

DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO EN ARCOS DE ACERO BAJO LA
INFLUENCIA DE PRESIONES GENERADAS POR LA EXPLOTACIÓN POR
TAJO DE LA MINA TAURO EN EL MUNICIPIO DE GUACHETA-
CUNDINAMARCA.

EDISON EDUARDO GRANADOS HERRERA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS
22 DE AGOSTO SOGAMOSO 2018

DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO EN ARCOS DE ACERO BAJO LA
INFLUENCIA DE PRESIONES GENERADAS POR LA EXPLOTACIÓN POR
TAJO DE LA MINA TAURO.

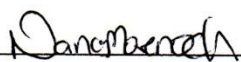
EDISON EDUARDO GRANADOS HERRERA

Proyecto de grado en modalidad monografía para optar por el título de
Ingeniero de Minas.


Director:
Víctor Hernando Medina Niño
Ingeniero de Minas

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS
SOGAMOSO 2018

Nota de aceptación:



Firma director(a) de escuela



Firma director del proyecto



Firma del jurado

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Sogamoso

30 de ago. De 18

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES	17
1.1 LOCALIZACIÓN	17
1.2 TOPOGRAFÍA	18
1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN	18
2. ESTADO ACTUAL DE LA MINA	19
2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	19
2.1.1 Arranque y distribución de trabajadores en el tajo.	19
2.1.2 Labores existentes en el nivel 400.	19
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO Y CONTROL DEL TAJO	20
2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO AL TECHO INMEDIATO DEL TAJO	21
2.4 DESCRIPCIÓN DEL ASENTAMIENTO GRADUAL DEL TECHO DEL TAJO	22
3. GEOLOGÍA	25
3.1 GEOLOGÍA GENERAL	25
3.2 ESTADIGRAFÍA	25
3.3 GEOLOGÍA LOCAL	26
3.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	26
3.5 GEOLOGÍA DE LOS MANTOS	27
3.5.1 Descripción de respaldos de los mantos de carbón.	27
4. ANÁLISIS GEO-MECÁNICO DEL NIVEL 400 MANTO PIEDRO.	29
4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO	29
4.2 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO DE JUNTAS	32
4.3 INDICE DE CALIDAD RQD	36
4.4 DETERMINACION DEL INDICE Q	37
4.5 DETERMINACIÓN RMR DE (BIENAWSKI, 1989)	37
4.6 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE GEOLÓGICO GSI	37
4.7 CALCULO DE ESFUERZOS LITOSTÁTICOS	37
4.8 CORRECCIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE SOBRE LOS PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN	40
5. CALCULO DE ESFUERZOS EN EL TAJO	45
5.1 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TECHO INMEDIATO DEL TAJO	45
5.2 APLICACIÓN DE TEORÍA DE ARTHUR HERIOT WILSON PARA ROCAS BLANDAS EN TRABAJOS DE CARBÓN	46
5.2.1 Curva característica de asentamiento en el techo del tajo	46
5.2.2 Ajuste logarítmico del asentamiento de techo	48
5.2.3 Curva de compactación del relleno.	49

5.2.4	Relación del área total afectada por la explotación sobre el techo del tajo (Área de bóveda de carga del tajo).	50
5.2.5	Determinación de zonas de tensión y esfuerzos generados por la explotación.	50
5.3	CÁLCULO DE LA CARGA INMEDIATA A SOSTENER EN EL TAJO	55
5.3.1	Estimación altura de techo inmediato a sostener.	55
5.3.2	Techo inmediato a sostener según potencia del estrato.	57
5.3.3	Techo inmediato a sostener según Terzagui.	57
5.4	CÁLCULO Y DISEÑO DE ADEMES PARA EL TAJO	58
5.4.1	Cálculo de tacos para el sostenimiento del techo inmediato.	58
5.4.2	Cálculo de densidad de canastas para limitar el derrumbe	61
5.5	ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE ESFUERZOS DEL TAJO SOBRE EL NIVEL	63
5.5.1	Estimación de esfuerzos en la longitud del tajo	63
6.	MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN PHASE 2 V8.0	69
6.1	DEFINICIÓN Y EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA.	69
6.2	DEFINICIÓN DE LOS ESFUERZOS GENERADOS ALREDEDOR DE LAS PAREDES DEL TÚNEL	69
6.3	PROPIEDADES DE LA ROCA DE PISO Y TECHO DEL MANTO BOLAS	72
6.4	MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PARA EL MANTO BOLAS	72
6.4.1	Modelamiento de esfuerzos Para el estrato de Piso del manto Bolas	73
6.5	MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PRESENTES SOBRE EL TUNEL PROYECTADO SOBRE EL PISO DEL MANTO BOLAS.	73
6.5.1	Modelamiento de esfuerzos Para el túnel proyectado por el manto bolas.	76
6.5.2	Modelamiento de esfuerzos para la proyección del Túnel por el techo del manto Bolas.	79
6.6	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL MANTO PIEDRO	82
6.7	MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PARA EL MANTO PIEDRO	83
6.7.1	Modelamiento de esfuerzos para el Piso del manto Piedro	83
6.7.2	Modelamiento de esfuerzos Manto Piedro	87
6.7.3	Modelamiento Manto Piedro Techo.	89
6.8	ANALISIS DE RESULTADOS PARA EL MODELAMIENTO	93
7.	DESCRIPCIÓN Y ANALISIS DEL SOSTENIMIENTO ACTUAL EN LA MINA TAURO	94
7.1	INVENTARIO Y DESCRIPCIÓN DEL SOSTENIMIENTO ACTUAL	94
7.2	DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SOSTENIMIENTO	95
7.2.1	Curva característica de carga del sostenimiento	97
7.3	CÁLCULO Y ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS EN EL TÚNEL	99
7.3.1	Calculo de carga inmediata sobre el sostenimiento.	99
8.	DISEÑO Y CÁLCULO DE SOSTENIMIENTO EN ARCOS DE ACERO	104
8.1	EVALUACIÓN DEL ESFUERZO	104
8.1.1	Diseño del perfil del arco.	105
8.1.2	Aplicación numérica	106
8.1.3	Descripción de los arcos cedentes	108
8.1.4	Calculo estimado de los arcos cedentes	109

8.1.5 Determinación final del diseño y su separación	110
9. CONCLUSIONES.	113
10. RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA	115

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Alinderación del contrato de concesión	17
Tabla 2. Datos estructurales de los mantos	26
Tabla 3. Promedio de resultados del techo de Piedro	29
Tabla 4. Promedio de resultados para el Piso del Manto Piedro	29
Tabla 5. Promedio de Resultados para el Piso del manto Bolas	30
Tabla 6. Promedio de Resultados para el techo del manto Bolas	30
Tabla 7. Resultados de ondas S y P piso manto Piedro	31
Tabla 8. Resultados de Ondas S y P techo manto Piedro	31
Tabla 9. Resultados Ondas S y P piso manto Bolas	31
Tabla 10. Resultados de Ondas S y P techo manto Bolas	31
Tabla 11. Esfuerzos Litostáticos en condiciones Normales	39
Tabla 12. Constantes de esfuerzos Máximos, mínimos y cortantes producidos	39
Tabla 13. Esfuerzo Normal y cortante sobre un Plano inclinado de grados	55 39
Tabla 14. Esfuerzos cortantes para el carbón	42
Tabla 15. Esfuerzos cortantes para la arcillolita	42
Tabla 16. Datos de convergencia tomados en el Tajo	47
Tabla 17. Constantes de cálculo para esfuerzos Generados en el Tajo Manto Piedro	55
Tabla 18. Presión minera de techo inmediato sobre el tajo	57
Tabla 19. Constantes de cálculo para presión minera según Terzagui	58
Tabla 20. Calculo de esfuerzo para tacos en el tajo	60
Tabla 21. Constantes de cálculo para canastas dentro del Tajo	62
Tabla 22. Ajuste de seguridad para longitud de canastas	62
Tabla 23. Resistencia de un pilar de Carbón	68
Tabla 24. Promedio de esfuerzos para los modelos de túnel Planteados	93
Tabla 25. Características Dimensionales arcos TH-N21- TEDESA	97
Tabla 26. Características mecánicas arco TH-N21 TEDESA S.A	97
Tabla 27. Valores para determinación de la presión Minera	101
Tabla 28. Constantes para cálculo de esfuerzos radiales	102
Tabla 29. Datos de convergencia de las paredes del túnel	111
Tabla 30. Valores de carga por metro de avance	113

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Localización geográfica contrato de concesión 1967 T	17
Figura 2. Acceso al manto desde el nivel superior	19
Figura 3. Descargue por ventanas sobre el nivel 400	20
Figura 4. Variación de esfuerzos de compresión y tracción a lo largo de la sección transversal de un estrato	20
Figura 5. Diseño y distribución de canastas a lo largo del tajo	21
Figura 6. Asentamiento de techo en un tajo con relleno	22
Figura 7. Movimiento y presiones de terreno alrededor de un frente largo	23
Figura 8. Diagrama de contornos para el manto Piedro	32
Figura 9. Histograma de Análisis por Dips de distribución de dirección de buzamiento de las familias del manto Piedro	33
Figura 11. Modelamiento para formación de Cuñas en el manto Piedro por software Undwedge	36
Figura 12. Proyección vertical de labores respecto a superficie	41
Figura 13. Estratos laterales del túnel bajo influencia de esfuerzos cortantes	43
Figura 14. Dirección del esfuerzo normal sobre los estratos a escala	44
Figura 15. Zonas de desprendimiento sobre el techo de un tajo	45
Figura 16. Curva de descenso del techo desde el frente	46
Figura 17. Ajuste Logarítmico Para la curva de descenso de techo en el Tajo	48
Figura 18. Deformación en mm. Vs. Presión Litostática	49
Figura 19. Área de influencia sobre el Tajo	50
Figura 20. Esfuerzos Generados Desde el Derrumbe	52
Figura 21. Relación de Esfuerzo residual generado a partir del plano de falla	53
Figura 22. Esfuerzo cortante Generado sobre el Techo inmediato	53
Figura 23. Diagrama de fuerza cortante (V) y de momento flexionante (M)	54
Figura 24. Esfuerzo máximo producido a partir del frente del tajo	54
Figura 25. Relación del techo inmediato a sostener	56
Figura 26. Separación estimada para los tacos dentro del Tajo	60
Figura 27. Distribución de sostenimiento para el tajo	62
Figura 28. Diagrama de momento y cortante del tajo considerado como una viga	63
Figura 29. Corte longitudinal del tajo	65
Figura 30. Sección de carga inmediata del sostenimiento	66
Figura 31. Curva de asentamiento en la Longitud del Tajo	67
Figura 32. Puntos de esfuerzo efectivo	70
Figura 33. Propiedades del esfuerzo Litostático para el Modelamiento	71
Figura 34. Propiedades para los respaldos del manto Bolas-Phase 2- Modelamiento de estratos	72
Figura 35. Modelo Túnel Manto Bolas Piso	73
Figura 36. Túnel Manto Bolas Piso (σ_1)	74
Figura 37. Túnel Manto Bolas Piso (σ_3)	74
Figura 38. Túnel Manto Bolas Piso (σ_Z)	75
Figura 39. Tunel Manto Bolas Piso Von mises stress	75
Figura 40. Túnel manto Bolas Piso - Desplazamiento Horizontal absoluto	76

Figura 41. Modelo Túnel Manto Bolas	77
Figura 42. Túnel Manto Bolas (σ_1)	77
Figura 43. Túnel Manto Bolas (σ_3)	78
Figura 44. Túnel Manto Bolas (σ_Z)	78
Figura 45. Túnel Manto Bolas Von mises stress	79
Figura 46. Túnel manto Bolas - Desplazamiento Horizontal absoluto	79
Figura 47. Tunel manto Bolas Techo (σ_1)	80
Figura 48. Túnel Manto Bolas Techo (σ_3)	81
Figura 49. Túnel Manto Bolas Techo (σ_Z)	81
Figura 50. Túnel Manto Bolas Techo – Von mises stress	82
Figura 51. Túnel Manto Bolas Techo – Desplazamiento Horizontal Absoluto	82
Figura 52. Propiedades de los materiales para el manto Piedro	83
Figura 53. Túnel manto Piedro Piso (σ_1)	84
Figura 54. Túnel manto Piedro Piso (σ_3)	85
Figura 55. Túnel Manto Piedro Piso (σ_Z)	85
Figura 56. Túnel Manto Piedro Piso Von mises stress	86
Figura 57. Túnel manto Piedro Piso Desplazamiento Horizontal	86
Figura 58. Esfuerzos Manto Piedro (σ_1)	87
Figura 59. Esfuerzos Sigma 3 para el Rumbo del manto Piedro	88
Figura 60. Esfuerzos Manto Piedro (σ_Z)	88
Figura 61. Esfuerzos Von mises Stress Manto Piedro	89
Figura 62. Desplazamiento Horizontal Total Manto Piedro	89
Figura 63. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_1)	90
Figura 64. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_3)	90
Figura 65. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_Z)	91
Figura 66. Von Mises Stress Manto Piedro Techo	91
Figura 67. Desplazamiento Horizontal Total Manto Piedro Techo	92
Figura 68. Modelo de esfuerzos Final para las labores del manto Piedro y Bolas (σ_1)	92
Figura 69. Puerta alemana para sostenimiento de niveles	94
Figura 70. Arcos de acero implementado para los niveles de la mina-catalogo Tedsa	95
Figura 71. Sección transversal perfil N	96
Figura 72. Curva de carga por m2 para perfil TH-N21	98
Figura 73. Bóveda de Derrumbe considerada sobre la excavación 100	
Figura 74. Curva de Terreno y esfuerzos radiales	103
Figura 75. Zona plástica alrededor de la excavación 103	
Figura 76. Dimensiones a considerar del arco dentro del modelo estático 106	
Figura 77. Momento y carga normal en un arco rígido -Design of Support in Mines- Cemal y Ergin	109
Figura 78. Área de aplicación de carga sobre el techo de la excavación	113
Figura 79. Grafica de carga permisible por metro de avance en relación a su separación para los arcos TH-N21	114

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Plano topográfico.
- ANEXO 2. Plano labores subterráneas.
- ANEXO 3. Muestras de techo manto Piedro.
- ANEXO 4. Muestras de piso manto Piedro.
- ANEXO 5. Muestras piso manto bolas.
- ANEXO 6. Muestras techo manto bolas.
- ANEXO 7. Muestras piso manto Piedro.
- ANEXO 8. Muestras techo manto Piedro.
- ANEXO 9. Muestras piso manto bolas.
- ANEXO 10. Muestras techo manto bolas.
- ANEXO 11. Espaciado de Discontinuidades.
- ANEXO 12. Dimensión.
- ANEXO 13. Rugosidad de Discontinuidades.
- ANEXO 14. Resistencia de las paredes de las discontinuidades.
- ANEXO 15. Abertura.
- ANEXO 16. Relleno y circulación de agua.
- ANEXO 17. Cálculo del índice de calidad de la roca RQD.
- ANEXO 18. Clasificación del macizo rocoso índice Q.
- ANEXO 19. Clasificación geomecánica RMR.
- ANEXO 20. Clasificación del índice geológico GS

RESUMEN

Los esfuerzos que se generan en la explotación de mantos de carbón a través de tajos largos son de magnitudes considerables dado que el espacio vacío que queda en el macizo rocoso busca un equilibrio de tensiones que se distribuyen a través de los bordes de la explotación, y en estos bordes de explotación se encuentran las guías y las sobre guías que componen las vías principales de transporte de un tajo.

Para poder determinar cuál es el esfuerzo final que asumen estos niveles se aplican teorías de esfuerzos sobre tajos como la de Ramírez Oyanguren para determinar la magnitud de los esfuerzos. También se aplican modelamientos por computadora en Phase 2 V.8 de la sección del túnel en su nivel inferior del tajo para analizar la deformación que sufrirá una vez hecha a apertura de la sección he iniciada la explotación del tajo, de este modo se dan alternativas de las posibilidades que hay sobre el estudio de túneles en mantos de carbón aplicando las propiedades determinadas de los materiales presentes en el macizo, obteniendo así modelamientos que se acerquen considerablemente a la realidad.

Dentro del estudio se buscó extensamente tratar de detallar como las teorías existentes pueden o no ser aplicadas a este tipo de explotación ya que existen muchos modelos matemáticos que recurren a generalizar el comportamiento de un macizo rocoso, por tanto el análisis de las teorías aquí expuestas es crucial en cuanto a descartar o por el contrario concordar con la realidad de las consecuencias y comportamientos de un túnel en mantos de carbón. Teoría que concuerda muy bien es la tesis doctoral del ingeniero Oyanguren nombrado anteriormente sobre rocas blandas en donde su análisis extensivo y su modelamiento matemático infieren muy bien con las características propias de las rocas de ser auto soportantes bajo ciertas condiciones; por otro lado es de suma importancia establecer el significado de las magnitudes de los esfuerzos generados. Dado que dependiendo del punto en el cual se analice el esfuerzo se generan reacciones de tipo normal o cortante. Gracias a estos modelos podemos predecir el comportamiento que tendrá el macizo rocoso una vez determinadas las propiedades litológicas y estructurales de la roca (plasticidad y elasticidad).

Todos los parámetros aquí expuestos son tomados en cuenta para determinar la separación de los arcos de acero y el tipo de arcos que deberían ser empleados en este tipo de excavaciones para que sean capaces de soportar la carga generada por las paredes del túnel. En resumen el modelo general creado por el programa permite concluir en que puntos se deberían tomar medidas para contrarrestar las presiones que se presentaran en los bordes de la excavación. Las medidas que se propongan para contener los esfuerzos generados se proponen luego del análisis de cada una de las variables que se tratan en el estudio.

INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del estudio de esfuerzos en un tajo que se analiza en este estudio se quiere demarcar la importancia que tiene el planeamiento previo a la apertura de obras mineras para mantos de carbón, dado que un mal diseño puede acarrear sobre costos que alteran el margen de inversión necesaria para la realización del proyecto minero. En este caso se hace este análisis para entender mejor la forma en que los esfuerzos a partir de la explotación de un tajo en mantos de carbón pueden afectar los túneles de nivel realizados para el descargue y transporte de materiales, causando deformaciones en la sección y posibles aplastamientos de la estructura de sostenimiento.

El estudio en general relaciona distintas teorías de cálculo para esfuerzos producidos dentro de los límites de la explotación por tajo abierto, dichas teorías van desde el análisis de los respaldos y las cargas producidas, hasta la influencia en los túneles de servicio realizando un modelamiento computacional sustentado con sus respectivos análisis y cálculos. Los modelamientos aquí mostrados también se sustentan en ensayos de laboratorio que permiten que el diseño de esfuerzos se acerque lo mayor posible al tipo de deformaciones que se presenten dentro de la mina.

OBJETIVOS.

- Describir y detallar la forma en que se realiza la explotación por tajo en la mina detallando petrográfica y geo mecánicamente sus respaldos para su respectivo análisis.
- Estudiar mediante modelos matemáticos los esfuerzos generados en explotaciones por tajo.
- Determinar mediante modelos matemáticos la magnitud de las presiones generadas en los bordes de la explotación por tajo.
- Modelar mediante programas computacionales los esfuerzos generados en los bordes de los túneles que sirven como vía de desarrollo para la explotación de los mantos de carbón.
- Determinar la separación de los arcos de acero a utilizar para el sostenimiento de la sección.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

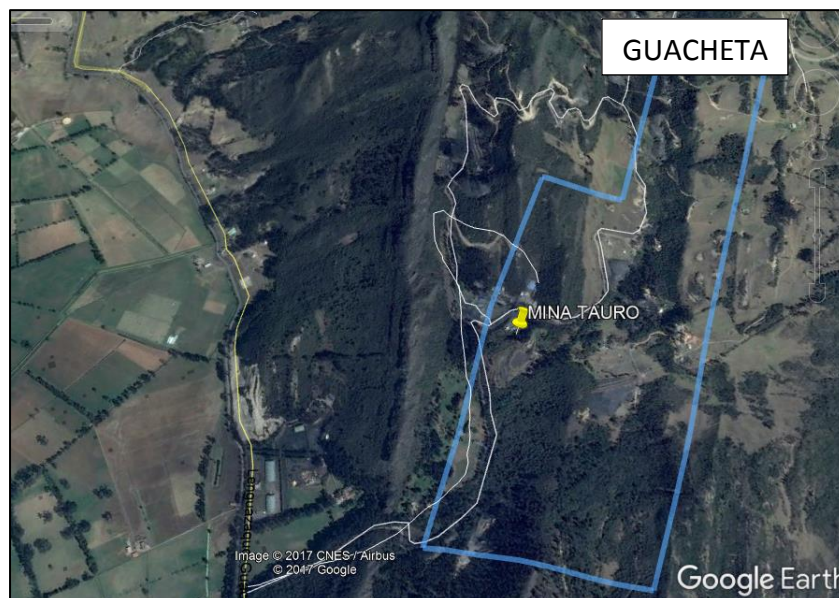
La mina Tauro está localizada en el municipio de Guacheta departamento de Cundinamarca, dentro del contrato de concesión N° 1967 T, con un área total de 61 Ha y 9837 m². Las coordenadas del polígono son:

Tabla 1. Alinderación del contrato de concesión

Coordenada Norte	Coordenada Este
1082975,00	1041535,00
1083206,00	1041730,00
1083470,00	1041930,00
1083725,00	1042180,00
1083615,00	1042372,00
1083980,00	1042675,00
1083795,00	1042875,00
1082700,00	1041950,00
1082949,00	1041582,00

. Fuente: Datos de estudios

Figura 1. Localización geográfica contrato de concesión 1967 T.



