer frente, en el intervalo de 0+357,77 – 0+503,76, se encuentra un material compuesto de arenisca de grano medio con intercalaciones de lutita con guías de carbón, misma que suprayace al manto de carbón, el cual tiene una presencia en la base de la obra con un aproximado del 70% sin ser de un espesor importante, pero puede ser riesgoso para la obra y para quienes se encuentren en ella. La arenisca presenta zonas de debilidad debido a un fracturamiento menor a 30°; exceptuando algunos esporádicos planos de fractura menores a 60°.

Respecto a la lutita, se encuentra frágil al tacto y en superficie. A pesar de las zonas y planos de debilidad observados en superficie, la roca en esta zona se mantiene bastante competente y de excelente calidad de acuerdo a los resultados de RQD (90%) tomados directamente en canaleta, Las pruebas de permeabilidad que afecta dicho intervalo son efectuadas en el intervalo de profundidad de 136,00 m a 141,00 m en el sondeo PC-12, arrojaron como resultado poco permeable, hubo un gasto de agua de 1,88 l/min/m a 0,2832 Mpa (2,89 kg/cm<sup>2</sup>) al efectuar dicha prueba. Se presenta fracturamiento hidráulico a partir de 0.98 bares.

El siguiente frente inicia en el cadenamiento 0+503,76, a lo largo de 84,52 m se tiene la continuación de la arenisca de grano medio con intercalaciones de lutita descrita en el frente anterior, con la diferencia que se asoma subyaciendo el manto de carbón, los parámetros de RQD y resultados de permeabilidad siguen siendo los mismos que el frente anterior debido a que se sigue relacionando el mismo intervalo en ambos casos. RQD=90% y permeabilidad= poco permeable 1,88 l/min/m a 0,2832 Mpa (2,89 kg/cm<sup>2</sup>).



Como tercer frente, entre los intervalos de 0+584,52 y 0+627,03 con una distancia de 38,75 m, se encuentran 3 capas litológicas; como capa superior, arenisca de grano medio con intercalaciones de lutita. En el lugar de la capa intermedia, se observa lutita carbonosa con aporte de arenisca, iniciando con un espesor mínimo y va aumentando poco a poco conforme hay avance en el cadenamiento, se describe medianamente compacta y fracturamiento medio, además de planos de debilidad. Por debajo de estas dos litologías, se percibe el manto de carbón de la zona.

De acuerdo a las pruebas de permeabilidad, las dos litologías que actúan como base (lutita carbonosa con aporte de arenisca y el manto de carbón, arrojaron un resultado de absorción de 0,24 l/min/m a 0,2378 Mpa (2,42 kg/cm<sup>2</sup>), por lo que se determina un comportamiento impermeable en la roca. También, cabe mencionar que la capa superior (arenisca con intercalaciones de lutita) continúa siendo una roca de excelente calidad debido a los 96% que arrojaron los resultados de RQD. Medianamente fracturada y pierde factor de competencia en superficie con los planos de debilidad donde se encuentra lutita.

El siguiente y último frente se encuentra en el intervalo de 0+627,03 a 0+683,23, aparece una única litología; lutita carbonosa con aporte de arenisca, medianamente competente, fracturamiento medio, planos de debilidad y pigmentación oscurecida por el aporte de materia orgánica y cercanías al manto de carbón. En los resultados de permeabilidad se obtuvieron resultados de roca impermeable y con una excelente calidad de roca, misma que se determinó midiendo RQD, tal es el mismo procedimiento en los anteriores frentes.

Finalmente, se determina que no hay una variación importante en los frentes de obra del Ramal Superior, debido a la horizontalidad de la misma, lo que resulta cuasi paralelo a la horizontalidad de las capas litológicas en el diagrama de secciones. Se observaron en su totalidad 4 diferentes frentes, en donde el principal cambio se ve con la interacción del manto de carbón, se recomienda realizar un nuevo esquema con una elevación mayor para evitar trabajar sobre el manto de carbón y recuperar estabilidad que quita el mismo.