Fuente: Google Earth

Para acceder a la mina Tauro se puede tomar la vía que conduce del municipio de Guacheta al municipio de Lenguazaqué, tomando el desvío ubicado en el kilómetro 2. También se puede acceder desde la vía que conduce del municipio de Ubaté hacia el municipio de Guacheta desviando hacia el Sur-Este Luego de pasar la vereda el Rabanal sobre el primer desvío.

1.2 TOPOGRAFÍA.

La topografía de la zona de explotación se muestra en forma abrupta sobre el costado NW de un anticlinal con suaves cambios de pendiente superficiales. Dentro de la explotación y topografía de los mantos no se han encontrado cambios de pendiente considerables. Dentro de la zona de explotación se encuentran alturas promedio entre los 2750 a 2850 msnm. (Ver Anexo 1)

1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN.

La zona constituye un piso térmico montano medio con una representación de vegetación por pastos, cultivos y en su gran mayoría plantas de tipo nativo. Se cuenta con una presencia de pinos y eucaliptos con un promedio de altura de 8 m. dentro de la zona se pueden también apreciar escarpes de edad temprana con un leve cubrimiento de vegetación joven con arbustos de mediana altura y poca erosión.

Como es de apreciar en las zonas tropicales el clima varía de acuerdo a la diferencia de nivel altitudinal con constantes cambios de estaciones lluviosas y secas con cambios de temperatura que oscilan desde los 4 a 21 °C según sea el cambio de estación presente.

2. ESTADO ACTUAL DE LA MINA.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.

Actualmente se está explotando el manto Piedro implementando el método de tajo con derrumbe dirigido. El tajo cuenta con 100 metros de longitud sobre el buzamiento y se accede a él desde una sobre guía en el nivel 300 que se desarrolló en dirección del rumbo como se observa en la figura 8.

Figura 2. Acceso al manto desde el nivel superior.



Fuente: Datos de estudio.

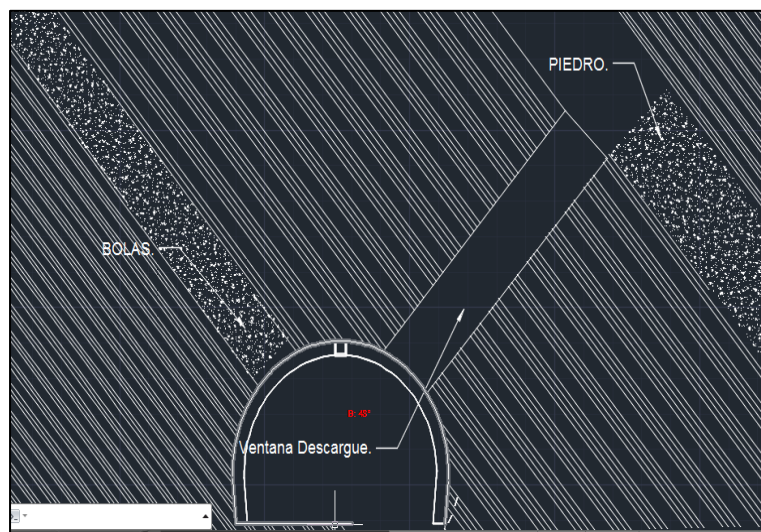
2.2.1 Arranque y distribución de trabajadores en el tajo.

El arranque del mineral se realiza con martillo neumático picador el cual opera a una presión nominal de 80 Psi en promedio; por cada corte se organizan a dos corteros los cuales producen un promedio de 42 Ton por turno. Con un avance en la cuelga del tajo de aproximadamente 40 m. Dado que el tajo tiene una cuelga de 100 m desde la guía a la sobre-guía se tiene entonces un avance promedio de un metro diario en dirección del rumbo. Cada trabajador se ubica a una distancia de 20 metros en la cuelga del tajo, por lo cual se instalan vendas que limiten la distancia de arranque de cada trabajador, además de asegurar el sitio de trabajo del picador protegiendo de la caída del material

2.2.2 Labores existentes en el nivel 400.

Para el descargue del manto bolas y manto Piedro se realizaron ventanas en roca desde el manto bolas hacia el manto Piedro, de esta manera se accede al manto cada 12 o 15 metros según se construyan las teclas de descargue. Para el acceso a los mantos se realizaron cruzadas para cortar el manto Bolas y Piedro desde el manto Gemela que es por el cual baja el inclinado principal. (Ver Anexo 2)

Figura 3. Descargue por ventanas sobre el nivel 400.

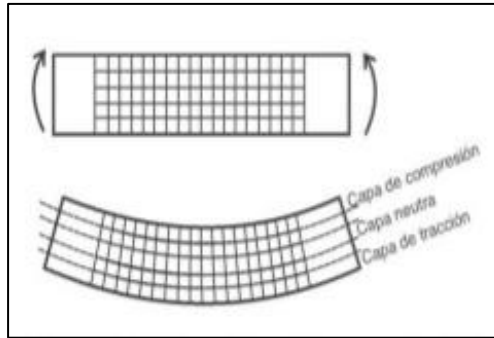


Fuente: Datos de estudio.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO Y CONTROL DEL TAJO

La roca de techo del tajo se comporta de manera plástica produciendo esfuerzos a flexión, ya que el techo cae paulatinamente asentándose sobre el sostenimiento empleado en el tajo. Para explicar un poco el comportamiento del techo del tajo se toma el techo como un modelo de viga que se flexa, de modo que el techo del estrato que recubre el manto estaría sometido a un esfuerzo de compresión mientras que la zona inferior está sometida a esfuerzo de tracción; entre ambas hay una capa que no experimenta tracción, compresión o variación de longitud, esta se denomina capa neutra (Pisarenko et al., 1979). Por tanto, la resistencia a la flexión es mayor a la resistencia a la tracción (Callister 1995).

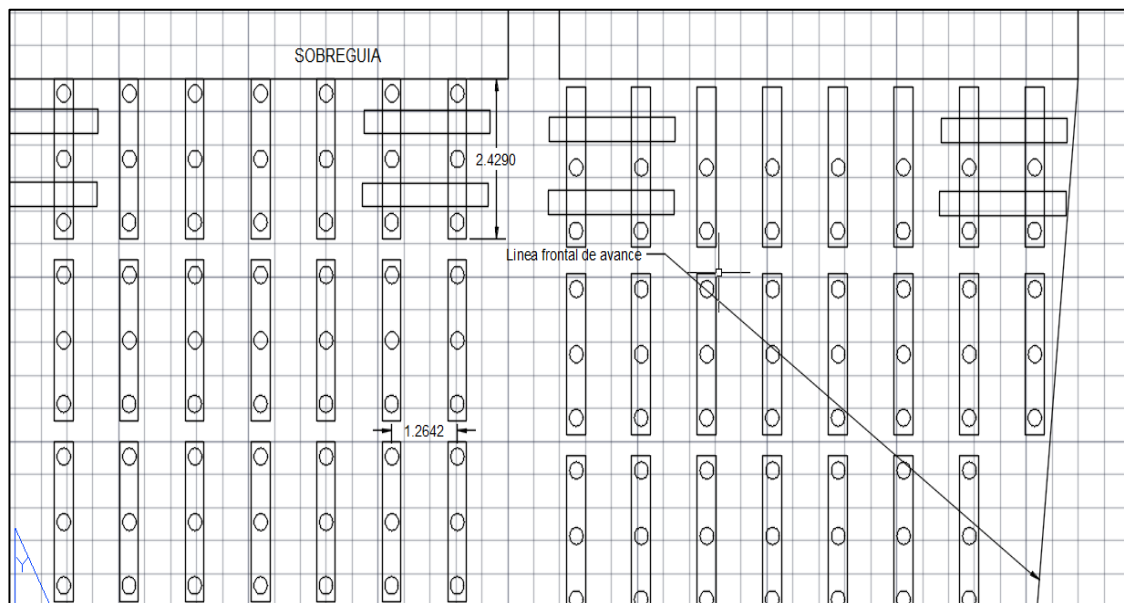
Figura 4. Variación de esfuerzos de compresión y tracción a lo largo de la sección transversal de un estrato.



Fuente: W.F. Riley. Ingeniería Mecánica, estática.

Para asentar mejor el techo se utiliza madera rolliza de entre 12 y 15 cm de diámetro ubicándose en forma de tacos con una alternancia de canastas organizadas de la siguiente forma:

Figura 5. Diseño y distribución de canastas a lo largo del tajo.



Fuente: Datos de estudio.

La organización y distribución de las canastas a lo largo del tajo se realiza de esta manera para garantizar que la caída del techo se haga de forma homogénea a lo largo del tajo delimitando el derrumbe por lo menos unas cuatro calles atrás del frente de arranque.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO AL TECHO INMEDIATO DEL TAJO

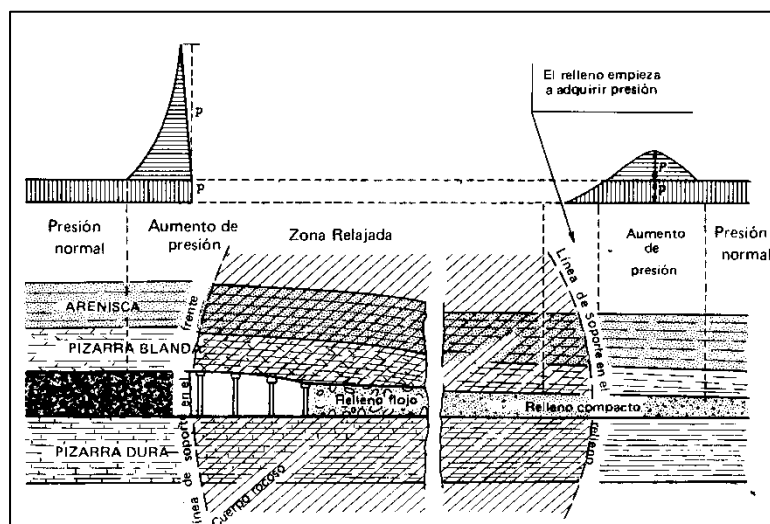
La utilización de canastas y tacos en la sección de explotación del tajo permite que el techo se asiente de forma paulatina a lo largo de toda la zona explotada; además de esto se realiza relleno de la zona explotada del tajo con el estéril

proveniente del avance del frente en el nivel 300 por el manto (Piedro). Lo cual permite un asentamiento del techo más lento; aunque este se produce con mayor acumulación de esfuerzos sobre los apoyos del estrato debido a que no se produce fractura del techo inmediato. Para este caso la mayor incidencia de esfuerzos se vendría dando en el frente de arranque, derrumbe y sección inferior longitudinal del tajo.

2.4 DESCRIPCION DEL ASENTAMIENTO GRADUAL DEL TECHO DEL TAJO

Un análisis más preciso y objetivo del efecto que produce la explotación del tajo se podría dar por medio de una estimación del esfuerzo flector total producido en el frente del tajo. Dentro del análisis de la consecuencia de este efecto en el tajo, estaría la acumulación de esfuerzos en el nivel 400 sobre los arcos de acero causando la deformación de estos mismos.

Figura 6. Asentamiento de techo en un tajo con relleno.



Fuente: Control de estratos en tajos subterráneos de la minería del carbón. P. Ramírez Oyanguren.

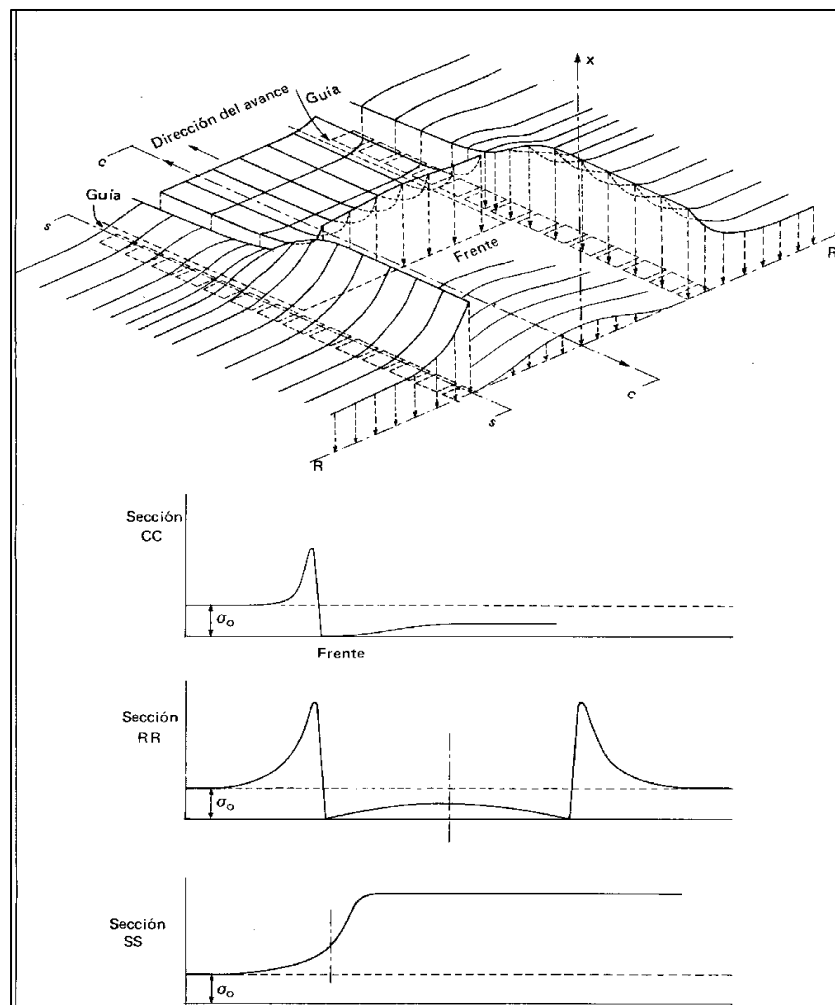
De acuerdo a la ilustración, es fundamental considerar que el momento flector generado sobre el techo del tajo que se prolonga a lo largo de varias decenas de metros es debido a las condiciones del estrato de asentarse sin presentar fractura o fracturarse ocasionalmente.

El relleno dentro del tajo es parcial debido a que la acumulación de material abarca un porcentaje cercano al 13% del total del espacio vacío dejado por la explotación, por lo cual, la mayoría de la carga de techo es soportada por las canastas y tacos.

Estos elementos de sostenimiento dejados en el tajo permiten que el techo caiga con mayor lentitud, es por esto que actualmente se tienen entre 12 y 18 calles abiertas sin asentamiento. Se podría entender que el techo empieza a caer a partir de la acumulación de esfuerzos en el relleno, canastas y ademes produciendo su aplastamiento progresivo.

En una investigación realizado por P. Ramírez Aranguren (1972) en una mina de silvinita con arranque por tajo determinaron las zonas de sobre-presión y su comportamiento de acuerdo las zonas donde se apoya y respalda el yacimiento ya que se caracteriza por utilizar el hundimiento controlado.

Figura 7. Movimiento y presiones de terreno alrededor de un frente largo.



Fuente: Control de estratos en tajos subterráneos de la minería del carbón. P. Ramírez Oyanguren.

Como se nombró anteriormente el trabajo con hundimiento que se lleva a cabo en nuestra mina abarca parámetros de control de los esfuerzos considerablemente apreciables en el momento de realizar la inspección del

derrumbe en el tajo. Aunque no siempre se efectúa este derrumbe, sino simplemente se asienta el estrato superior sobre el estrato inferior del manto explotado.

Debido a que en el momento del acceso al tajo no siempre se aprecia un derrumbe en la sección RR del diagrama arriba mostrado, no podemos considerar que el estado tensional acumulado por el gran número de calles abiertas, se halla equilibrado a lo largo de toda la sección. Estas consideraciones se tendrán en cuenta en el momento de realizar el cálculo de presiones y tensiones en los perfiles correspondientes en donde se considere necesario estimar que afecta directamente con el problema planteado por el proyecto.

3. GEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA GENERAL

En el área de trabajo, afloran rocas de las formaciones Arenisca Tierna, perteneciente al denominado Grupo Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá y Depósitos Cuaternarios, las secciones en general se encuentran bien expuestas a lo largo del área de estudio. También podemos encontrar diferentes fallas y desplazamientos estratigráficos superficiales sobre la zona de estudio de tipo local y regional con una tendencia de desplazamiento en sentido NW.

3.2 ESTATIGRAFÍA

Formación Guaduas: El contacto con el grupo Guadalupe está marcado morfológicamente por el paso de un fuerte escarpe dado por el grueso paquete de areniscas a un paisaje suavemente ondulado y apreciablemente erosionado de arcillolitas. En diferentes estudios, a escala regional, se han determinado cinco niveles o miembros estratigráficos, los cuales se describen de base a techo.

Nivel Ktg1. Corresponde a la sucesión estratigráfica localizada entre el techo de la Arenisca Tierna y la primera de las areniscas de La Guía, está constituido por una sucesión de arcillolitas grises, finamente laminadas, con intercalaciones de Limolitas gris clara en capas delgadas, que predominan en la parte media de este nivel. Se presentan en intercalaciones de shales grises oscuros con laminación ondulada lenticular, el espesor vario de 100 a 150 metros.

Nivel Ktg2. Es el nivel más importante de la Formación Guaduas, por ser este donde se encuentra los mantos de carbón bituminoso, afloran 17 capas de carbón de espesor variable, 13 de las cuales pueden llegar a ser explotables. En general el conjunto está constituido por bancos de areniscas cuarzosas, de color amarillo claro a blanco de grano fino a medio, redondeados a sub-angulares, contactos netos planos, alternados con arcillolitas grises claras a oscuras, finamente estratificadas, localmente lutitas grises a amarillo claro. El espesor total del nivel oscila entre 250 y 300 metros.

Nivel Ktg3. Corresponde a la sección estratigráfica comprendida entre el último nivel de la Arenisca Guía y la base de la primera Arenisca de la lajosa, está conformada por arcillolitas grises claras, laminadas, y en ocasiones carbonosas, con restos de plantas. En la parte intermedia de este nivel presenta una secuencia de arcillolitas masivas, de color gris, areniscas cuarzosas, algo arcillosas y limolitas de color gris a amarillento en láminas

medianas a gruesas. En la parte superior predominan las limolitas que alternan con potentes paquetes de arcillolitas de color gris, con algunas intercalaciones de areniscas.

Morfológicamente este nivel se manifiesta en una topografía suave, que contrasta con la topografía de niveles del Ktg2. Se presentan cuatro mantos explotables de carbón, aunque localmente puede presentarse ensanchamiento de algunas cintas elevándose a siete el número de mantos explotables. El espesor total del nivel oscila entre 250 y 300 metros.

Nivel Ktg4. En la parte inferior de esta secuencia se predominan las areniscas cuarzosas, de color blanco a amarillentas, de grano fino a medio en contactos generalmente planos. Los niveles arcillosos se encuentran intercalados con niveles delgados de areniscas arcillosas bien estratificadas. Se presentan esporádicas cintas de carbón con espesor no mayor a 40 cm. Sin continuidad lateral. El espesor varía entre 200 y 250 m.

Nivel Ktg5. Es la secuencia más lata de Guaduas y se caracteriza, al igual que el Ktg1, por la ausencia de mantos de carbón, está constituido por 150 a 200 metros de arcillolitas abigarradas con intercalaciones esporádicas de areniscas cuarzosas, de color amarillento a rojizo, de grano fino a grueso. Por ser un nivel blando, morfológicamente da una expresión topográfica de relieve suave.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio se encuentra sobre la formación Guaduas Nivel Ktg2 que contiene entre cuatro y catorce mantos de carbón de diferente espesor según plano geológico de la zona. Para determinar a ciencia exacta las reservas y número de mantos presentes en la zona de estudio se realizaron perforaciones exploratorias, una de las cuales se encuentra dentro del Contrato 1967 T, este trabajo alcanzó una profundidad de excavación de 680 metros, en donde se encontraron alrededor de 6 mantos explotables que oscila entre los 0.6 y 1.2 m de espesor y 4 mantos sin interés explotables de 0.3 a 0.5 m de espesor. Dentro de la mina tauro se explotan 3 mantos los cuales tienen las características estructurales que se muestran a continuación.

Tabla 2. Datos estructurales de los mantos

MANTO	ESPESOR	RUMBO	BUZAMIENTO
Gemela	1.5 m.	45 NE	48 SE
Bolas	0.8 m.	47 NE	52 SE
Piedro	1.1 m.	45 NE	50 SE

Fuente: Datos de estudio.

3.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Se presentan fallas de tipo regional como la falla La Primavera y La falla la carolina que corresponden al conjunto regional de fallas de la formación Guaduas. Estas fallas presentes en la zona desplazan los mantos un promedio de 6 a 12 m. en dirección SE según se haya efectuado el desplazamiento entre contactos.

3.5 GEOLOGÍA DE LOS MANTOS

Debido a la naturaleza de la empresa de extraer carbón con fines de coquización, se trabajan 5 mantos que presentan características petrográficas y espesores económicamente explotables, que se describen a continuación:

Gemela: En el área del contrato 1967 T, es la primera capa de occidente a oriente, se encuentra separada del manto Planta de Soda (Ktg1) por 7 m de una alternancia de limolitas y arcillolitas, el espesor del manto es de 1,6 m, el respaldo superior es una intercalación de limolitas y areniscas. Presenta una intercalación de arcillolita cuyo espesor es muy variable, oscilando entre 10 y 20 cm.

Tercera: Es el segundo manto explotable de occidente a oriente y está separado del manto Gemela por una secuencia de arcillolitas y limolitas que varía entre los 43 m en el nivel superior y 62 m en el nivel inferior. Su espesor oscila entre los 0.4 y 0.7 m.

Bolas: Separado estratigráficamente del manto anterior por 35 m de arcillolitas y limolitas, su espesor varía entre 0.5 y 0.7 m. El respaldo superior es una limolita silíceas estratificada de 5 m de espesor, con fracturas que lo hacen poco estable al momento de su explotación, haciendo que se contamine por dilución del carbón minado, lo cual limita su explotación. Dentro de este manto se harán pruebas y ensayos para el estudio a realizar.

Piedro: Lo separan 13 m del manto Bolas, presenta adelgazamientos laterales, problemas de continuidad y pliegues en el sentido de buzamiento, lo cual hace que el contenido de cenizas sea alto al momento de minarlo. En este manto se centra el estudio realizado sobre el nivel 400 de la mina Tauro.

Bocatoma: Esta separado de contacto con el Ktg3 por una distancia que oscila entre 20 y 50 metros del manto Piedro, posee un espesor variable 0.9 y 1.40 m, sus respaldos están constituidos por limolitas grises.

3.5.1 Descripción de respaldos de los mantos de carbón.

Para el avance del estudio es de vital importancia reconocer con claridad la composición petrográfica existente dentro de estos estratos que permitan hallar algunas características de tipo mecánico y Geo-Mecánico con las que se

pueda entender mejor el comportamiento que se va a tener dentro de los trabajos subterráneos a realizar.

Las rocas presentes dentro de los respaldos de los mantos de carbón, podrían catalogarse de tipo sedimentario con diferente tipo de litologías entre contactos, en donde se caracteriza la variación granular y de resistencia según su formación. Las lutitas por ejemplo son rocas de tipo sedimentario detrítico con alto contenido de materia orgánica debido a su color oscuro a negro, con granos de arcilla y limo presentando intercalaciones ocasionales de diferentes tamaños de grano y variación de color claro a oscuro.

Los Mantos Bolas y Piedro tienden a tener estratos de techo más inestables presentando características Geo-Mecánicas desfavorables y con condiciones de sobre-esfuerzos notables al momento de la apertura de una excavación. El comportamiento típico de las rocas de estos mantos generalmente tiende a ser de tipo plástico. Vale aclarar que las rocas plásticas presentan deformaciones constantes y abruptas sin interrumpir la continuidad del material, además de ser fisibles y muy susceptibles a deslizamientos entre planos. Este tipo de rocas presentan características mecánicas poco resistentes Además de ser permeables, por lo cual tienden a deformarse fácilmente con la presencia de agua y a través de la influencia de esfuerzos por lo cual se podría concluir una baja absorción de presiones.

Estas características en las rocas se dan también debido a la disposición inter granular del mismo tipo, para este caso con una distribución de más del 50% de granos de arcilla. Los lineamientos de su estructura tienden a mostrarse de manera laminar por lo cual también podrían confundirse con lodolitas y lutitas, aunque esto último depende de la distribución porcentual granular mencionada anteriormente; para nuestro caso debido a que es un respaldo de mantos de carbón de tipo Antracítico y Bituminoso se le podría dar un nombre a estos respaldos inmediatos de "Lodolitas Negras con alto contenido de carbón de grano fino y sulfuro de Hierro". Debido a su alta Fisibilidad y deslizamientos inter-planos.

4. ANÁLISIS GEO-MECÁNICO DEL NIVEL 400 MANTO PIEDRO.

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

Compresión simple: Para determinar las propiedades mecánicas de las rocas se optó por determinar su resistencia a través de ensayos de compresión simple para los respaldos del manto de carbón Piedro y Bolas.

Se realizaron cinco ensayos para el respaldo de techo del manto y cuatro para el piso del manto (Ver anexo 3, 4, 5 y 6) en donde se promedió la resistencia de cada uno de los respaldos de acuerdo a los resultados de laboratorio; dentro de estos resultados se determinaron las curvas de esfuerzos correspondientes para cada muestra y su peso unitario con lo cual se promediaron los resultados obtenidos por el laboratorio como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 3. Promedio de resultados del techo de Piedro

TECHO MANTO PIEDRO.				
N° muestra.	σ_{ci} Mpa	resistencia KN	Peso unitario.	Ei Mpa
38	27,32	43,9	2,589	1582,81
39	34,98	56	2,616	3074,1
40	36,14	58,4	2,591	2650,77
41	39,52	65,2	2,569	2996,14
42	20	32,4	2,614	633,06
Prom.	31,592	51,18	2,5958	2187,376
Ri	3,1592			

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 4. Promedio de resultados para el Piso del Manto Piedro.

PISO MANTO PIEDRO.				
N° muestra.	σ_{ci} Mpa	resistencia KN	Peso unitario.	Ei Mpa
43	19,04	30,9	2,511	421,7

44	18,52	30	2,423	1222,19
45	21,71	35,1	2,495	1237,41
46	17,98	29,2	2,497	418,26
Prom.	19,3125	31,3	2,4815	824,89
Ri	1,93125			

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 5. Promedio de Resultados para el Piso del manto Bolas.

PISO MANTO BOLAS.				
N° muestra.	σ_{ci} Mpa	resistencia KN	Peso unitario.	Ei Mpa
47	19,88	32	2,655	1111,97
48 A	34,86	56,8	2,650	258,36
48 B	34,2	55,8	2,625	262,09
49 A	14,94	24,2	2,661	411,82
49 B	13,77	22,4	2,632	405,22
50 A	49,43	80,2	2,639	28007,37
50 B	48,59	79	2,637	2888,8
Prom.	26,95875	43,8	2,642	4763,66
Ri Mpa	2,695875			

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 6. Promedio de Resultados para el techo del manto Bolas.

TECHO MANTO BOLAS.				
N° muestra.	σ_{ci} Mpa	resistencia KN	Peso unitario.	Ei Mpa
60	38,94	63,1	2,605	2565,48
61	43,25	70,1	2,556	3329,92
62	20,66	33,7	2,610	645,43
63	18,68	30,4	2,561	652,15
Prom.	30,3825	49,325	2,583	1798,24
Ri Mpa	3,03825			

Fuente: Ensayos de laboratorio

Los resultados y promedios obtenidos se tendrán en cuenta para el cálculo y determinación de esfuerzos totales sobre el sostenimiento.

Ensayo de Ondas S y Ondas P.

Debido a los modelamientos que se plantean realizar, tomamos en consideración la realización de ensayos de ondas S y ondas P para un testigo de roca de Piso y Techo Respectivamente. Los resultados obtenidos dentro de

este tipo de ensayos permiten determinar datos como: Modulo de Poisson's, Modulo de Young, Modulo de Bulk y Modulo de corte. Brevemente damos a entender que este tipo de ensayos electrónicos sobre rocas comprenden un procedimiento en el cual un emisor y un receptor de onda corta con velocidades de arribo en microsegundos, mide matemáticamente el comportamiento de las ondas a través de la roca para determinar cada uno de estos módulos. Este tipo de ensayos permiten determinar propiedades de las rocas debido a que las ondas son altamente compresionales y se propagan longitudinalmente comprimiendo y dilatando el testigo en dirección de la propagación con velocidades cercanas a los 1400 m/s.

A continuación, se hace una relación de los resultados para el manto Piedro y Bolas que serán considerados dentro del modelamiento numérico que permita analizar la deformación de los respaldos de los mantos. Los resultados originales de los ensayos serán adjuntos como anexos (Ver anexo 7, 8, 9 y 10).

Tabla 7. Resultados de ondas S y P piso manto Piedro.

PISO MANTO PIEDRO.				
N°muestra.	u-poisson's Ratio	Young's Modulus Kpa	Bulk Modulus Kpa	Shear Modulus Kpa
48	0,23	9186293	5714929	3727911

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 8. Resultados de Ondas S y P techo manto Piedro.

TECHO MANTO PIEDRO				
N°muestra.	u-poisson's Ratio	Young's Modulus Kpa	Bulk Modulus Kpa	Shear Modulus Kpa
39	0,24	7453629	4710609	3014534

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 9. Resultados Ondas S y P piso manto Bolas.

PISO MANTO BOLAS				
N°muestra.	u-poisson's Ratio	Young's Modulus Kpa	Bulk Modulus Kpa	Shear Modulus Kpa
48	0,24	11412259	7325886	4300357

Fuente: Ensayos de laboratorio

Tabla 10. Resultados de Ondas S y P techo manto Bolas.

TECHO MANTO BOLAS				
N°muestra.	u-poisson's Ratio	Young's Modulus Kpa	Bulk Modulus Kpa	Shear Modulus Kpa
63	0,22	5437626	3256330	2225454

Fuente: Ensayos de laboratorio

Una vez consolidados estos resultados serán la base para los modelamientos y poder determinar los diferentes estados de esfuerzos presentes alrededor del túnel.

4.2 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO DE JUNTAS

Análisis a través del software Dips.

El análisis estereográfico de juntas a lo largo de un túnel se lleva a cabo con el fin de reconocer y modelar las diferentes familias que se presentan sobre la estratificación para la realización de su respectivo análisis de manera que nos permitan determinar la configuración de la orientación, espaciado, continuidad, humedad etc. Parámetros que se estudiarán de acuerdo al modelamiento por software para promediar la concentración de las familias y determinar el número de las mismas.

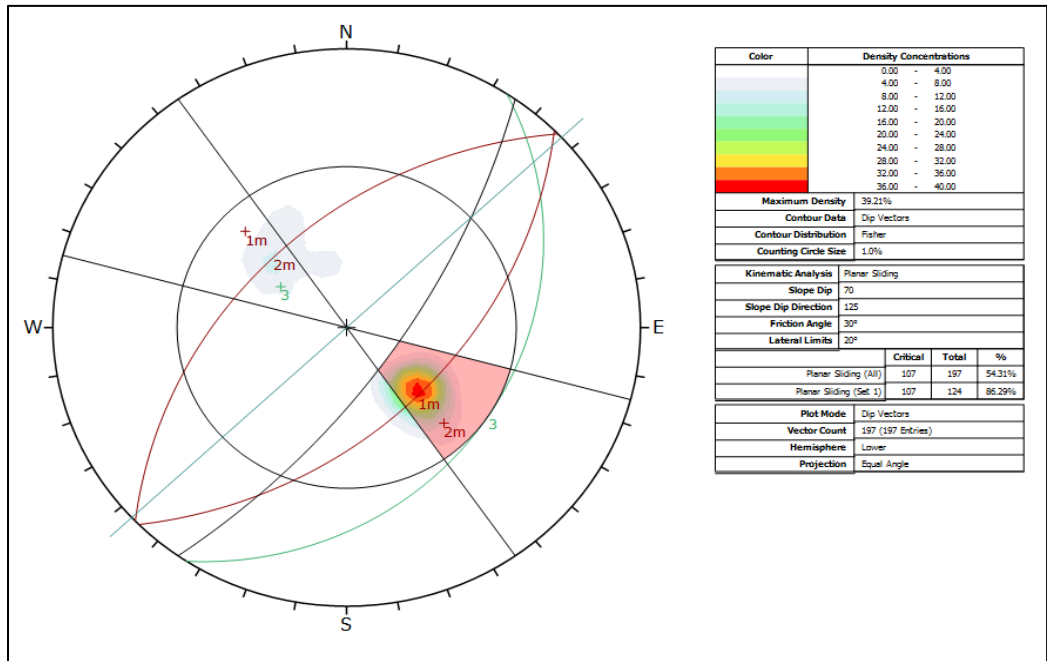
Para la caracterización del manto Piedro se han tomado datos de diaclasas a lo largo de las labores subterráneas realizadas sobre el mismo. Los datos se cuantificaron y organizaron para la proyección de contornos y diagrama de rosetas.

A continuación, se aprecian tres familias de diaclasas documentadas sobre el manto, esto representando la dirección y distribución de contornos que permite apreciar la interacción con la dirección del túnel representado por la línea azul magenta. Estas familias se presentan con una orientación similar a la dirección del manto por la cual se proyecta el túnel.

Esta configuración de diaclasas se da debido a la naturaleza de los respaldos cuya litología y estratigrafía se presenta en forma laminar y lajosa en ocasiones; por otro lado, el desprendimiento en las paredes superiores del túnel podría ser producto del fracturamiento producido a raíz de la presión minera como se ha observado en el avance de las labores que se desarrollan sobre este manto por lo cual se podría concluir que los desprendimientos son causados por distintos factores adicionales (Voladura, fracturamiento por sobre-excavación etc.) a el diaclasamiento del estrato superior e inferior del manto Piedro documentado en diagrama de polos.

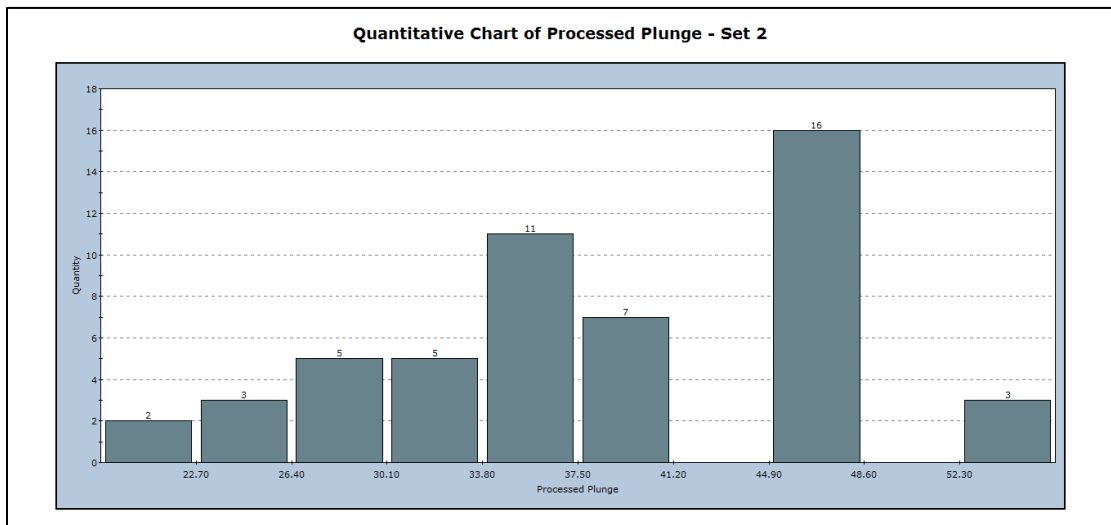
Dentro de un análisis cinemático de distribución de cuñas se podría predecir el comportamiento Geo-mecánico de la estratificación. De acuerdo a este análisis se podría dar el caso de la formación de una cuña de deslizamiento con una probabilidad de caída cercana al 55% por lo cual se hará el respectivo diseño y análisis de la misma a través de modelamientos gráficos 3D.

Figura 8. Diagrama de contornos para el manto Piedro.



Fuente: Datos de estudio.

Figura 9. Histograma de Análisis por Dips de distribución de dirección de buzamiento de las familias del manto Piedro.



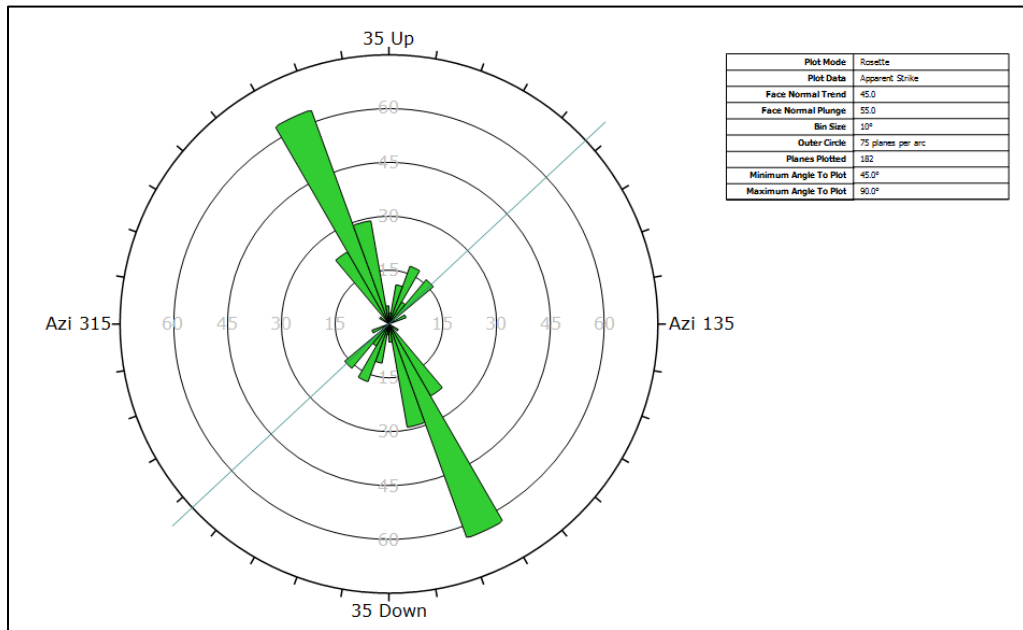
Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo al histograma de análisis de datos introducidos en donde analiza la tendencia y distribución de la dirección de buzamiento, podemos concluir que la mayor distribución de datos se encuentra con una dirección de entre 33° y 48° Azimut, por lo cual se entendería la justificación expuesta anteriormente de que los planos de estratificación forman diaclasas con una orientación que se asemeja a la dirección del túnel, por lo cual se da la posible formación de cuñas de deslizamiento.

Diagrama de Roseta de Juntas.

El análisis estereográfico de roseta de juntas determina la dirección de los rumbos generales que se encuentran a lo largo del macizo rocoso para hallar una dirección predominante. Dentro del grafico se puede apreciar entonces que la dirección de las familias tiende a concentrarse en dirección opuesta a la dirección del túnel.

Figura 10. Diagrama de Roseta de Juntas para el manto Piedro.



Fuente: Datos de estudio.

Espaciado

De acuerdo a el análisis de espaciamiento del software Dips se tiene una tendencia de espaciamiento promedio entre 0.3-0.6 m. por lo cual estaría adecuada la estimación de bloques Moderado que se hace para este estudio (Ver anexo 11).