#### **4.5 RAMAL 2 (PONIENTE Y ORIENTE)**

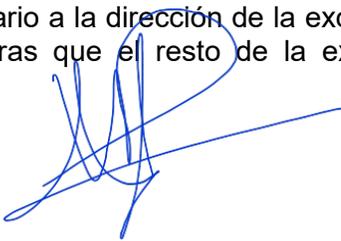
##### **RAMAL 2, PONIENTE**

0+163,00 A 0+223,00

La excavación en la mayoría de este tramo encontrará lutita carbonosa, la parte superior de este se observará una secuencia de lutita - arenisca. Conforme se acerque a la falla la excavación, se encontrará una guía de carbón que asciende con la unidad litológica. El RQD que corresponde a este cadenamiento se divide 3 partes, de acuerdo a la información de la Sección Geológico – Geofísica 3 (Anexo 1) se puede dividir en 2 partes: uno superior de 75.73% y otro inferior de 63.60%. Las pruebas de permeabilidad arrojaron unidades poco permeables en esta parte de la sección.

0+223,00 A 0+258,00

La excavación encontrará una falla en el piso al inicio del cadenamiento. El echado de la falla es contrario a la dirección de la excavación. Al piso se estará retirando parte del manto de carbón; mientras que el resto de la excavación se estará removiendo lutita carbonosa misma que



presentará la guía encontrada en el cadenamiento anterior, debido a la falla esta aparecerá a la mitad del túnel. El techo presenta lutita - arenisca, este material se adelgazará hasta desaparece más adelante. El RQD que corresponde a este cadenamiento se divide 2 partes la parte superior de la excavación corresponde a 75.73% y otro inferior de 63.60%. Las pruebas de permeabilidad arrojaron unidades poco permeables en esta parte de la sección. Desaparece la falla en el cadenamiento 0+228,00.

0+258,00 A 0+276,00

Sobre este cadenamiento se pierde la secuencia de lutita – arenisca; partir de este, nuevamente se excavará la secuencia en el piso del manto de carbón y en el resto del túnel lutita carbonosa. El RQD que corresponde a este cadenamiento se divide 2 partes: uno superior de 75.73% y otro inferior de 63.60%. Las pruebas de permeabilidad arrojaron unidades poco permeables en esta parte de la sección. Sobre el cadenamiento 0+271,00 y hasta el 0+276,00 se presentará una falla cuyo echado sigue la dirección de la obra (NE-SW).

0+276,00 A 0+327,00

Por la falla descrita en el cadenamiento anterior el manto de carbón desaparece y se continua completamente en lutita carbonosa. La Lutita Carbonosa presenta 2 guías de carbón que se encontrarán a la mitad del túnel, la posición y espesor (10 cm) de estas guías variará, pero al continuar excavando es esta unidad es seguro que se encontrarán. El RQD que corresponde a este cadenamiento presenta un 71.15%. Las pruebas de permeabilidad arrojaron unidades poco permeables en esta parte de la sección.

0+327,00 A 0+357,00

El túnel encontrará lutita carbonosa que cubrirá la totalidad, pero poco a poco y desde el techo, dará paso a Arenisca hasta que esta constituya la totalidad de la litología en la excavación. El RQD que corresponde a este cadenamiento es de 91.80%, 80.66%, 84.26% y 71.15%; estos valores se presentan de menor a mayor profundidad. Las pruebas de permeabilidad arrojaron unidades poco permeables en esta parte de la sección.

0+357,00 A 0+373,00

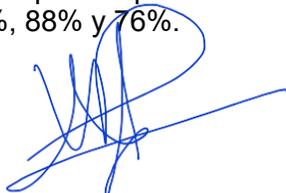
El túnel encontrará Arenisca únicamente en este tramo. El RQD de este tramo del cadenamiento es de 100%.

0+373,00 A 0+387,00

El túnel encontrará arenisca que poco a poco dará paso desde el techo al piso a lutita carbonosa- Arenisca, esta lutita no sustituirá por completo la arenisca, sino que terminarán a partes iguales hasta el siguiente cadenamiento. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en tres: 79%, 100% y 88%

0+387,00 A 0+407,00

El túnel en esta sección encontrará al inicio de este cadenamiento partes iguales de arenisca y lutita carbonosa - arenisca. Paulatinamente desaparecerá la arenisca, la lutita carbonosa mantendrá su tamaño, pero pasará de la parte superior del túnel hacia el piso, el techo poco a poco se compondrá por arenisca - limolita. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en tres: 100%, 88% y 76%.