Dimensión

Mediante la observación de las longitudes de las superficies de discontinuidad estudiadas y según lo observado dentro del levantamiento de discontinuidades se observaron continuidades muy pequeñas dadas las condiciones del Túnel. Por tanto, se puede determinar que la dimensión de la discontinuidad es continuidad muy pequeña <1 metro (Ver anexo 12).

Rugosidad

Las discontinuidades presentes se caracterizan por su apariencia ondulada y de acuerdo con la tabla donde se determinan la escala de grados de rugosidad, los planos de estratificación presentan un perfil predominante correspondiente al Grado V. Discontinuidad lisa, ondulada (Ver anexo 13).

Resistencia de las paredes de las discontinuidades

Debido a que no se presenta flujo de agua constante a través de las discontinuidades se puede concluir que las paredes del túnel presentan características de comportamiento estable, y las rocas de este tipo tienden a mantenerse inalteradas, aunque es recomendable hacer mantenimiento de las vías según se observe deterioro de juntas por oxidación o presencia de sobre presiones (Ver anexo 14).

Abertura

El mayor número de datos corresponde a 2 milímetros lo que clasifica la discontinuidad como pequeña. Estas excavaciones representan características continuas y constantes respecto al espaciado por lo cual se muestra en forma homogénea sin alteraciones abruptas entre las familias de discontinuidades. (Ver anexo 15).

Relleno y circulación de agua.

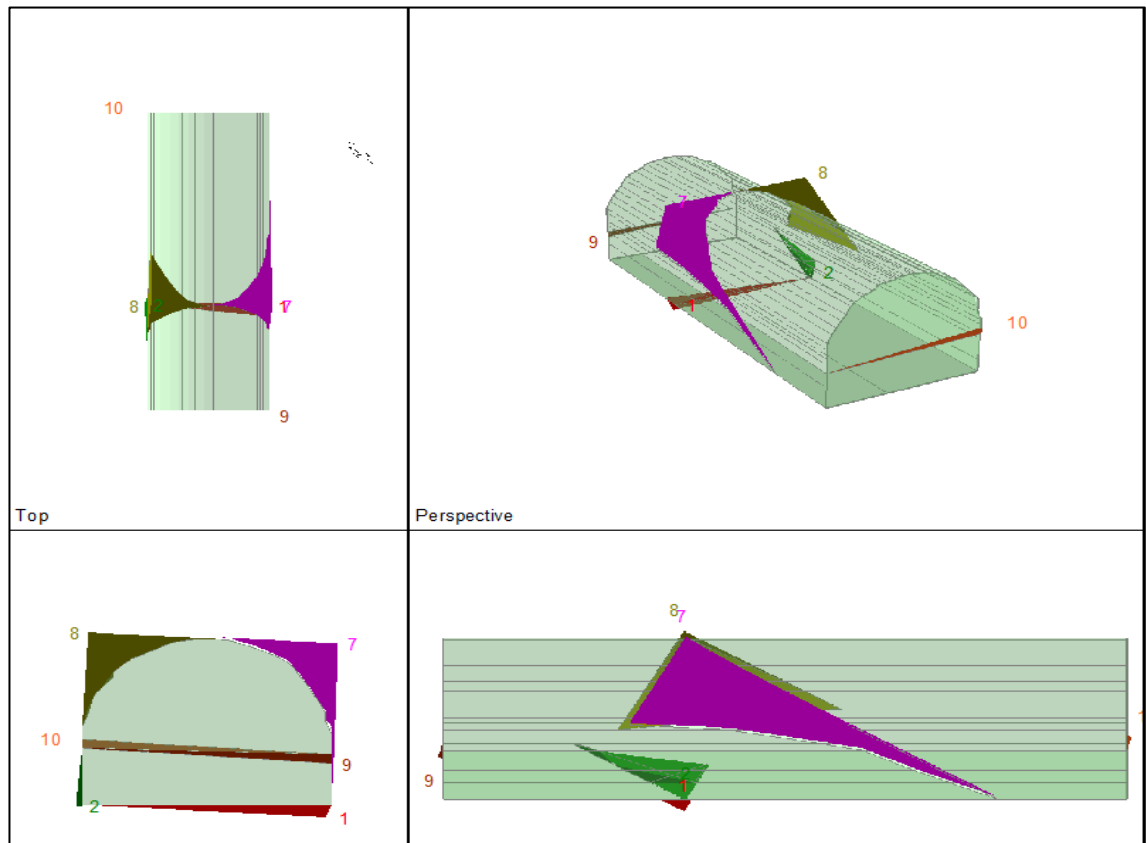
Dentro del trabajo de campo realizado a el interior de la mina y en ambos mantos se pudo determinar que el flujo de agua para el manto piedro y el manto Bolas, es casi nulo, esporádicamente se pueden presentar pocas filtraciones de agua en el momento de realizar la explotación por tajo humedeciendo las paredes aunque sin un flujo constante. (Ver anexo 16).

Modelamiento de cuñas por Undwedge

El modelamiento de culas a través del software de Undwedge nos permite determinar cuáles son las zonas del túnel más susceptibles a sufrir deslizamiento o desprendimiento de cuñas, por lo cual tomaremos en cuenta este modelo para el diseño del sostenimiento en el avance de labores de preparación durante la explotación del manto Piedro.

En la siguiente ilustración podemos observar la tendencia de formación de cuñas laterales para las dimensiones propuestas del sostenimiento del manto Piedro; las cuñas formadas tienen un volumen promedio de $0,3\text{m}^3$ con un peso aproximado de 0,7 Ton para las cuñas laterales. El factor de seguridad de estas cuñas está calculado para una constante de 1.5.

Figura 11. Modelamiento para formación de Cuñas en el manto Piedro por software. Undwedge.



Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo a este modelamiento se podría concluir que para la cuña siete y ocho se podría considerar un pernado con un distanciamiento promedio de 2 m. en dirección al avance del Túnel. Por otro lado, se debe considerar para su instalación la orientación de los estratos y el diseño de la cuña propuesta de manera que la perforación se haga perpendicular a la orientación del estrato teniendo en cuenta que la cuña numero 7 formada en la pared este del Túnel presenta un comportamiento de desprendimiento inminente.

4.3 INDICE DE CALIDAD RQD

De acuerdo a la clasificación de Hooke y Brown para dimensionamiento de bloques, estos se presentan como bloques de tamaño pequeño y pueden verse a simple vista en un perfil de la excavación.

Para la estimación del valor del RQD se realiza el cálculo aplicando el parámetro de juntas con un valor determinado RQD 65,5 (Ver anexo 17).

4.4 DETERMINACION DEL INDICE Q

Según los criterios de valoración para la clasificación Q corresponde a **Roca Buena** perteneciente al intervalo entre 10-40 con un valor calculado de 32,5. Valor que determinó la calidad de la roca. (Ver anexo 18)

4.5 DETERMINACIÓN RMR DE (BIENAWSKI, 1989)

La sumatoria de cada uno de los parámetros para el cálculo del RMR (σ_{ci} , RQD, separación entre diaclasas, longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno, alteración y agua freática) es igual a 63 puntos, lo que clasifica como un macizo rocoso Clase II, con Calidad Media, que está ubicada en una valoración RMR de 60 a 80 puntos, Cohesión entre 3 a 4 kg/cm² y un Angulo de rozamiento de 35° a 45° aproximadamente. (Ver Anexo 19).

4.6 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE GEOLÓGICO GSI

De acuerdo Al Análisis del estrato se presentan discontinuidades y puede observar que aunque es una roca que generalmente es maciza y estable, puede presentar desprendimientos y planos de falla, también es de destacar que según esta clasificación GSI arroja un puntaje de 59/100 que caracteriza la roca como regular de clase III para casos de construcción de Túneles sobre la misma. (Ver anexo 20)

4.7 CALCULO DE ESFUERZOS LITOSTÁTICOS

El cálculo de esfuerzos litostáticos es una parte fundamental del estudio, el cual nos permite determinar los esfuerzos inmediatos producidos por el recubrimiento Litostático hasta superficie.

Para el desarrollo y determinación de las constantes establecemos las presiones horizontales por medio de la ley de Hooke:

$$\sigma_v = H * \gamma$$

Donde.

σ_v = Presión litostática vertical.

H = Profundidad promedio del Túnel.

γ = densidad promedio del Recubrimiento.

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1 - \nu} * \sigma_v$$

Donde.

σ_h = Presión Litostática Horizontal.

ν = Modulo de Poisson de la roca de Techo.

Para la correlación de esfuerzos según el Buzamiento y estratificación del recubrimiento aplicamos elementos de cálculo para la Presión Litostática propuestas por Hooke and Brown en donde se formulan:

$$\sigma_{med} = \sigma_{v'} = \frac{(\sigma_v + \sigma_h)}{2}$$

σ_{med} = Esfuerzo promedio producido.

$$\sigma_{min} = \sigma_3 = \sigma_{med} - R$$

σ_{min} = esfuerzo mínimo producido

$$R = \sqrt{cf^2 + \tau_{xy}^2}$$

R = Valor de referencia para el esfuerzo cortante máximo.

$$cf = \sigma_h - \sigma_{v'}$$

Cf = Tensión residual de esfuerzos litostáticos.

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \sigma_{v'} + R$$

σ_{max} = *esfuerzo máximo producido*

$$\tau_{max} = R$$

τ_{max} = *Esfuerzo cortante máximo Producido.*

$$\tau_{xy} = \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2 \tan 2\theta}$$

τ_{xy} = Esfuerzo cortante producido en relación al Angulo de fricción interna del material.

Ahora para la determinación de la variación de los esfuerzos con relación al Angulo del plano inclinado definimos los siguientes parámetros de cálculo:

$$\sigma'_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} * \cos 2\theta$$

σ'_n = Esfuerzo normal producido para planos inclinados de estratificación.

$$\tau'_{zy} = \frac{-\sigma_1 - \sigma_3}{2} * \sin 2\theta$$

τ'_{zy} = esfuerzo cortante producido para un Angulo de inclinación θ .

Luego de operar las formulas planteadas con los valores reales de campo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11. Esfuerzos Litostáticos en condiciones Normales.

Esfuerzos a una profundidad vertical de 365 m.					
esfuerzo horizontal Kg/m ²	esfuerzo vertical Kg/m ²	profundidad m.	σ_h Mpa	σ_v Mpa	T_{xy} Mpa
299684,2105	949000	365	2,93990211	9,30969	-1,05638477

Fuente: Datos de estudio.

Tabla 12. Constantes de esfuerzos Máximos, mínimos y cortantes producidos.

$\sigma_{med}=\sigma_2$ Mpa	$\sigma_{min}=\sigma_3$ Mpa	R Mpa	cf.	$\sigma_{max}=\sigma_1$ Mpa	τ_{max}	θ Rad
6,124796053	2,769278471	3,35551758	-3,184893	9,48031363	3,355517581	0,7

Fuente: Datos de estudio.

Tabla 13. Esfuerzo Normal y cortante sobre un Plano inclinado de 55 grados.

Esfuerzos y relación del Angulo sobre un plano inclinado.

Angulo de Buzamiento θ	$\sigma'n$ Mpa	T'zx Mpa
0,9625	4,960956315	-5,744587

Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo a los cálculos obtenidos en relación al Angulo de buzamiento, obtenemos unos esfuerzos de terreno con un promedio de 4,96 Mpa alrededor del Túnel y un esfuerzo cortante residual de alrededor de -5,74 Mpa, según se estima para una profundidad de trabajo de 365 m. Debido a que estos esfuerzos obtenidos son significativamente altos se analizará la redistribución de esfuerzos alrededor del túnel para el cálculo del sostenimiento.

4.8 CORRECCIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE SOBRE LOS PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN

Para el estudio que se desea realizar sobre las labores de la mina Tauro en el nivel 400 del manto Piedro se consideran los esfuerzos litostáticos generados teniendo en cuenta el cálculo de esfuerzos cortantes producidos por los contactos entre estratos.

Para llegar a la corrección de esfuerzos producidos sobre los planos de estratificación aplicamos la teoría del Ing. De minas Rafael Juárez de la universidad politécnica de Madrid en donde relaciona los esfuerzos cortantes producidos sobre un plano que llama infinito debido a que los esfuerzos cortantes generados sobre las superficies planas son mayores a la resistencia al corte del material y se aplican los correctivos de la presión generada mediante:

$$\sigma_v = \gamma * Z * \cos^2 \beta$$

$$\tau = \gamma * z * \cos \beta \sin \beta$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante generado sobre los planos de contacto.

σ_v = esfuerzo vertical generado en relacion al angulo de inclinacion.

γ = peso especifico promedio de los materiales de recubrimiento.

z = distancia vertical hasta la superficie de la excavacion.

β = angulo de inclinacion de los estratos en radianes.

Siendo τ el esfuerzo cortante generado sobre los planos de contacto entre la arcillolita y los mantos de carbón, $\beta=55^\circ$ y $Z=365$ m de profundidad; calculando así las tensiones en el punto de máxima profundidad del tajo y sobre los respaldos de las labores subterráneas. Una vez teniendo La presión litostática y el esfuerzo cortante generado sobre los respaldos calculamos la resistencia al cortante del material mediante:

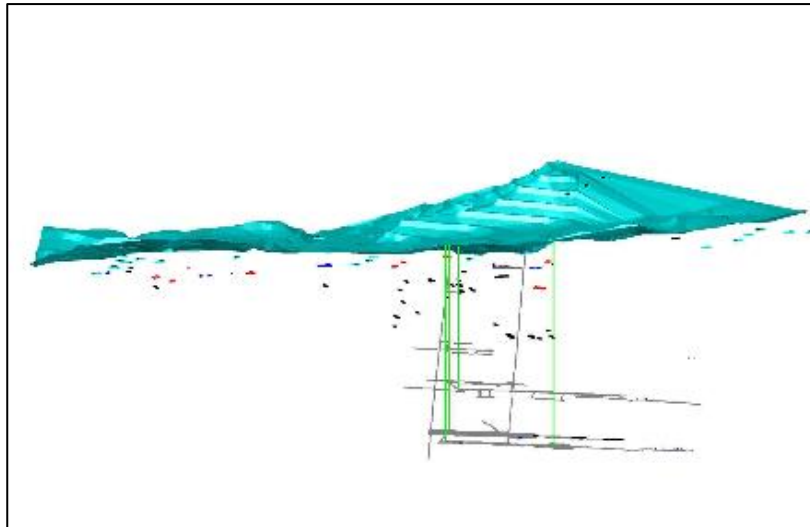
$$\tau_c = C + \gamma * Z * \cos^2 \beta * \tan \phi$$

Donde:

τ_c = resistencia al cortante del material.

Los cálculos de la corrección del esfuerzo cortante se realizara de acuerdo a la proyección del nivel 400 de la mina Tauro hacia superficie para calcular la profundidad promedio a la cual se llegan a encontrar las labores; esta altura de recubrimiento por la topografía abrupta alcanza a variar de acuerdo a su longitud de avance, por lo cual se trazaron varios perfiles promediando la profundidad del nivel a 365 m. (Ver figura 12).

Figura 12. Proyección vertical de labores respecto a superficie.



Fuente: Datos de estudio.

Para terminar de definir la resultante del esfuerzo cortante total producido, realizamos una relación de esfuerzos que permita “definir el factor de seguridad como la resistencia al corte en el plano, dividida por la tensión cortante que actúa sobre él.”¹

$$FS = \frac{C + \gamma * Z * \cos^2 \beta * \tan \phi}{\gamma * Z * \cos \beta * \sin \beta}$$

El comportamiento de este modelo matemático está ligado a limitantes de inclinación no mayor a 30°, ya que nos da como resultado factores de seguridad menores a 1. Esta relación se puede contrarrestar sumando 1 a el resultado de factor de seguridad para buzamientos mayores a 30°.

$$\partial\tau = \frac{\tau_c * FS + 1}{\tau}$$

¹ -SOSTENIMIENTO EN MINAS DE CARBÓN CON ENTIBACIÓN HIDRAULICA INDIVIDUAL-RAFAEL JUAREZ- TESIS DOCTORAL-2003-UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.

La anterior expresión nos da la resultante de la resistencia al cortante en el plano, dividida por la tensión cortante que actúa sobre él; para lo cual obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 14. Esfuerzos cortantes para el carbón.

Relación de esfuerzos para el carbón.	σ_v Mpa	1,7540
	T Gen Pa	2,5187
	ϕ Carbón	0,4375
	Z m.	365
	Tc	1,0204
	Y KN/m ³	14715
	C Pa	200000
	β	0,9625
	β°	55
	Fs.	0,40512414
	Fs+1	1,40512414
	Tc*Fs+1	1,43381503
	(Tc*Fs)-T (Mpa)	-1,0849654

Fuente: Datos de estudio.

Donde:

$Tc*(Fs+1)$ = Resistencia al cortante del material por factor de corrección.

El análisis de esfuerzos cortantes generados sobre el plano del manto de carbón puede ser interpretado de manera que $Tc = 1,43 \text{ Mpa} < T \text{ Gen} = 2,51 \text{ Mpa}$ por lo cual el plano es susceptible a desplazamientos descendentes respecto a la inclinación del plano con un esfuerzo residual de $-1,084 \text{ Mpa}$.

Tabla 15. Esfuerzos cortantes para la arcillolita.

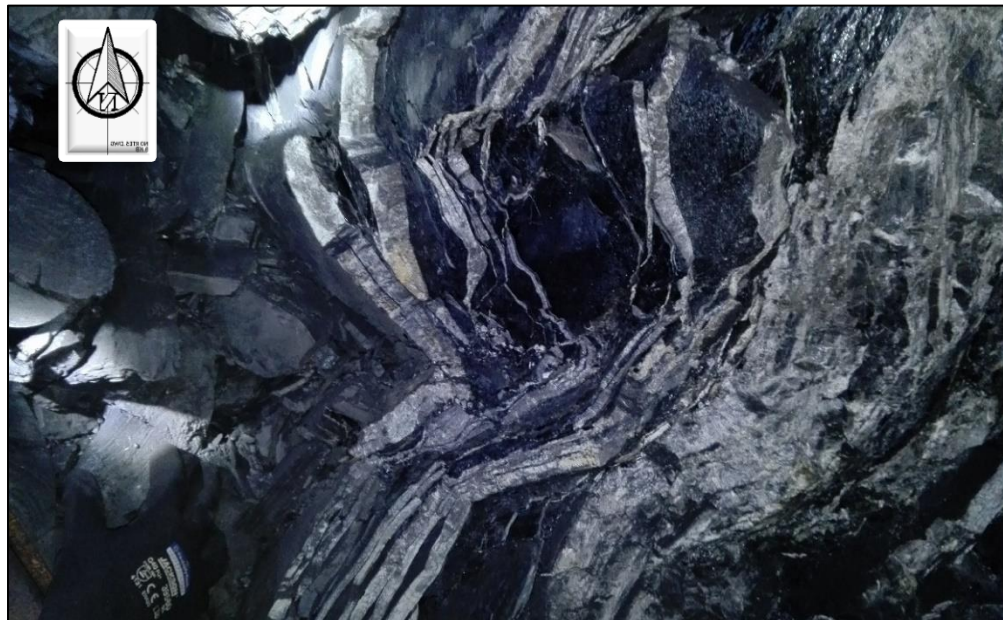
Relacion de esfuerzos para la arcillolita.	σ_v MPa	2,24902003
	T Gen MPa	4,36143568
	ϕ arcillolita	0,7
	Z	365
	Tc	3,7182342
	Y N/m ³	25480
	C Pa	1160000
	β	0,9625
	β°	55

	F	0,85252529
	Fs+1	1,85252529
	Tc*Fs+1	6,88812287
	(Tc*Fs)-T (Mpa)	2,52668719

Fuente: Datos de estudio.

Para el análisis de esfuerzos sobre el nivel debemos considerar entonces el tipo de material a el cual se le aplicaran las fuerzas resultantes. Debido al buzamiento que se tiene en los planos de estratificación se puede entender que el esfuerzo cortante (T) generado por el terreno y que actúa sobre las paredes del túnel, causan la deformación de los estratos laterales como se muestra en la figura 6.

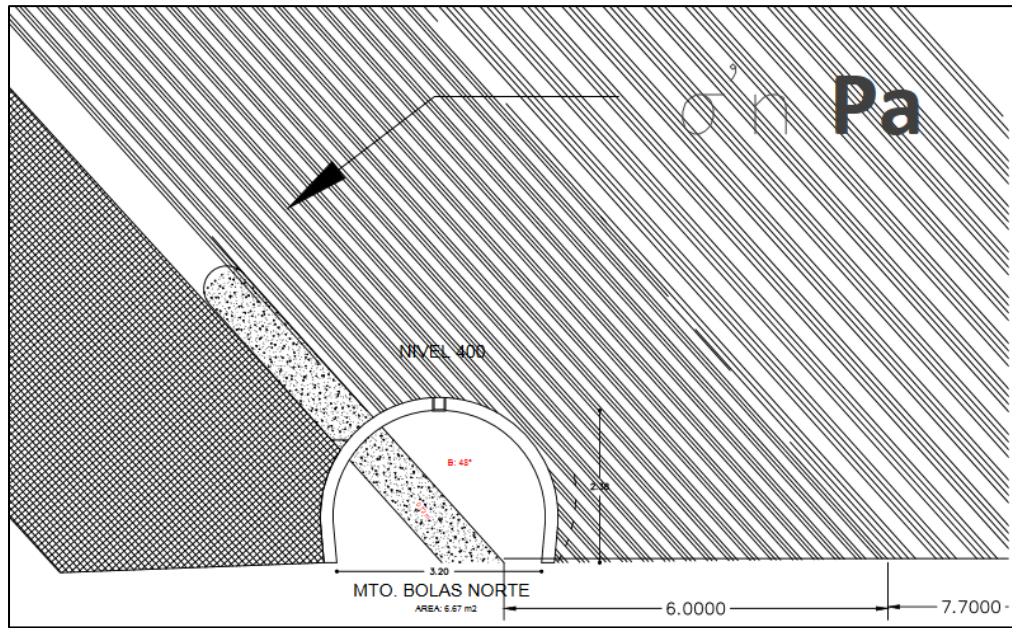
Figura 13. Estratos laterales del túnel bajo influencia de esfuerzos cortantes.



Fuente: Datos de estudio

Para entender mejor la relación de esfuerzos producidos en el lado oeste del túnel, se representa en el siguiente perfil la orientación y estratos que convergen en la explotación del manto. De acuerdo a el análisis de relación de esfuerzo cortante generado sobre el plano de la arcillolita que esta de respaldo superior del manto de carbón observamos que el esfuerzo generado es menor a la resistencia corregida sobre el plano de estratificación $T_c = 6,88 \text{ Mpa} > T_{Gen} = 4,36 \text{ Mpa}$, aunque debido a el tipo de laminación que se presenta sobre los planos, el estrato ha sufrido una importante deformación plástica. Por lo cual la zona susceptible a la deformación y esfuerzos cortantes de este tipo se extenderá hasta unos seis metros alrededor del túnel según su litografía.

Figura 14. Dirección del esfuerzo normal sobre los estratos a escala.



Fuente: Datos de estudio.

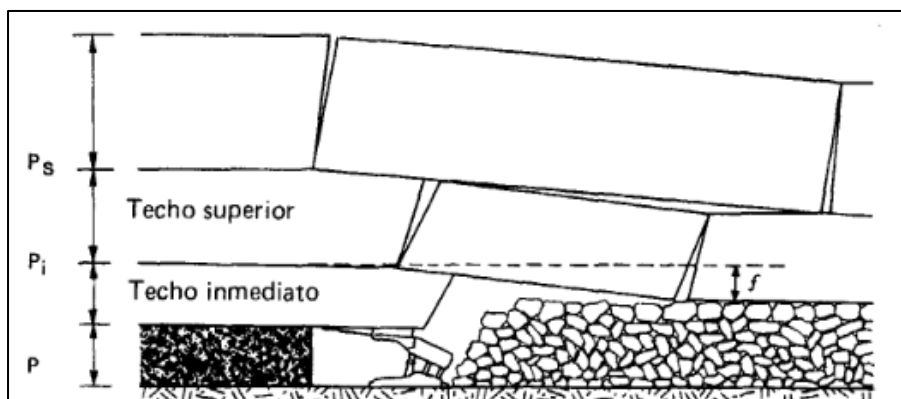
5. CALCULO DE ESFUERZOS EN EL TAJO

5.1 DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TECHO INMEDIATO DEL TAJO

Dentro de la teoría de esfuerzos por hundimiento alrededor de un tajo de P. Ramírez Oyanguren, se estiman facies de convergencia de estratos supra yacentes dentro de la zona afectada por la explotación, planteando que en el momento de arrancar el carbón se pueden afectar un cierto número de estratos, dentro de los cuales se pueden alcanzar zonas de desprendimientos de entre 28 y 42 veces la potencia de la capa, por lo cual, en un estimado promedio la zona hundida y la zona fracturada esta alrededor de las 50 veces la potencia del estrato. Para nuestro caso el planteamiento de los esfuerzos en el tajo llegaría a alcanzar según la teoría mencionada, una zona de fractura y hundimiento de 35 metros aproximadamente en dirección a superficie.

La estimación que se realiza de las zonas afectadas por la explotación, relaciona la explotación de un solo manto o capa de mineral; por lo cual para nuestro caso debemos considerar que se realizan trabajos de explotación en dos mantos consecutivamente, aunque dentro del planteamiento se considera explotar los mantos superiores primero para no incidir en afectaciones a la explotación de los inferiores.

Figura 15. Zonas de desprendimiento sobre el techo de un tajo.



Fuente: Control de estratos en minería subterránea- P. Ramírez Oyanguren.

De acuerdo a la ilustración se muestra la manera en que inmediatamente después del sostenimiento se debe derrumbar el techo inmediato y reposa el techo superior sobre el derrumbe, pero para esto sería esencial que la roca no fuera competente para soportar el esfuerzo a la flexión, caso contrario a lo que ocurre en el tajo del manto Piedro debido a que el estrato se flecta hasta asentarse en su totalidad fracturándose solo en unas pocas zonas.

Luego del asentamiento del techo inmediato se podría producir lo que consideramos como golpe de techo, en donde se producen fracturas periódicas. El seguimiento que se le ha dado al tajo en los últimos dos meses muestra que se producen estos golpes de techo cada una o dos semanas, aunque son más frecuentes en la zona inferior del tajo en el manto Piedro,

dejando tan solo unas 4 o 6 calles abiertas para la continuación del trabajo. En la parte superior el derrumbe es un tanto más demorado, es decir cada 15 días a un mes, aunque el resultado final de este derrumbe es un asentamiento que provoca el aplastamiento total del sostenimiento en la parte abierta más alejada del frente. Por lo cual se reitera que solo se produce fracturamiento en el techo inmediato, pero aun así la roca actúa como transmisor del esfuerzo del techo superior sobre el espacio vacío.

De acuerdo a esto y según lo observado del comportamiento en el tajo para el 27 de diciembre de 2016 en el corte del tajo Piedro se tenía un total de 10 calles abiertas. El día 03 de diciembre se presentó un golpe de techo ocasionando un derrumbe y aplastamiento de los ademes en madera instalados en el tajo, dejando un total de 3 calles abiertas a partir del frente, lo cual nos da una probabilidad de acierto de aproximadamente el 80% según se observan las condiciones en el tajo.

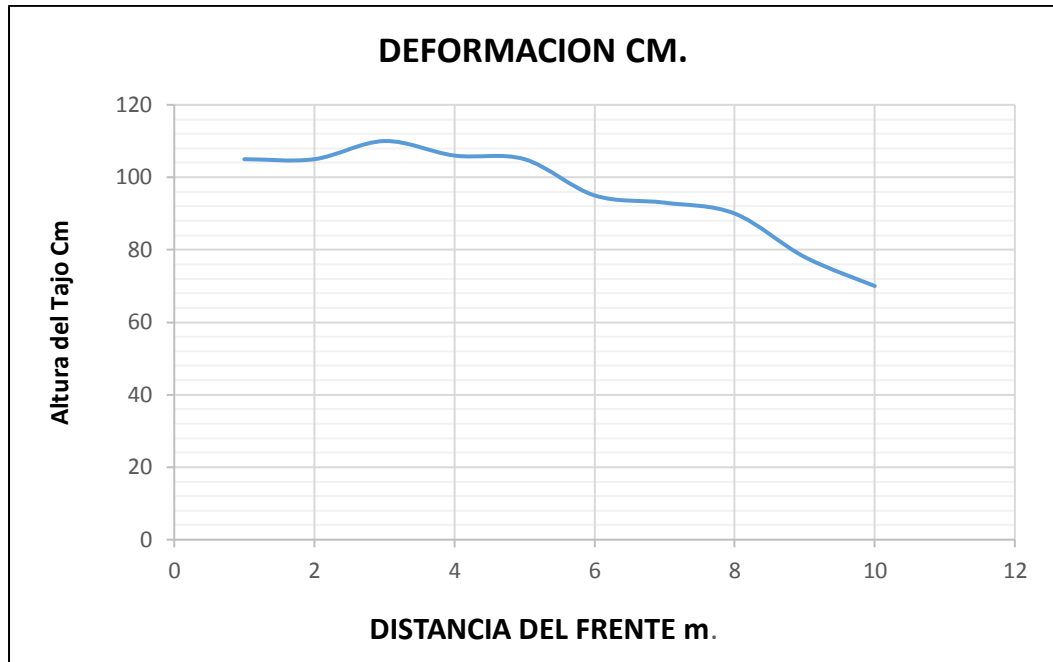
5.2 APLICACIÓN DE TEORÍA DE ARTHUR HERIOT WILSON PARA ROCAS BLANDAS EN TRABAJOS DE CARBÓN

El estudio de este modelo es aplicado en especial a rocas blandas en donde se busca establecer cuál será el comportamiento del efecto producido luego de realizada la explotación de mantos de carbón y se aplicará a el tajo del manto Piedro; debido a la naturaleza de estas rocas anisotrópicas es difícil estimar valores que determinen la carga específica y su tiempo de aplicación sobre los bordes de la explotación en un tajo largo.

5.2.1 Curva característica de asentamiento en el techo del tajo

Para la aplicación y determinación de los valores de descenso en nuestro caso de estudio es importante determinar el comportamiento para su estimación grafica que nos permita entender a través de que modelos matemáticos se determinaran datos que se asemejen a la realidad de su comportamiento. Para ello se tomaron datos de convergencia del tajo que nos permitieron establecer una curva característica del asentamiento en el tajo respecto al frente.

Figura 16. Curva de descenso del techo desde el frente.



Fuente: Datos de estudio.

Tabla 16. Datos de convergencia tomados en el Tajo.

Datos de convergencia en el tajo (05-01-2017)	
Distancia m.	Deformación Cm.
1	105
2	105
3	110
4	106
5	105
6	95
7	93
8	90

9	78
10	70

Fuente: Datos de estudio.

5.2.2 Ajuste logarítmico del asentamiento de techo

De acuerdo a los datos tomados en el tajo a una profundidad promedio de 365 m desde superficie, se ajustó la curva de tendencia logarítmica que servirá como base para la utilización del método de aproximación de balance de tensiones que considera cualquier incremento de tensiones sobre el borde de la explotación con una reducción equivalente sobre la tensión del relleno y/o espacio explotado.

Para el ajuste de asentamiento total se relacionan los datos obtenidos mediante:

$$w = k_1 * \ln \frac{M}{M - C}$$

Donde:

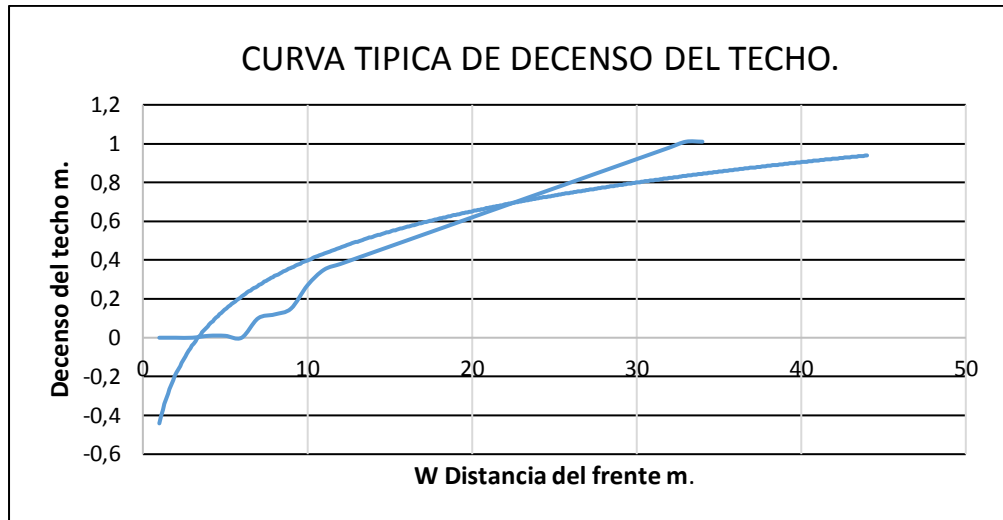
W: Distancia del arranque.

C: Descenso del techo.

M: Potencia del manto.

*k*₁: 13,45

Figura 17. Ajuste Logarítmico Para la curva de descenso de techo en el Tajo



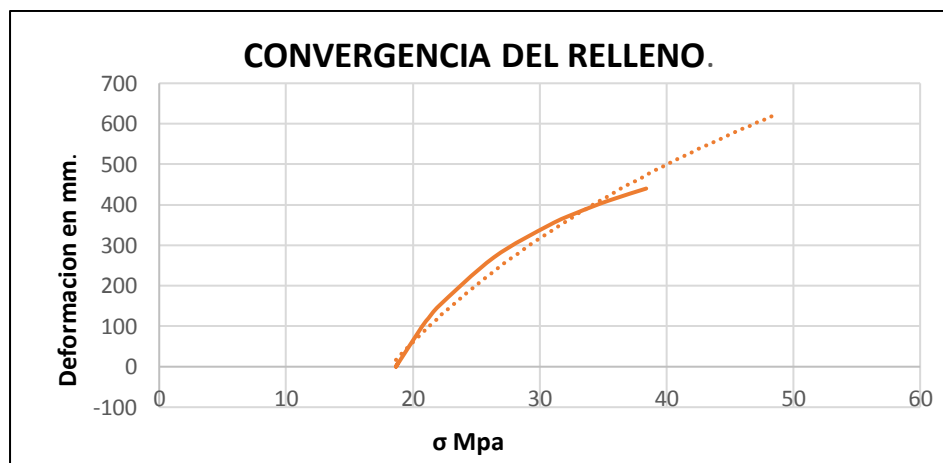
Fuente: Datos de estudio.

5.2.3 Curva de compactación del relleno.

De acuerdo al ajuste hecho siguiendo el parámetro de descenso del techo propuesto por Wilson, se muestra el asentamiento total del techo a una distancia total de 45 metros aproximadamente. Para nuestro caso de hundimiento que compacta el relleno y el material roto; esta compactación también tiene una curva de compactación gradual interpretado por la expresión exponencial:

$$w = k^1 * \ln \frac{M}{M - C}$$

Figura 18. Deformación en mm. Vs. Presión Litostática.



Fuente: Datos de estudio.

El ajuste de la curva está dada de acuerdo a un máximo de compactación del relleno y el techo fracturado que se compacta entre el sostenimiento. Obviamente estos valores dados tan solo son un estimado de variación entre la presión ejercida sobre el relleno y la deformación de convergencia que se da en el espacio vacío del tajo.

5.2.4 Relación del área total afectada por la explotación sobre el techo del tajo (Área de bóveda de carga del tajo).

Para obtener una estimación de la bóveda de carga sobre el Tajo, se emplea el método de aproximación llamado "balance de tensiones". Teniendo en cuenta que el total de las fuerzas que gravitan y la carga del recubrimiento permanecen, cualquier crecimiento de la tensión sobre el borde del macizo debe compensarse con una reducción equivalente en la tensión sobre el relleno y viceversa. Para ello calculamos el ancho de la bóveda de carga del tajo mediante un incremento de $0,3H$ siendo H la profundidad máxima del borde de la explotación.

$$Aw = \frac{1}{2} w Y \left(H * \frac{w}{0,6} \right)$$

Donde:

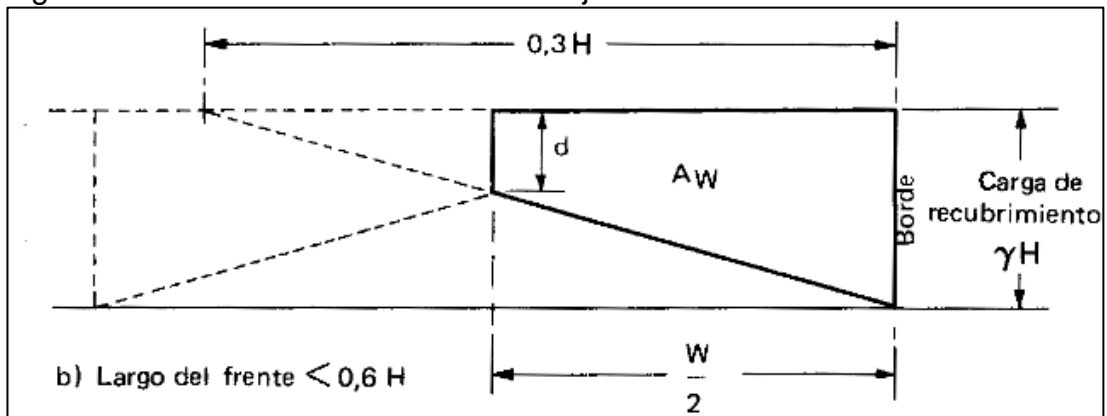
W : longitud del frente (100m).

H : profundidad de recubrimiento (109,5m).

Y : densidad media de los estratos (0,024 MN/m³).

Aw : área bajo la curva del recubrimiento.

Figura 19. Área de influencia sobre el Tajo.



Fuente: Control de estratos en minería Subterránea-P. Ramírez Oyanguren.

$$Aw = 21900 \text{ m}^2$$

5.2.5 Determinación de zonas de tensión y esfuerzos generados por la explotación.

De acuerdo al área bajo la curva de carga que es de 21900 m² desde el frente hacia el derrumbe, determinaremos la tensión total situada en el borde de la explotación equivalente a:

$$\sigma_y = (P + P')Ke^{x\frac{F}{M}}$$

$$\sigma_x = \frac{1}{K}\sigma_y$$

$$K = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

Siendo σ_y y σ_x las tensiones principales en la línea central del estrato débil.

P: presión horizontal suministrada por el sostenimiento del macizo.

P': resistencia a la compresión simple de la roca rota.

K: coeficiente de tensión triaxial.

x: distancia al borde del macizo.

M: Potencia de la capa extraída.

F: función de K.

ϕ : Angulo de fricción interno de la roca techo.

Q: esfuerzo vertical o litostático calculado según Buzamiento en Mpa.

$$F = \frac{K-1}{\sqrt{K}} + \left(\frac{K-1}{\sqrt{K}}\right)^2 \tan^{-1} \sqrt{K} ; \text{ Con K en radianes.}$$

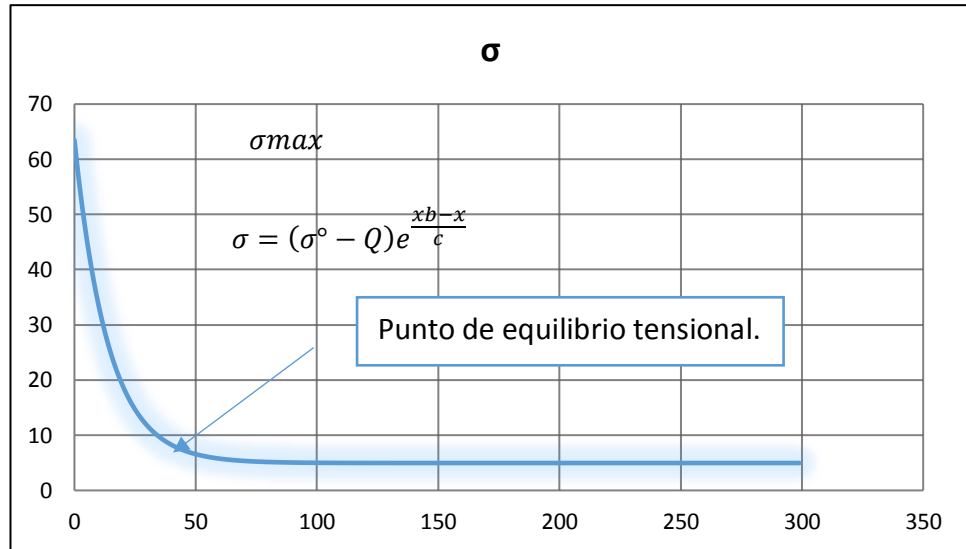
Aunque debido a que la relación entre p' y σ_h es pequeña, se opta por estimar los esfuerzos sobre el frente de modo:

$$\sigma_y = K(P + P') \left[\frac{x + \frac{M}{2}}{\frac{M}{2}} \right]^{K-1}$$

$$\sigma_x = \frac{1}{K}\sigma_y$$

En conclusión, el modelamiento de la zona de tensión del frente y el borde de la explotación podríamos mostrar resultados de acuerdo a:

Figura 20. Esfuerzos Generados Desde el Derrumbe.