0+407,00 A 0+422,00

El túnel encontrará lutita carbonosa - arenisca y arenisca - limolita por igual al principio; poco a poco desaparecerá la lutita carbonosa - arenisca; la arenisca - limolita mantendrá su tamaño inicial, pero pasará de estar en el techo a estar en el piso; el techo poco a poco se compondrá por lutita carbonosa - arenisca. Las pruebas de permeabilidad practicadas en este tramo no abarcan toda la litología del mismo, pero por extrapolación sabemos que la lutita carbonosa - arenisca es impermeable. El RQD de este tramo del cadenamamiento se divide en cuatro: 100%, 88%, 76% y 94%.

0+422,00 A 0+457,00

La excavación del túnel encontrará a partes iguales arenisca - limolita y lutita carbonosa - arenisca, la primera desaparecerá poco a poco en el piso al tiempo que la lutita carbonosa aparece en el techo, la lutita carbonosa - arenisca se mantendrá con el mismo espesor durante este cadenamamiento. Las pruebas de permeabilidad practicadas en este tramo no abarcan toda la litología del mismo, pero por extrapolación sabemos que la lutita carbonosa - arenisca es impermeable. El RQD de este tramo del cadenamamiento se divide en 4, de abajo hacia arriba : 76%, 94%, 72% y 75%.

## **RAMPA DE ACCESO**

0+457,00 A 0+500,60

La excavación encontrará casi exclusivamente lutita carbonosa en el túnel con excepción de algunos tramos en lutita carbonosa - arenisca restringidos al piso del túnel. Las pruebas de permeabilidad practicadas en este tramo no abarcan toda la litología del mismo, pero por extrapolación sabemos que la lutita carbonosa - arenisca es impermeable. El RQD de este tramo del cadenamamiento es de 75%.

## **RAMAL 2 ORIENTE**

0+500,60 A 0+543,00

La excavación encontrará casi únicamente lutita carbonosa, esta litología disminuirá poco a poco, dando paso a lutita carbonosa - arenisca. Las pruebas de permeabilidad practicadas en este tramo no abarcan toda la litología del mismo, pero por extrapolación sabemos que la lutita carbonosa - arenisca es impermeable. El RQD de este tramo del cadenamamiento se divide en 4, de arriba hacia abajo: 77%, 72%, 94% y 76%.

0+543,00 A 0+562,00

La excavación encontrará  $\frac{1}{4}$  de lutita carbonosa en la parte superior del túnel y lutita carbonosa - arenisca, poco a poco la primera litología desaparecerá y debajo de la segunda aparecerá arenisca - limolita, dicha litología aumentará hasta que ésta que al final del cadenamamiento compartan el frente con la lutita carbonosa - arenisca. Por extrapolación sabemos que la lutita carbonosa - arenisca es un material impermeable. El RQD de este tramo del cadenamamiento se divide en 4, de arriba hacia abajo: 72%, 94%, 76% y 88%.



0+562,00 A 0+582,00

La excavación encontrará la lutita carbonosa - arenisca y arenisca - limolita en proporciones iguales al inicio de este cadenamiento, conforme la excavación avance, la parte superior va disminuyendo la lutita carbonosa - arenisca, la arenisca - limolita mantiene su proporción inicial, al inicio esta litología se presenta en el piso y, debido a la inclinación de la obra, termina en el techo. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en 4, de arriba hacia abajo: 94%, 76%, 88% y 100%.

0+582,00 A 0+601,00

Este cadenamiento presenta dos litologías en igual proporción: arenisca - limolita y lutita carbonosa - arenisca; la arenisca - limolita disminuye su presencia en el techo mientras que la lutita carbonosa - arenisca mantiene el mismo espesor hasta 0+601; poco a poco y conforme disminuye la arenisca - limolita del techo, el piso gana arenisca hasta que esta se encuentra en igual proporción con la lutita carbonosa - arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en 3, de arriba hacia abajo: 76%, 88% y 100%.

0+601,00 A 0+618,00

Este cadenamiento comienza con lutita carbonosa - arenisca en la parte superior y arenisca en la parte inferior, estas litologías se encuentran en iguales proporciones al inicio de este cadenamiento y poco a poco la lutita carbonosa - arenisca pierde presencia hasta que la arenisca la reemplaza por completo. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en 3, de arriba hacia abajo: 88%, 100% y 79%.

0+618,00 A 0+654,00

La excavación encontrará arenisca y progresivamente una mayor cantidad de arenisca - lutita sobreyaciendo a la arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se divide en 2, de arriba hacia abajo: 100% y 79%.