Fuente: Datos de estudio.

Donde.

Q° : resistencia a la compresión simple en Mpa.

Xb : distancia mínima abierta desde el frente hasta el derrumbe.

$$C = \frac{0,15H + xb - \frac{M}{F} K}{(K - 1) + 40 \frac{\sigma_0}{H}}$$

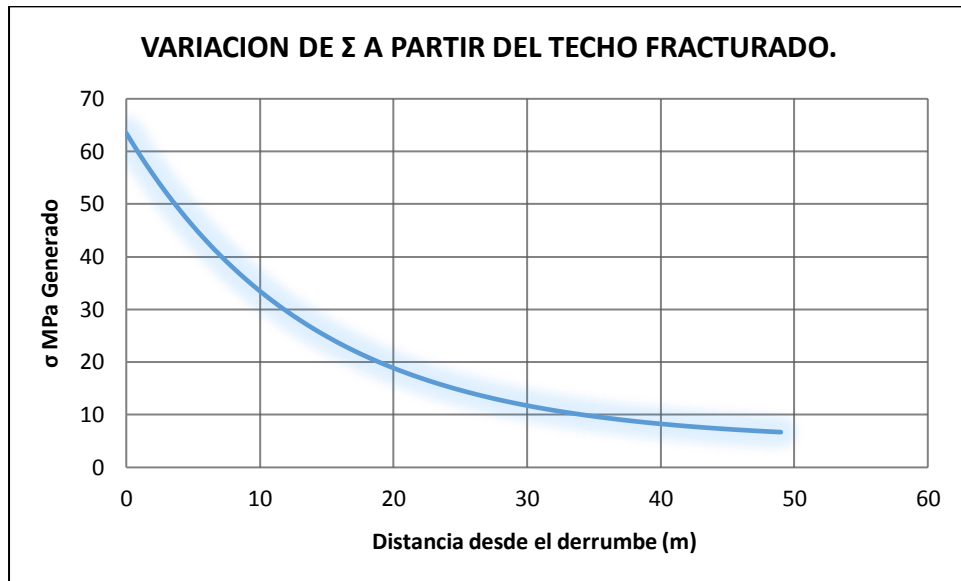
C : constante de relación de esfuerzos para el cálculo de presiones resultantes en el frente.

H : profundidad promedio de las labores subterráneas.

Una interpretación del comportamiento tensional en el tajo a partir de la zona de derrumbe, es la disminución y equilibrio final del esfuerzo de techo producto de la explotación. Este esfuerzo está dado a partir de una zona libre del frente de aproximadamente unos 10 metros que tiende a disminuir conforme se aleja del frente. También se debe tener en cuenta que la condición de disminución del esfuerzo de techo esta dado a partir del fracturamiento del techo inmediato.

El dato de esfuerzos mostrados en las gráficas está relacionado con el esfuerzo normal efectivo respecto al Angulo de inclinación del estrato; es decir, que se ha tenido en cuenta la disminución del esfuerzo vertical debido a su fuerte buzamiento.

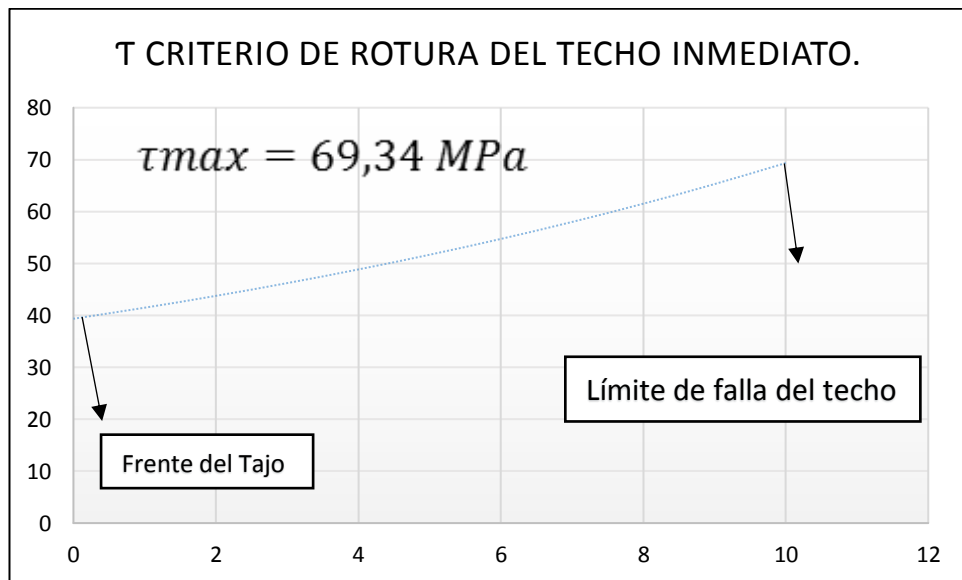
Figura 21. Relación de Esfuerzo residual generado a partir del plano de falla.



Fuente: Datos de estudio.

En la anterior grafica tenemos más detalladamente la curva de esfuerzos obtenida a partir del derrumbe generado Luego de avanzada la explotación.

Figura 22. Esfuerzo cortante Generado sobre el Techo inmediato.

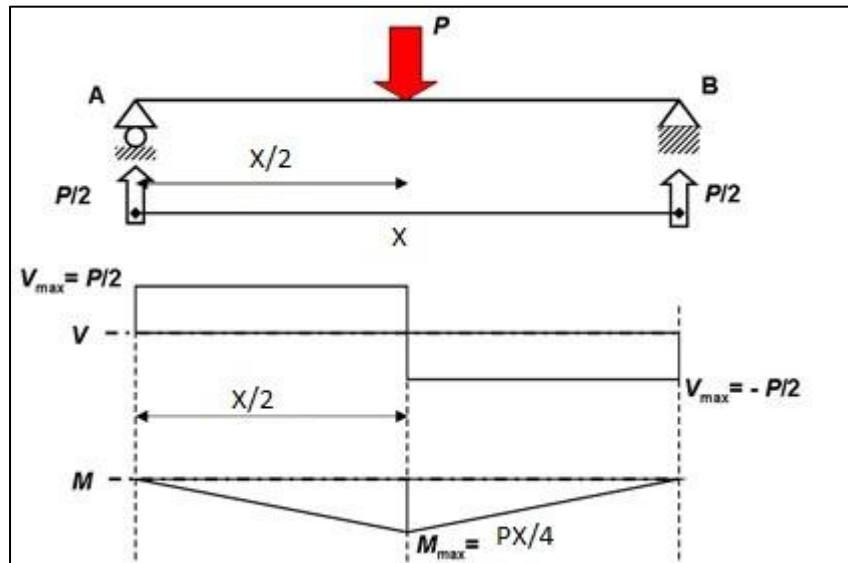


Fuente: Datos de estudio

Para comprender mejor el momento de máximo cortante del tajo se debe entender el techo del tajo como una viga simplemente apoyada según la ilustración en donde modela el momento máximo. Por tanto, en el momento en que el techo alcanza su momento máximo se produciría su falla o según los

resultados de laboratorio se produciría mucho antes; alrededor de los seis a siete metros desde el frente.

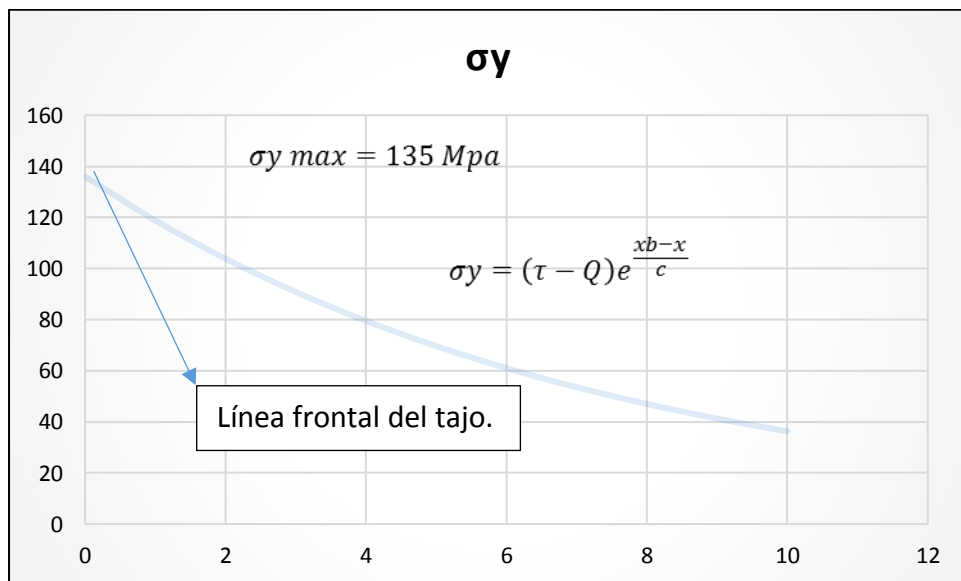
Figura 23. Diagrama de fuerza cortante (V) y de momento flexionante (M).



Fuente: Carolina Cogollo (Own work)

Luego de avanzados aproximadamente 10 calles o más tiende a tener un punto de falla debido a una acumulación de esfuerzos de aproximadamente 69,34 Mpa en donde falla la entibación y se empieza a dar el aplastamiento de las canastas instaladas a lo largo del tajo.

Figura 24. Esfuerzo máximo producido a partir del frente del tajo.



Fuente: Datos de estudio.

En el frente del tajo se muestra un esfuerzo máximo de 135 Mpa que disminuye exponencialmente con relación a la distancia desde el frente hacia el derrumbe;

teniendo en cuenta que este valor no corresponde a la carga de techo inmediato, pero si a la acumulación de esfuerzos producidos una vez avanzada la explotación puesto que la longitud de avance de la explotación varía entre 300 y 400 m en el avance. Por lo cual se da una acomodación de los estratos superiores del tajo, acorde a esto se comprueba matemáticamente la incidencia y acumulación de tensiones en los límites de explotaciones por tajo. El control de las presiones para el avance de la explotación deberá ser estudiado de acuerdo a los parámetros de incidencia que se hallan en las labores circundantes del tajo (transversales, niveles, tambores etc.).

A continuación, se relaciona el total de valores estimados para los límites del tajo de acuerdo a los parámetros planteados:

Tabla 17. Constantes de cálculo para esfuerzos Generados en el Tajo Manto Piedro.

v para arcillolita	0,24
P' MPA	31,592
K	1,91624617
X	0
M	1
F	0,50422747
φ	0,32
σ_x Mpa	78,7404319
σ_y Mpa	150,886051
C	13,9205815
H	365
xb	10

Fuente: Datos de estudio.

Donde:

V arcillolita: constante de deformación del material (módulo de poisson)

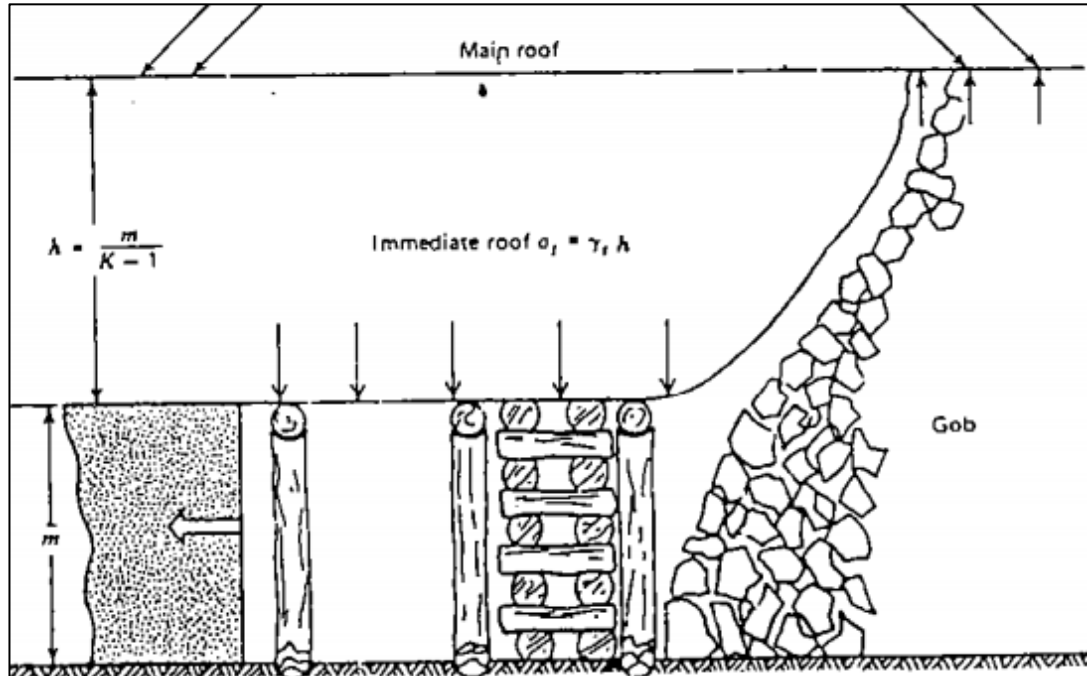
5.3 CALCULO DE LA CARGA INMEDIATA A SOSTENER EN EL TAJO

Debido a que la carga generada en un tajo se da bajo condiciones específicas, se determinara el sostenimiento adecuado para la carga inmediata de techo máxima generada a partir de la zona elástica. Esto de acuerdo a la teoría explicada y calculada anteriormente.

5.3.1 Estimación altura de techo inmediato a sostener.

La altura del techo inmediato a sostener se da en relación al siguiente cálculo:

Figura 25. Relación del techo inmediato a sostener.



Fuente: Design of support in mines-Pressures on wooden supports.

$$h = \frac{m}{k - 1}$$

$$K = 1 + E$$

$$E = \frac{\gamma s - \gamma k}{\gamma k}$$

$$h = m \frac{\gamma k}{\gamma s - \gamma k}$$

$$\sigma t = h \gamma s$$

Donde:

H: Altura de techo inmediato falso.

K: factor de expansión del techo inmediato.

M: espesor del manto en metros.

E: expansión del techo inmediato.

Ys: densidad del techo inmediato (sólido) t/m^3 .

Y: densidad del techo inmediato (roto) t/m^3 .

σ_t : presión de techo inmediato en t/m^2 .

Tabla 18. Presión minera de techo inmediato sobre el tajo.

M	1,1
σ_t t/m ²	6,6733
K	1,42857143
E	0,42857143
Y _s	2,6
Y _k	1,82
H (m).	2,56666667

Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo a estos cálculos concluimos que la presión minera es de 6,67 Ton/m² para lo cual se calculará la entibación del techo inmediato a sostener.

5.3.2 Techo inmediato a sostener según potencia del estrato.

Rafael Juárez en su tesis doctoral de la escuela politécnica de Madrid, propone el cálculo del esfuerzo de techo bajo la fórmula:

$$h = \frac{M}{A - 1}$$

Con M=1 (espesor del manto), A=1,4 (factor de esponjamiento del techo) de modo que:

$$h = 2,56 \text{ m}$$

Determinando la presión de techo bajo la fórmula propuesta:

$$P = h * D_s$$

$$P = 6,67 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

5.3.3 Techo inmediato a sostener según Terzagui.

Terzagui relaciona la presión generada a partir del Angulo de fricción interno de la roca de techo (b) y el buzamiento del estrato; esto para hacer un estimado de relación de un coeficiente de relación K=1,12 debido al buzamiento de 55° del manto. De aquí hallamos la constante B de la forma:

$$B = B1 + m \tan \left(45 - \frac{b}{2} \right)$$

Por tanto, la presión será calculada bajo:

$$\sigma t = \frac{\gamma B}{K \tan(b)}$$

Las estimaciones hechas por Terzagui relacionan factores de seguridad no considerados por otras ecuaciones propuestas para esfuerzos en tajos largos, de allí parte la analogía de hundimientos controlados de acuerdo al esfuerzo máximo en el techo del tajo.

Tabla 19. Constantes de cálculo para presión minera según Terzagui.

σt Terzagui	B	B	k	B1
7,90276164	2,867374162	0,7	1,12	2

Fuente: Datos de estudio.

$$\sigma t = 7,90 \frac{ton}{m^2}$$

La presión resultante de techo está calculada para dejar un ancho de explotación de 4 calles de trabajo, de modo que pasadas las cuatro calles de sostenimiento se produzca el hundimiento y derrumbe del techo.

5.4 CÁLCULO Y DISEÑO DE ADEMES PARA EL TAJO

Para la estimación del sostenimiento se utilizará la teoría desarrollada por Cemal Biron y Ergin Arioglu-Design of Support in Mines del departamento de ingeniería de minas de la universidad técnica de Estambul para frentes largos; relacionando el esfuerzo generado en el techo del tajo.

5.4.1 Cálculo de tacos para el sostenimiento del techo inmediato.

Considerando las teorías por las cuales fue calculada la presión del techo inmediato, se tendrá en cuenta la presión de techo estimada según Terzagui, debido a que dentro del cálculo de la presión de techo se estima las componentes de los esfuerzos generados según la inclinación del tajo.

Respecto a esto formulamos los módulos de cálculo utilizados para estimar la densidad de tacos en el tajo así:

$$\lambda = \frac{4Ly}{dy}$$

$$\sigma_{sf} = 130 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = 0,098(dy^2)$$

$$w = f(\lambda)$$

$$M_{max} = 0,125 * Qt * Ly^2$$

$$R = 0,5 * Qt * Ly$$

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{W} \leq \sigma_{sf}$$

Donde:

λ = Relación de esbeltez.

σ_{sf} = esfuerzo a la flexión permisible (130 kg/m²) madera.

W= módulo de sección del taco en cm³.

w= factor de flambéo en función de la relación de esbeltez (relación de f).

M_{max}= momento máximo de flexión.

R= reacción de la carga en kilogramos.

σ_b = esfuerzo a la flexión sometido.

Ly: longitud del taco.

Db: diámetro del taco en centímetros.

a : separación entre tacos.

Para el cálculo de la separación de los tacos en el tajo se considera la siguiente ecuación según Terzagui:

$$a = \frac{db^3 * \sigma_{sf}}{L^2 * \sigma_t}$$

Ly: longitud del taco.

Db: diámetro del taco en centímetros.

a : separación entre tacos.

Para lo cual obtenemos:

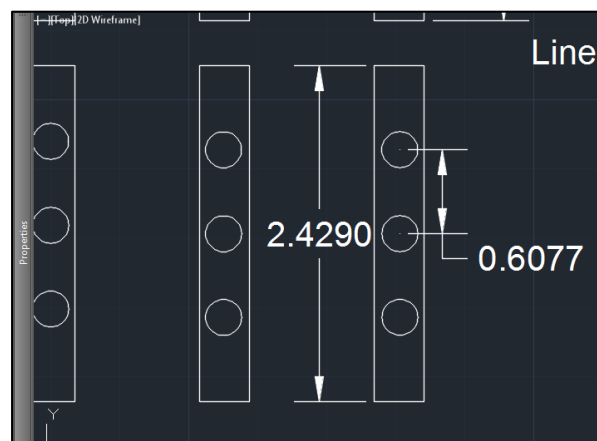
Tabla 20. Calculo de esfuerzo para tacos en el tajo.