0+654,00 A 0+701,30

Aparece lutita - arenisca sobreyaciendo la lutita carbonosa - arenisca y la arenisca. La arenisca que constituye la parte inferior del túnel se convierte poco a poco en una Arenisca-Limolita. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde la lutita - arenisca y la lutita carbonosa - arenisca presentan características de rocas impermeables. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%.

0+701,30 A 0+711,00

Se encontrará una falla donde el bloque de piso se desliza de frente al cadenamiento de la sección, es decir de SW a NE, esta falla permitirá la aparición súbita de lutita carbonosa en el piso de la rampa y un engrosamiento importante y súbito de la arenisca-limolita, se observará un adelgazamiento muy importante y brusco de la lutita - arenisca, la arenisca - lutita que se encuentra en la parte media del túnel se observará repentinamente muy cerca del techo. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde la lutita - arenisca y la lutita carbonosa - arenisca presentan características de rocas impermeables.

0+711,00 A 0+714,00

Desaparece la lutita carbonosa y la litología predominante es arenisca - limolita. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde la Lutita-Arenisca y la Lutita Carbonosa-Arenisca presentan características de rocas impermeables.

0+714,00 A 0+799,00

Aparece poco a poco un lente de limolita - arenisca que reemplaza brevemente la lutita - arenisca del techo, pero conforme se avanza encontraremos que aparece lutita, engrosándose poco a poco hasta ocupar la mitad del túnel, el comportamiento de la litología del piso es opuesto, comienza ocupando la mitad del túnel y disminuye poco a poco hasta desaparecer. El resto del túnel se divide en dos litologías, limolita - arenisca y lutita carbonosa – arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde la lutita - arenisca y la lutita carbonosa – arenisca presentan características de rocas impermeables.

0+799,00 A 0+803,00

La mitad del túnel en esta sección está conformada por lutita - arenisca, la otra mitad se divide entre limolita - arenisca y lutita carbonosa – arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde la lutita - arenisca y la lutita carbonosa – arenisca presentan características de rocas impermeables.

0+803,00 A 0+818,00

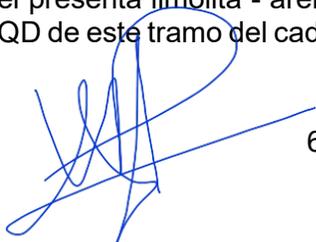
La mayor parte de la excavación se realizará en lutita - arenisca conforme avance la mitad de la excavación al piso se divide en partes similares por limolita - arenisca y lutita carbonosa – arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde presentan características de rocas impermeables.

0+818,00 A 0+857,00

La mitad inferior del túnel está compuesta por lutita carbonosa y el resto del túnel presenta lutita carbonosa – arenisca, limolita - arenisca y lutita - arenisca, de manera ascendente. El RQD de este tramo del cadenamiento profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo presentan características de rocas impermeables.

0+857,00 A 0+862,00

La parte inferior del tramo presenta arenisca - limolita, el techo presenta lutita - arenisca, la parte media del túnel presenta limolita - arenisca que es reemplazada poco a poco lutita carbonosa – arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento arrojaron un resultado de 100%. Los resultados



de permeabilidad de este tramo de cadenamiento presentan características de rocas impermeables.

0+862,00 A 0+865,00

La parte inferior está compuesta por arenisca - limolita, sobreyacida por lutita carbonosa - arenisca y lutita - arenisca, esta última desaparece poco a poco hasta que el techo es reemplazado por la lutita carbonosa - arenisca. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%. Los resultados de permeabilidad de este tramo de cadenamiento se extrapolaron del barreno PC-9 donde presentan características de rocas impermeables.

0+865,00 A 0+881,00

La excavación estará compuesta por lutita carbonosa - arenisca, la parte inferior presenta limolita - arenisca que da paso poco a poco a lutita carbonosa. El RQD de este tramo del cadenamiento se extrapoló del barreno PC-9, estas litologías a esta profundidad arrojaron un resultado de 100%.

#### **4.6 RAMAL 3**

Al inicio de la excavación en este ramal es solo del cadenamiento 0+064.23 hasta 0+077.67 se atravesará una litología compuesta la intercalación de dos tipos diferentes de roca de grano muy fino (0,001 a 0,002 mm), correspondiente con lutita y lutita carbonosa, que se ve influenciada por la litología sobreyacente (arenisca), y de acuerdo con los datos obtenidos en muestra de núcleo, durante el sondeo PCT-2 (SEG-DGL-K1330-I-030/06-0621 Rev00) esta lutita carbonosa se encuentra entremezclada con la arenisca, esto se ve reflejado en un buen RQD (87.02) y recuperación (100%), su competencia y resistencia, su color es Negro (N1) tanto en muestra húmeda y seca. Las pruebas de permeabilidad efectuadas en esta profundidad dieron como resultado que se trata de un tramo poco permeable.