Calculo de esfuerzo para tacos en el tajo. (4m. De cara libre en el tajo)	Ly m.	1
	Db m.	0,15
	σ_t Terzagui Ton/m ²	7,90276164
	Λ	26,66666667
	σ_{sf} kg/cm ²	1300
	W cm ³	330,75
	W	33,6
	Mmax	9878,45205
	a m.	0,6
	R	39513,8082
	σ_b Ton/m ²	29,866824
	f	1,26

Fuente: Datos de estudio

De acuerdo a esto obtenemos una separación promedio de 60 cm entre cada línea de tacos con un diámetro de 15 cm. Valores que deben considerarse dentro del planeamiento y ciclos de trabajo dentro del tajo.

Figura 26. Separación estimada para los tacos dentro del Tajo.



Fuente: Datos de estudio

5.4.2 Cálculo de densidad de canastas para limitar el derrumbe

Las canastas instaladas en un tajo cumplen una función enfocada a mantener su estructura el mayor tiempo posible. Debido a que la estructura y sus elementos se orientan de modo en que se sometan a esfuerzos de compresión y aplastamiento de su sección perpendicular al eje del elemento.

La densidad de canastas se calcula con el objetivo y fin de delimitar el derrumbe en el tajo y proteger las calles de trabajo abiertas en caso de que se dé un golpe de techo o un descenso exagerado del techo inmediato.

Como primer punto tenemos en cuenta la capacidad soportante al aplastamiento de cada canasta (R_a) mediante la relación:

$$R_a = 4 * \sigma_{sa} * A$$

Para la protección de los niveles debemos considerar que la presión minera será soportada por las canastas y tacos instalados a lo largo del tajo. por lo cual tenemos en cuenta la presión minera total generada, el esfuerzo de aplastamiento al cual será sometida cada canasta teniendo en cuenta la resistencia al aplastamiento $\sigma_{sa}=180 \text{ kg/cm}^2$.

$$\sigma_{tt} = \sigma_t * 1,3$$

$$\sigma_a = \frac{R_a}{A}$$

$$n^{\circ} \text{canastas} = \frac{\sigma_{tt}}{\sigma_a} + 1$$

$$S = \frac{L_{\text{frente}}}{n^{\circ} \text{canastas}}$$

Siendo S = separación entre canastas y σ_{tt} =esfuerzo total de techo; es prudente considerar que la carga de techo a soportar será solamente la carga de techo inmediato que se consideró con una altura promedio de 2-2,3 m. posteriormente se espera que a medida que se avancen las labores, el techo falle y se produzca el derrumbe controlado.

Tabla 21. Constantes de cálculo para canastas dentro del Tajo.

Calculo canastas para el tajo	σ_{tt} ton	10,27359014
	Ra ton	780
	Lb m.	1
	n.º canastas	6,268507762
	L frente	100
	S m.	15,95276002
	Ancho Exp m.	3
	Σa	1,95
	A	0,15
	σ_{sa} ton/m ²	1300
	Área a sostener	400

Fuente: Datos de estudio

A partir de estos cálculos implementaremos un factor de seguridad $f=2$ para la instalación de canastas a lo largo del tajo.

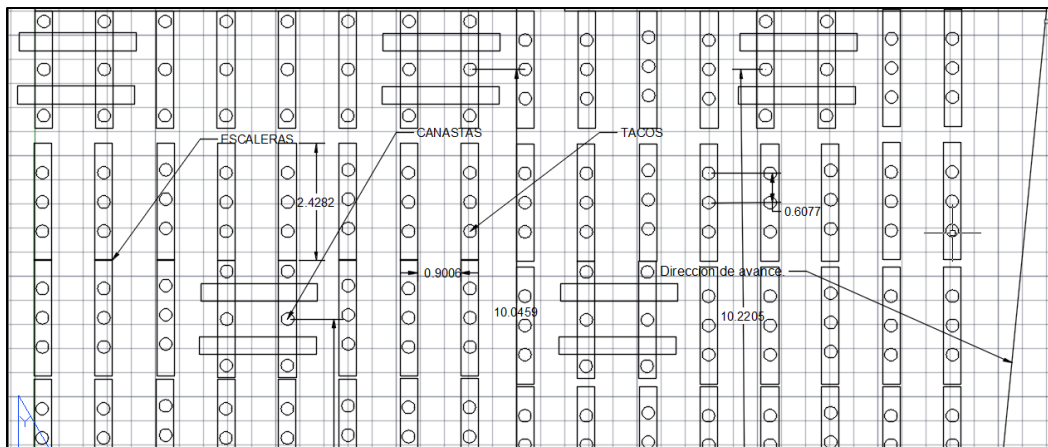
Tabla 22. Ajuste de seguridad para longitud de canastas.

Factor de seguridad=2		
n.º canastas	L frente	S
11	100	10

Fuente: Datos de estudio

La reacción de las canastas será de un total de 780 ton en promedio que soportarán la carga del techo inmediato limitando el derrumbe del mismo. De acuerdo al cálculo las canastas tendrán una separación $S=10$ m a lo largo del tajo, aunque la densidad de canastas podría variar de acuerdo a el análisis de esfuerzos longitudinal para centrar el reforcé en las zonas de sobre-presión inmediata del tajo.

Figura 27. Distribución de sostenimiento para el tajo.



Fuente: Datos de estudio

5.5 ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE ESFUERZOS DEL TAJO SOBRE EL NIVEL

A través del estudio realizado dentro de los límites del tajo teniendo en cuenta su comportamiento estático y geo-mecánico, se ha estimado la magnitud de los esfuerzos que produce la explotación en los bordes. Las curvas de esfuerzos mostradas serán la base en este punto para demostrar la incidencia sobre los niveles de la explotación.

Dentro de un análisis estático de esfuerzos sobre una excavación subterránea, encontramos ciertas líneas de contorno que nos representan la distribución de esfuerzos y tensiones alrededor de la excavación, de modo en que se llegue a un equilibrio tensional. Llegado el momento en que la excavación representa dentro de su estructura condiciones elástico-plásticas que nos representan deformaciones notables dentro de la excavación. Como es común y previendo el inconveniente del comportamiento alrededor de una excavación subterránea, instalamos estructuras de sostenimiento que suplan los esfuerzos de terreno generados evitando así el cierre de la sección que se ha abierto.

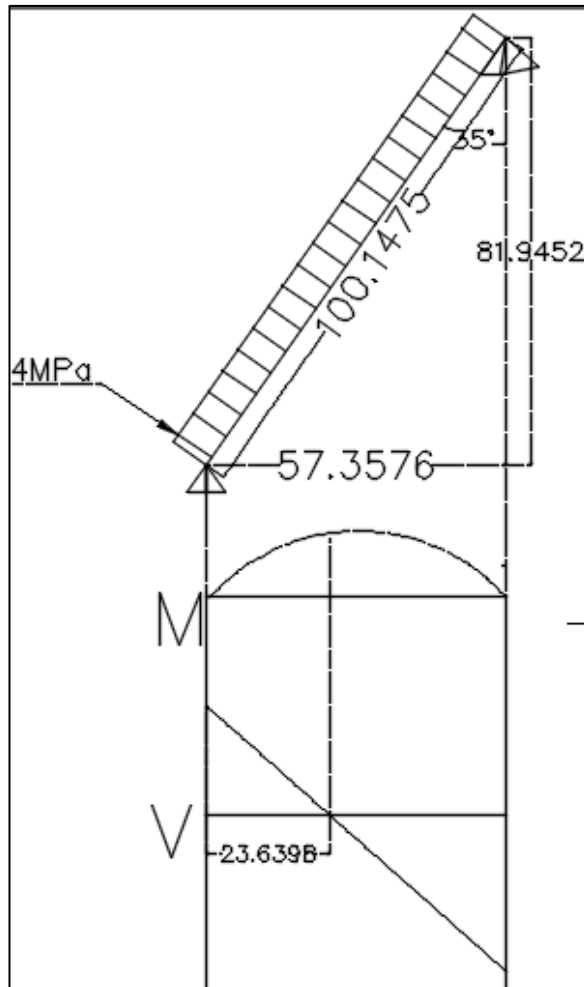
Generalmente siempre se tienen en cuenta las presiones del terreno ya mencionadas a causa de la apertura de la excavación, del mismo modo se estima su fortificación para presiones generadas de condiciones normales a las producidas y calculadas a través de las teorías de esfuerzos en un túnel que tan extensa y detalladamente se citan en varios artículos de geotecnia y mecánica estática de rocas relacionadas con la minería. Para este caso en particular se busca llegar a analizar el esfuerzo total producido en el límite del tajo con el nivel inferior 400 del manto Pedro.

5.5.1 Estimación de esfuerzos en la longitud del tajo

Para el análisis de distribución de cargas longitudinales en la sección de avance de un tajo, se realiza la estimación del esfuerzo litostático en donde consideramos las cargas litostáticas en los límites del tajo distribuidas en una viga de carga representada por el techo del tajo. Lo siguiente para la realización del análisis de distribución de cargas respecto a un apoyo y un área libre resultante del avance de los niveles y del avance de la explotación.

A partir de las proyecciones realizadas en el cálculo de cargas litostáticas, tomamos un perfil de proyección a superficie en donde se considera la presión litostática en el punto de la sobre-guía y la guía del tajo. Dando una diferencia en la vertical de 83 metros, con un resultado de esfuerzo efectivo de 4 Mpa sobre la sección inferior del tajo según el cálculo de esfuerzos efectivos. Dentro del análisis de viga realizado, se consideran tan solo los dos apoyos para demostrar el comportamiento estático del tajo. Ver figura 28.

Figura 28. Diagrama de momento y cortante del tajo considerado como una viga.



Fuente: Datos de estudio

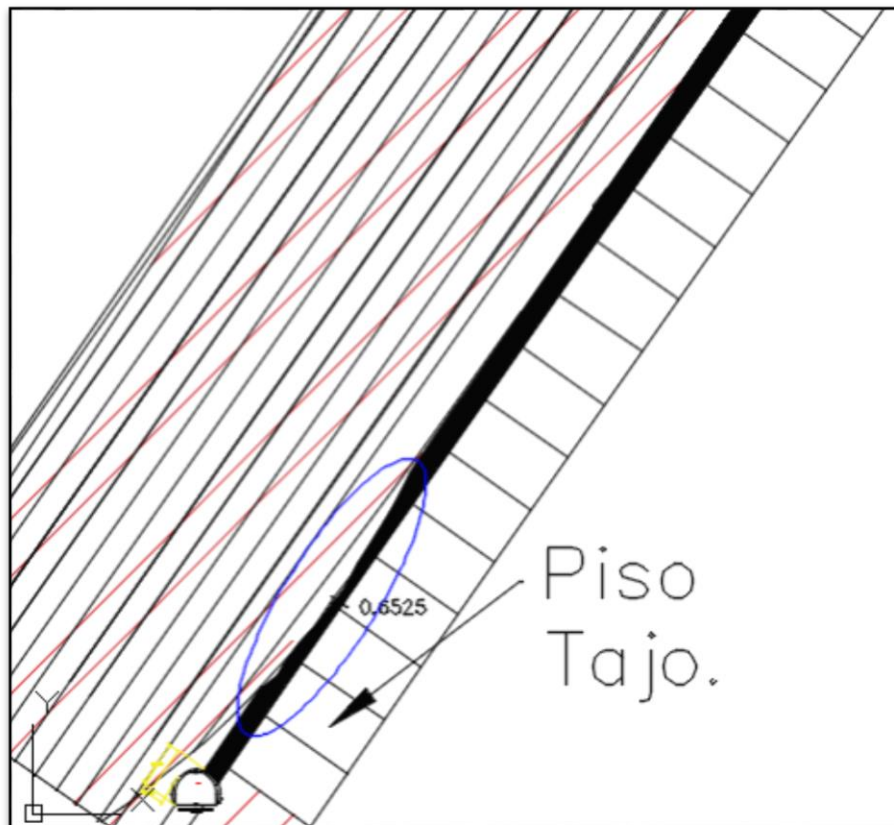
Dentro de esta ilustración se simula el comportamiento mecánico del tajo, en donde se tiene en cuenta la manera en que las cargas son distribuidas uniformemente a lo largo del tajo; las reacciones creadas por las canastas y los tacos a lo largo del tajo que sostienen el techo inmediato no son consideradas debido a que consideramos que el techo inmediato debe caer luego de la explotación para el asentamiento del estrato superior.

Para la estimación de la carga máxima en el límite del tajo se han calculado reacciones de los apoyos (inferior y superior) para la carga de techo inmediato con una reacción de carga para el límite inferior $R_a=483$ ton considerando que se provoca el derrumbe del techo inmediato y superior, en caso contrario la reacción producida podría llegar a tener valores cercanos a los 80 Mpa como se demostró anteriormente. También se tiene en cuenta que el esfuerzo acumulado debido a la explotación puede aumentar exponencialmente considerando una carga litostática hasta superficie; para dicho caso se hicieron los cálculos en relación a los esfuerzos litostáticos en donde la reacción máxima podría alcanzar los 354.22 Mpa. Teniendo en cuenta que este es un valor máximo de carga hasta superficie sobre los bordes de la excavación, esta presión no es considerada incidente directamente sobre el nivel debido a la

redistribución de cargas que transmiten el esfuerzo al piso del tajo y consecuentemente al derrumbe producido dentro del tajo.

Dentro del análisis del tajo se analizó la forma como los esfuerzos producen el asentamiento del techo. En la ilustración la zona marcada con color azul representa la zona de mayor convergencia en el tajo según los datos tomados. Por lo cual se debe estimar el máximo esfuerzo generado cerca al nivel inferior del tajo.

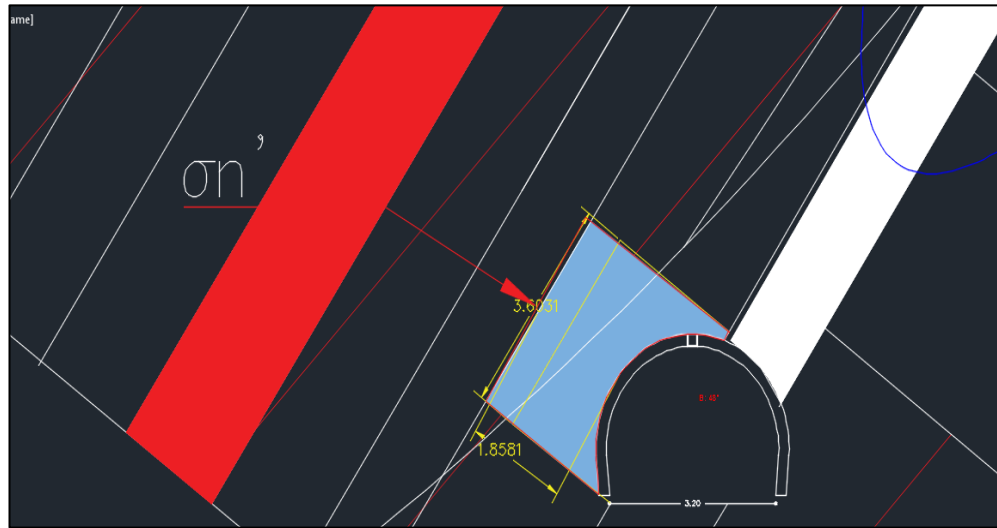
Figura 29. Corte longitudinal del tajo.



Fuente: Datos de estudio

Sobre la sección de techo del sostenimiento se encuentran relacionados los estratos y su orientación respecto a la ubicación del sostenimiento; el estrato relacionado en rojo nos representa el respaldo más competente encontrado en la estratificación (Arenisca), esto de acuerdo a los datos tomados de los respaldos del manto.

Figura 30. Sección de carga inmediata del sostenimiento.

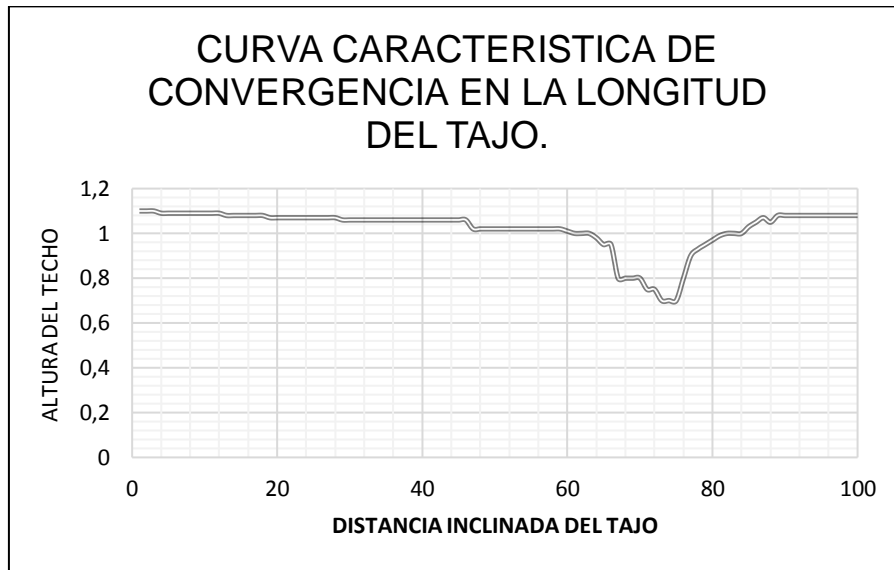


Fuente: Datos de estudio

La finalidad del modelamiento de la sección del estrato se basa en promediar el esfuerzo final sobre esta sección de techo teniendo en cuenta la zona de influencia.

El cálculo realizado ha sido contrarrestado con los datos de asentamiento longitudinal del tajo para determinar la distancia del punto de falla y momento flector máximo del techo inmediato del tajo, que mostrado en una curva característica ubica el asentamiento máximo a una distancia promedio del nivel inferior de 20 a 25 m en dirección del nivel 300 a 400 la curva de asentamiento muestra el descenso del techo en la longitud del tajo para la relación de los esfuerzos máximos.

Figura 31. Curva de asentamiento en la Longitud del Tajo.



Fuente: Datos de estudio

De acuerdo a esto la reacción de los apoyos en los niveles crecerá o disminuirá según la disposición de los apoyos dentro del tajo y si se produce o no el derrumbe, la distribución de presiones se dará alrededor de los límites de la explotación hasta encontrar una zona límite de equilibrio. Dicha zona de equilibrio serían los estratos sin alterar alrededor del túnel.

Resistencia de un pilar de carbón.

Otro punto clave a considerar dentro de los esfuerzos en el límite del tajo está en analizar la resistencia de un machón de protección llevado en carbón, para lo cual consideraremos su resistencia bajo los esfuerzos generados en el tajo. Bieniawski en 1992 2 estipulo su teoría para pilares en carbón en la cual dio alternativas para determinar su resistencia siguiendo la fórmula:

$$\sigma_p = \sigma_1 \left[0.64 + 0.54 \left(\frac{w}{h} \right) - 0.18 \left(\frac{w^2}{Lh} \right) \right]$$

Donde:

σ_p : resistencia del pilar.

σ_1 : resistencia a la compresión simple del material.

w : ancho menor del pilar.

h : altura del pilar.

L : longitud del pilar.

2 Bieniawski 1984. rock mechanics design in mining and tunneling. Rotterdam: AA. Balkeman.

Tabla 23. Resistencia de un pilar de Carbón.

Resistencia de un pilar de Carbón.				
σ_p Mpa	σ_1 Mpa	w m.	h m.	L m.
32,7895273	11,62	5	1,1	15

Fuente: Datos de estudio

La resistencia promedio del diseño del pilar será de 32,78 Mpa para unas dimensiones de 15*5 m. para el machón de carbón que se propone dejar como protección del nivel. De acuerdo a estos resultados de resistencia se podría decir que el machón podría comportarse de manera adecuada de acuerdo a los límites de esfuerzos que varían desde 4-80 Mpa. Según como se produzca el derrumbe del tajo y la carga que se distribuya en el sostenimiento dentro del tajo.

6. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN PHASE 2 V8.0

La finalidad del modelamiento de la explotación en general está en determinar de acuerdo a la estratigrafía y su comportamiento Geo-mecánico un esquema general de la mina y la influencia de la explotación en el macizo rocoso. A partir de los esfuerzos generados y el modelamiento se determinará localmente que estratos se alteraran y definiendo su zona plástica y elástica se podrá estimar la carga portante que se tendrá que soportar el sostenimiento.