El tramo del cadenamiento 0+77.67 hasta 0+091.65 se encontrará regido por una secuencia de intercalaciones de lutita carbonosa con lutita, esta, de acuerdo con los datos obtenidos en muestra de núcleo, durante el sondeo PCT-2 (SEG-DGL-K1330-I-030/06-0621 Rev00) este tramo obtuvo una buena recuperación y un RQD de buena calidad (82.31%), aun así, se encuentra medianamente fracturada, con el orden de inclinación de 31° a 60°, estas a su vez ocasionalmente presentarán un relleno de fractura menor a 5 mm de calcita, el color de la lutita carbonosa es negro (N1) tanto en muestra seca como en muestra húmeda, el color de la lutita es gris oscuro (N2) en muestra seca y húmeda, a estas profundidades se registró la presencia de gas durante las maniobras de realización del sondeo PCT-2; Las pruebas de permeabilidad efectuadas en esta profundidad dieron como resultado que se trata de un tramo poco permeable.

El tramo del cadenamiento que va de 0+091.65 hasta 0+107.65 se encontrarán 3 litologías de grano muy fino, la primera es una intercalación de estratos de menor tamaño comprendida por la intercalación de lutita carbonosa con lutita, esta litología se encuentra con un importante fracturamiento dado en poco espaciamiento en un limitado espesor, esto de acuerdo con los datos obtenidos en muestra de núcleo, durante el sondeo PCT-2 (SEG-DGL-K1330-I-030/06-0621 Rev00), cuenta con un buen RQD (81.25%) . Seguido de ello, se encuentra una lutita de un mayor espesor, más compactada y resistente, prevalece el fracturamiento mencionado anteriormente su RQD es el más bajo de este tramo, 73.27% (regular). Subsecuentemente a las alturas del piso de excavación, se localiza una lutita carbonosa en un menor espesor, fracturamiento con orden de inclinación de 31° a 60°, este tramo cuenta con un RQD de 85.89% (buena calidad).

El tramo comprendido por el cadenamiento 0+107.67 hasta 0+119.25 se atravesarán 3 litologías diferentes, la primera está dada por una roca de tamaño de grano fino, que al momento de exponerse en superficie perdió resistencia, aun así, esta lutita presentó fracturamiento importante, ocasionalmente relleno por calcita y con poco espaciamiento; esto basándose con los datos obtenidos en muestra de núcleo, durante el sondeo PCT-2 (SEG-DGL-K1330-I-030/06-0621 Rev00); esta litología tiene un RQD regular (75.07%). Seguido de ello viene una lutita carbonosa, la cual se ve entremezclada con los granos de la litología subyacente, esto le aumenta resistencia a la roca, le disminuye el fracturamiento y se ve reflejado en un RQD bueno (83.25%). Por último, se tiene la presencia de una arenisca mezclada con granos de lutita, esta roca es muy resistente, sus únicos planos de debilidad son algunos estratos rellenos de grano fino de color negro (N1) correspondientes con lutita, este tramo posee un buen RQD (86.20%), y de acuerdo con las pruebas de permeabilidad realizadas, se trata de un tramo poco permeable.

En el cadenamiento 0+119,25 a 0+345,34, se encontrará una arenisca combinada con lutita carbonosa e intercalación de unas lutitas color gris oscuro (N2) muy frágiles y presentan unas fracturas que oscilan de 45 a 50 graos, en general este tramo tuvo una recuperación del 100% de acuerdo con los datos obtenidos del sondeo PC-4 (SEG-DGL-K1330-I-006/06-0621) y del PCT-2 (SEG-DGL-K1330-I-030/06-0621), con fracturas rellenas de calcita en un horizonte de carbón que presenta un espesor de 30 centímetros que se encuentra en la elevación de 146,57 y 146,87, con presencia de gas metano; a pesar de tener estas fracturas, se presentan con poco espaciamiento que solo se ve afectado en un tramo de poco espesor, hace que este tramo tenga un RQD con resultados de una roca de excelente calidad; obteniendo 87.30% de RQD en la lutita carbonosa y 92.87% en la arenisca combinada con lutita carbonosa y con intercalación de lutitas. Este tramo de obra presento tener una roca poco permeable, esto dado con los resultados de la prueba Lugeon cerca de la zona de obra.

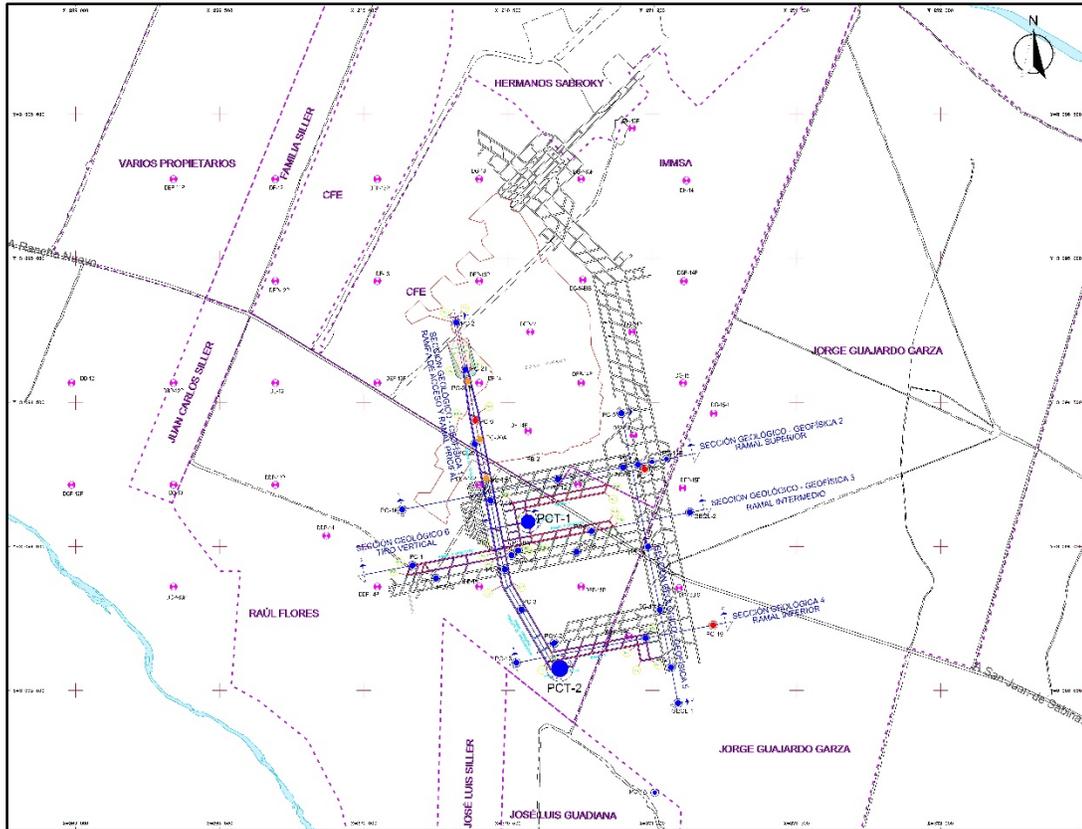
En el último tramo a cortar de 129,85 metros de longitud, que se encuentra en el cadenamiento 0+345,34 a 475,93 se cortará una roca de excelente calidad (92,30 RQD) y con una recuperación del 100%, que pertenece a una arenisca combinada con lutita carbonosa, que esta sigue la estratificación del cadenamiento anterior; en este tramo se tomó como referencia principal el sondeo PC-4 (SEG-DGL-K1330-I-006/06-0621) que es el más cercano a esta ubicación de la obra; este tramo presenta una roca poco permeable dado los resultados que se obtuvieron de la prueba Lugeon que se hicieron a la profundidad de la obra; Este cadenamiento presenta pocas fracturas, y las pocas que se observaron fueron rellenas de calcita y con un ángulo menor a 50°. Durante todo este tramo explorado, no se tiene registro de algún fallamiento, ya sea local, zonas de falla o indicios de un fallamiento de mayor consideración.

#### 4.7 TIROS VERTICALES

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 carbonifera de Pasta de Conchos, propiedad de Grupo México (Figura 19). 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 19. Localización de los sondeos PCT-1 y PCT-2 en las inmediaciones de los terrenos del Sr Raúl Flores.*

La información completa de las características litológicas, estructurales y condiciones de excavación se encuentran en el Anexo (SEG-DGL-K1330-R-001/06-0621 Rev00). En resumen, se consideran los siguientes resultados para este apartado:

- 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.



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Durante las excavaciones de los frentes de obra se encontrarán cuatro unidades litológicas, las primeras dos corresponden las lutitas y las limolitas ambas litologías corresponden a materiales que van de medianamente consolidados a consolidados, los RQD en promedio van de regular a bueno. Las areniscas es la tercera unidad litológica, en promedio tiene un RQD de bueno a excelente, representando un material duro muy consistente; estos materiales se observan tanto en la Formación Escondido como en la Olmos.
- La lutita carbonosa que se tiene en la Formación Olmos se comporta con baja a mediana compactación, el RQD es regular.
- Cuando se observan combinados estos materiales o interestratificados, las zonas o paquetes menos competentes son en los que predominan la lutitas con respecto a las demás, con RQD de malos a regulares. Los paquetes con predominio de limolitas y areniscas, tienen un mejor comportamiento, los RQD mejoran con mucho y el material es más consistente. Los paquetes que contienen lutita carbonosa presentan RQD bajo, de malo a regular.
- Las lutitas y en menor proporción las limolitas, se degradan al exponerse a factores atmosféricos tales como aire, agua, y temperatura. Las muestras de núcleo de estas rocas se disgregaron de manera estrepitosa al estar sujetas al ambiente, aspecto que debe ser considerado al momento de la ejecución de la obra.
- Se identificaron tres familias de fracturamiento y la estratificación, estas son las discontinuidades que se encontrarán en las excavaciones de la rampa de acceso y el ramal principal. Por su disposición no se prevé que generen problemas de estabilidad en las tablas o hastiales, ya que las inclinaciones tendrían dirección hacia el macizo de roca, sin embargo, en la clave de los túneles la presencia de la estratificación subhorizontal puede formar bloques que en los paquetes de areniscas pueden tener de dos metros a tres metros de espesor. Condiciones similares se prevén para los ramales de los túneles de acercamiento en este caso y en general los tramos que se excaven en zonas con predominio de lutitas, la estratificación delgada de la roca disminuye el espesor de los bloques o lajas que se formen en la clave del túnel.
- A pesar de estos resultados, cada unidad litológica presenta un fracturamiento característico, en las lutitas y lutitas carbonosas normalmente la inclinación de las fracturas oscila entre los 11° a 30° con menor frecuencia van de 30° a 60° de inclinación. Los sistemas horizontales de 0° a 10° se relacionan con la estratificación y son característicos de los paquetes interestratificados con lutita y lutita carbonosa. Las limolitas presentan un fracturamiento más centrado entre los ángulos de 31° a los 60° además de un rompiente con ángulos muy bajos (0° a 10°), las areniscas presentan un escaso fracturamiento; sin duda la discontinuidad que más les afecta es la estratificación (0° a 10°) aunque es menos frecuente por su tendencia a ser masiva o con estratificación mayor a 1 m de espesor.

- 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.
- Las unidades geofísicas que se identificaron son cuatro (U1, U2, U3, y U4), la unidad U1 corresponde al suelo residual, aluvión, y parte de la cima de la Formación Escondido en la capa superficial de roca meteorizada. La U2 corresponde a la Formación Escondido, aunque la parte baja se llega a identificar con la Formación Olmos. La U3 se relaciona más con la Fm Olmos aunque en algunas zonas se observa dentro de la Escondido y la Formación San Miguel. Finalmente, la U4 se relaciona directamente a la Formación San Miguel.
- En algunos sondeos se tubo presencia de gas, no solo en las guías de carbón, en algunos horizontes se identificó la emanación de este, uno cerca de una posible falla y evidencias de aceite en varias de las muestras recuperadas en la exploración directa.
- El Portal de Entrada estará emplazada en suelo residual, aluvial y parte de la Formación Escondido. Para la Rampa General se emplazará en una parte en la alternancia de arenisca, lutitas y limolitas de la Formación Escondido; mientras que el tramo final se estará excavando unas alternancias de lutita, lutita carbonosa y arenisca de la Formación Olmos, la continuación del Ramal General estará emplazado principalmente en lutita carbonosa que corresponde a la Formación Olmos. Para los ramales las excavaciones se harán dentro de secuencias de arenisca - lutita, lutita carbonosa y arenisca - lutita carbonosa de la Formación Olmos.



## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brizuela, V.L., 1992, Geología General de la zona Carbonífera de Monclova-Sabinas, Estado de Coahuila: Minerales Monclova S.A. de C.V. Tomo I, 74 p.
- Dumble, E.T., 1892, Notes on the geology of the Valley of the Middle Rio Grande: Geological Society of America Bulletin, 3, 219-230.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2001, Geologic evolution and gas resources of the Sabinas basin in northeastern Mexico, en: Bartolini, C., Bufler, R.T., Cantú-Chapa, A. (Eds.), The western Gulf of Mexico Basin: tectonics, sedimentary basins and petroleum systems: AAPG Memoir 75, 241-270.
- Flores-Espinoza, E., 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, Northern Mexico: Austin, Texas, Tesis de Doctorado, 315 p.
- Flores-Galicia, E., 1988, Geología y reservas de los yacimientos de carbón en la República Mexicana, en Salas, G.P. (Ed.) Geología de México: México, Fondo de Cultura Económica, 175-217 p.
- González Sánchez, Francisco; et al.; Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita, celestina y Zn-Pb Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. LIX, núm. 1, 2007, pp. 43-62 Sociedad Geológica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México.
- INEGI, 2021
- INEGI; Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan de Sabinas, Coahuila de Zaragoza, Clave geoestadística 05032, 2009.
- López-Ramos, E., 1985, Geología de México: Tomo II. 3a edition, México, 454 p.
- Robeck R. C., Pesquera V. Rubén y Ulloa A. S., 1956, Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila, en XX Congreso Geológico Internacional: México, 109 p.
- Robeck, R.C., Pesquera R.V., Ulloa S.A., 1960. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila, in Sociedad Geológica Mexicana (ed.), Libreto guía de la excursión C-3 del XX Congreso Geológico Internacional: Geología a lo largo de la carretera entre el D.F. y Saltillo, Coah. Distritos mineros de Guanajuato y Ávalos Concepción del Oro - Mazapil, Zac. Minas de carbón de Monclova y Nueva Rosita, Coah., 87-115. Álvarez, M., 1958, Tectónica profunda de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 10, p. 163-182.
- Rodolfo Corona-Esquivel; et al., Geología, estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México; Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Revisión de algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México Tomo LVIII, núm. 1, 2006, p. 141-160.
- Román-Ramos, J.R., Holguín-Quiñones, N., 2001, Subsistemas generadores de la región norte de Mexico: Boletín de la Asociación Mexicana Geólogos Petroleros, 49, 68-84.
- Santamaría-Orozco, D.M., 1990, Ambientes sedimentarios de las rocas del Cretácico Superior en la Cuenca Carbonífera de Sabinas, Estado de Coahuila, México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, 72 p.

- Stephenson, L.W., 1927, Notes on the Stratigraphy of the Upper Cretaceous formations of Texas and Arkansas: Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull., Vol. 11, No. 1, 1927, p. 1-17.
- Verdugo D.F., Ariciaga M.C., 1988a, Informe Geológico de la cuenca carbonífera Fuentes-Río Escondido Coahuila.: in Fondo de Cultura Económica, S.A. de C.V., Geología Económica de México, (Salas ed.). p. 143-170.
- Young, K., 1972. Cretaceous Paleogeography: Implications of Endemic Ammonite Faunas. Bureau of Economic Geology, University of Texas, Geological Circular 72, 2.
- Young, K., 1983. Mesozoic history of Mexico. In: Moullade, M., Narm, A.E.M. (Editores), The Phanerozoic geology of the world 2, B

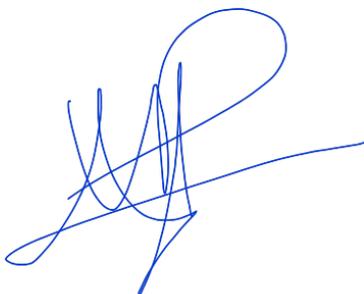


# ANEXO A PLANOS Y SECCIONES



## **ANEXO B**

# **INFORMES DE SONDEOS**



# ANEXO C FICHAS DE LEVANTAMIENTOS DE CAMPO



## ANEXO D FICHAS DE SONDEOS PCV



# ANEXO E REPORTE DE TIROS VERTICALES