6.1 DEFINICIÓN Y EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA.

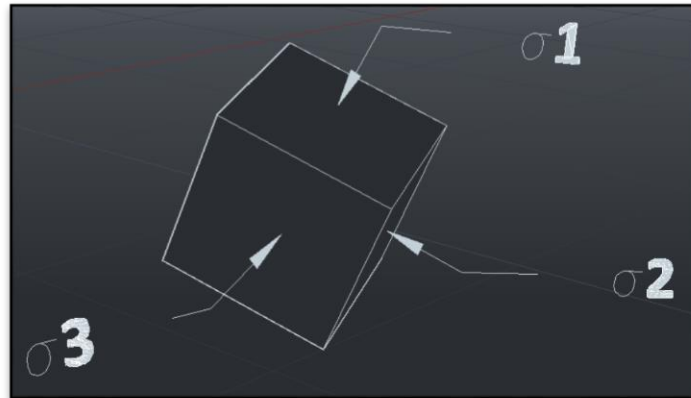
Phase 2 V8.0 es un programa creado por Rockscience para estimación y distribución de esfuerzos alrededor de excavaciones subterráneas aisladas. Dentro de sus parámetros de uso permite definir una zona de análisis incluyendo datos estratigráficos y geológicos que converjan en la zona.

Por otra parte, las propiedades que se le asignen a cada estrato tendrán en cuenta datos de ensayos geo-mecánicos que permitan modelar su comportamiento y deformación y se determinan en la ventana de ayuda (Define Material Properties).

El programa también permite ajustar parámetros de elasticidad y plasticidad que permitan determinar dentro de sus cálculos y modelamiento valores de σ_1 , σ_3 , σ_z , datos de Desplazamiento y cálculos Von mises; este Último un parámetro de calculo que permite analizar la Energía concentrada en un punto específico del material con el fin de determinar las zonas de sobre presión o Tensión Critica. Aunque el Objetivo es determinar el diseño y separación del sostenimiento para el manto Piedro, se hace el modelamiento de labores desarrolladas a través delmanto Bolas y Piedro para considerar el cambio de orientación de las labores de preparación para la explotación del manto Bolas y Piedro.

6.2 DEFINICIÓN DE LOS ESFUERZOS GENERADOS ALREDEDOR DE LAS PAREDES DEL TÚNEL

Figura 32. Puntos de esfuerzo efectivo.



Fuente: Datos de estudio.

Los análisis que se realizan para cada uno de los modelos infieren en el comportamiento que tendrá el estrato bajo la influencia de cada uno de ellos. Para el caso de los esfuerzos principales (σ_1 , $\sigma_2 = \sigma_z$, σ_3).

Sigma 1.

Representa los contornos del estrés principal en el plano, aunque en ocasiones el Sigma 1 puede no ser el estrés principal, como en los casos en que Sigma 3 sea mayor que Sigma 1; para la mayoría de nuestros modelos se podrá presentar esta condición de esfuerzos debido a la orientación de los estratos dentro del modelamiento.

Sigma 3.

Representará los contornos del esfuerzo principal menor en el plano, de igual manera se podrán dar condiciones en que Sigma 3 no sea el esfuerzo principal menor, aunque debido a los esfuerzos modelados no se da esta condición de distribución de esfuerzos y Sigma 3 continúa siendo el esfuerzo principal menor para nuestros modelos.

Sigma Z

Representa los contornos del esfuerzo principal fuera del plano, para los modelos que se mostraran a continuación los valores de Sigma Z representaran el contorno del esfuerzo principal tridimensional mayor, ya que representa las condiciones de esfuerzos generales que se presentan en el modelo; convirtiendo a Sigma 1 el esfuerzo principal intermedio.

Von mises stress

La tensión Von mises es un escalar de cálculo que muestra la energía de deformación de un material basándose en sus tensiones principales. Esta

teoría se propone a partir de que la energía necesaria para deformar un material (energía de distorsión), y el trabajo invertido en comprimir o dilatar un cuerpo manteniendo constante su energía constante Volumétrica. Dicha relación está calculada dadas las condicionales de:

$$\sigma v \mathcal{M} = \sqrt{3J}$$

Donde J es dado por:

$$J = \frac{1}{6} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

El software entonces modelara la energía de deformación de las paredes de los túneles dadas las condiciones de cálculo expuestas anteriormente y deduciremos más exactamente la relación de los esfuerzos Principales actuando alrededor de la excavación.

Dentro de estas propiedades de los estratos debemos considerar para el modelamiento los esfuerzos litostáticos, los cuales son considerados dentro del software para el análisis de resultados. Los datos de carga considerados se ingresaron de la siguiente manera:

Figura 33. Propiedades del esfuerzo Litostático para el Modelamiento.

Field Stress Type:	Value
Field Stress Type:	Constant
Sigma 1 (MPa, Comp. +):	3.0607506!
Sigma 3 (MPa, Comp. +):	-2.7092875
Sigma Z (MPa, Comp. +):	6.1247960!
Angle (degrees from horizontal, CCW):	-55
Locked-in horizontal stress (in plane) (MPa, Comp. +):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane) (MPa, Comp. +):	0






Fuente: Software Phase

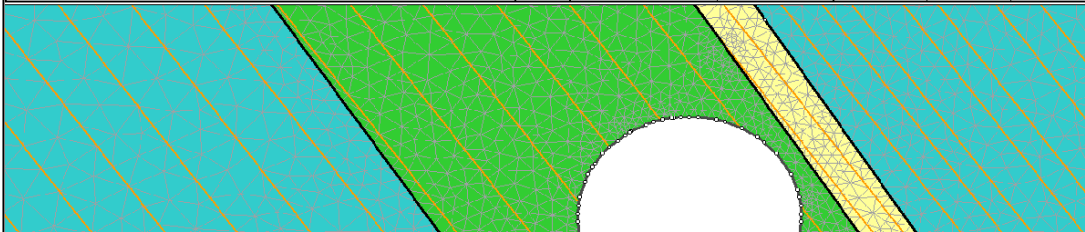
Los esfuerzos gravitacionales fueron considerados desde el punto de recubrimiento litostático con una profundidad media de la excavación de 365 m. desde superficie considerando los esfuerzos litostáticos calculados dentro de la caracterización del manto. Dentro de algunos modelos se consideró aplicar la carga de esfuerzos litostáticos tradicional de acuerdo a la función de carga propuesta por Hoek and Brown calculados anteriormente dentro de la caracterización Geo-mecánica (Ver cálculo de esfuerzos Litostaticos).

6.3 PROPIEDADES DE LA ROCA DE PISO Y TECHO DEL MANTO BOLAS

Para el modelamiento de esfuerzos alrededor de la excavación hemos caracterizado anteriormente petrográficamente los materiales con el fin de identificar el tipo de roca y algunas de sus propiedades geo-mecánicas. En este punto utilizaremos los datos obtenidos de laboratorio de modo que nos permita definir mecánicamente el comportamiento de los respaldos del manto Bolas

Figura 34. Propiedades para los respaldos del manto Bolas-Phase 2- Modelamiento de estratos.

Material Name	Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m ³)	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
lutita con laminas de arcillolita y arenisca parda oscura		Field Stress and Body Force	0.02158	Isotropic	21582	0.3
arenisca con intercalacion de limolitas		Field Stress and Body Force	0.02595	Isotropic	8184	0.24
arcillolita shale gris oscuro		Field Stress and Body Force	0.02497	Isotropic	5437.63	0.22
arenisca de grano muy fino		Field Stress and Body Force	0.02458	Isotropic	11413	0.24
carbon		Field Stress and Body Force	0.0124	Isotropic	5000	0.21



Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (peak) (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Cohesion (residual) (MPa)	Piezo Line	Ru
Mohr Coulomb	Plastic	0.203393	0	32.2766	32.2766	0.93854	0.93854	None	0
Mohr Coulomb	Elastic	0.0320634		20.6115		0.499515		None	0
Mohr Coulomb	Plastic	0.0201799	0	17.9039	17.9039	0.405022	0.405022	None	0
Mohr Coulomb	Plastic	0.0214491	0	18.2634	18.2634	0.415764	0.415764	None	0
Mohr Coulomb	Elastic	0.548466		33.3154		1.30155		None	0

Fuente Phase 2 V.8

6.4 MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PARA EL MANTO BOLAS

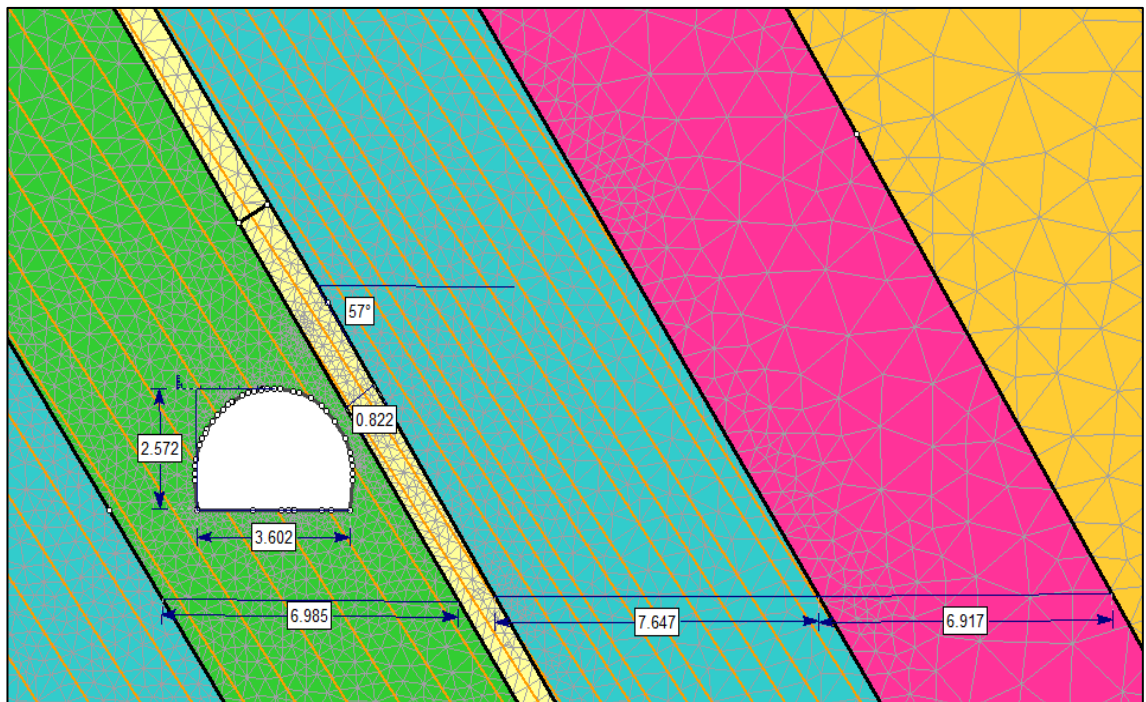
Una vez introducidos los valores en el programa Phase 2 de manera que simule un comportamiento mecánico para cada uno de los tipos de rocas de respaldo de los mantos, se procede a hacer un análisis que modele el estado de esfuerzos tensionales alrededor de la excavación.

Para este modelamiento se han tenido en cuenta tres posibles modelos de orientación del túnel para la explotación de los mantos. Dentro de los modelos se considera adelantar las labores de preparación por el Piso del manto, Rumbo del manto y Techo del manto. Cada una de las tres posibles orientaciones trae consigo un análisis computacional que muestra los desplazamientos laterales y esfuerzos confinantes alrededor de la excavación para su posterior análisis y conclusión.

6.4.1 Modelamiento de esfuerzos Para el estrato de Piso del manto Bolas

De acuerdo a los modelos que se quieren tener en cuenta para la orientación del túnel modelaremos en esta sección, el túnel bajo sus dimensiones reales para la realización de las labores de explotación guiadas sobre el respaldo de piso del manto Bolas.

Figura 35. Modelo Túnel Manto Bolas Piso.



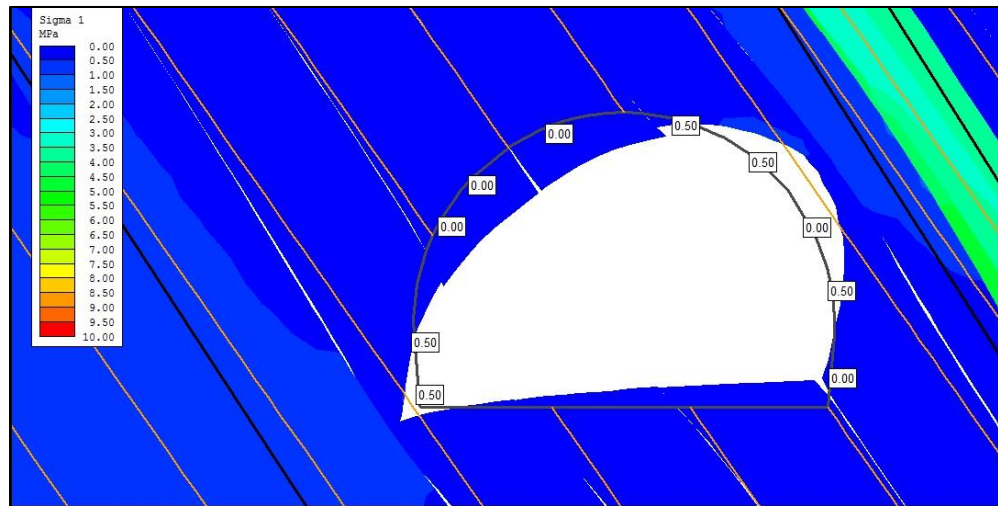
Fuente Phase 2 V.8

6.5 MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PRESENTES SOBRE EL TUNEL PROYECTADO SOBRE EL PISO DEL MANTO BOLAS.

Dentro de los siguientes modelos se analizarán las deformaciones a las cuales tendrá lugar la excavación y sus valores de esfuerzo presentes en cada uno de los puntos de la excavación; a partir de esto se encuentran datos que son de relevancia significativa, dado que para el momento de determinar las zonas

de esfuerzo crítico y el tipo de esfuerzo podremos analizar si al realizar las labores de explotación guiadas por este respaldo se tendrá el menor número de esfuerzos que alteren la excavación y deformen su sección.

Figura 36. Túnel Manto Bolas Piso (σ_1).



Fuente Phase 2 V.8

Dentro de este sigma 1 se puede apreciar que no hay zonas de sobre presión de acuerdo a los contornos de color azul con esfuerzos casi nulos, aunque si se observan deformaciones de techo dadas las condiciones de orientación de los estratos.

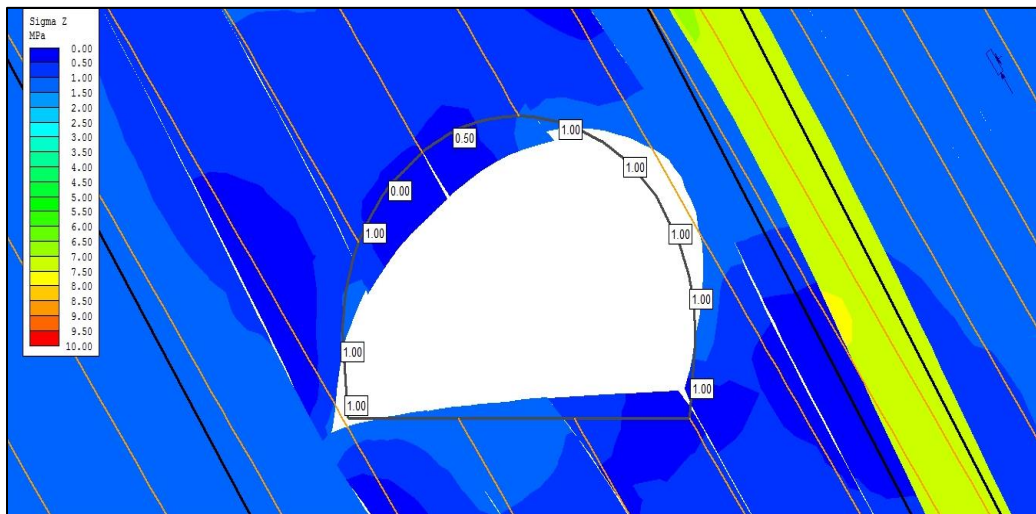
Figura 37. Túnel Manto Bolas Piso (σ_3).



Fuente: Phase 2 V.8

Dentro del esfuerzo principal menos podemos observar una distribución de carga uniforme en la parte superior de la excavación con esfuerzos negativos, para la parte inferior derecha de la excavación se observa una zona neutra donde no se presentan esfuerzos sobre la excavación.

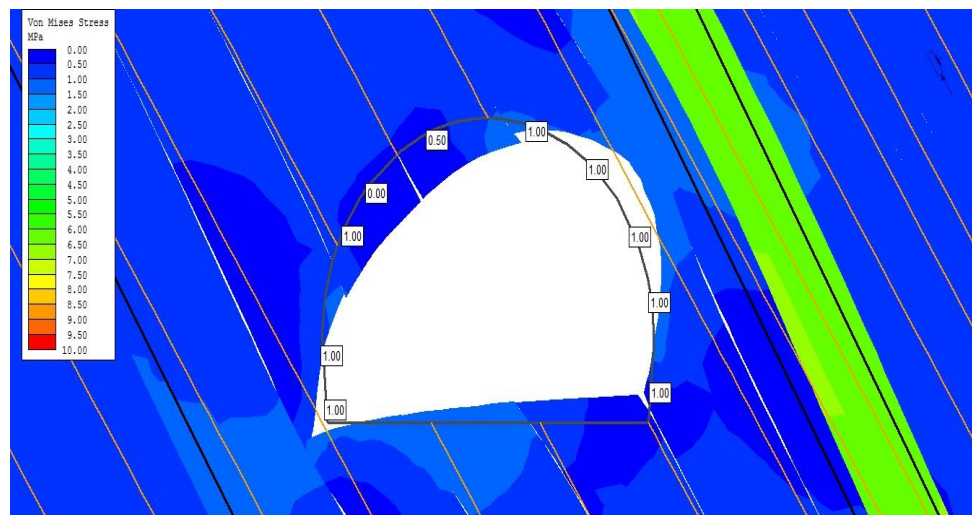
Figura 38. Túnel Manto Bolas Piso (σ_Z).



Fuente Phase 2 V.8 Datos de estudio

Dada la condición de orientación de los estratos y como se ha explicado anteriormente la distribución de cargas se da mediante un modelo de cálculo matemático (ver cálculo de esfuerzos litostáticos) en donde se puede observar el tipo de deformación que tendrá el túnel y su esfuerzo de contorno principal mayor. Al igual que en los demás modelos que se muestran se presentan zonas de acumulación de esfuerzos que nos permiten determinar cuáles son las zonas que más acumula esfuerzos en el momento de la redistribución de cargas.

Figura 39. Tunel Manto Bolas Piso Von mises stress.

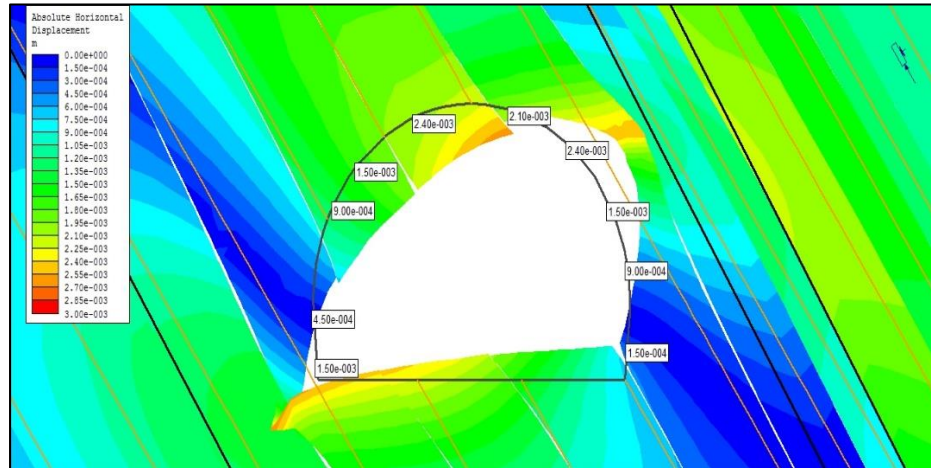


Fuente Phase 2 V.8 Datos de estudio.

Una vez explicado el papel que juega la energía Von Mises tenemos dentro de este modelo, un valor máximo de 1 Mpa responsable de dilatar y comprimir las paredes del túnel. Este valor es la energía de carga que está actuando sobre

las paredes del túnel relacionando las demás energías para determinar la incidencia de los esfuerzos sobre la excavación.

Figura 40. Túnel manto Bolas Piso - Desplazamiento Horizontal absoluto.

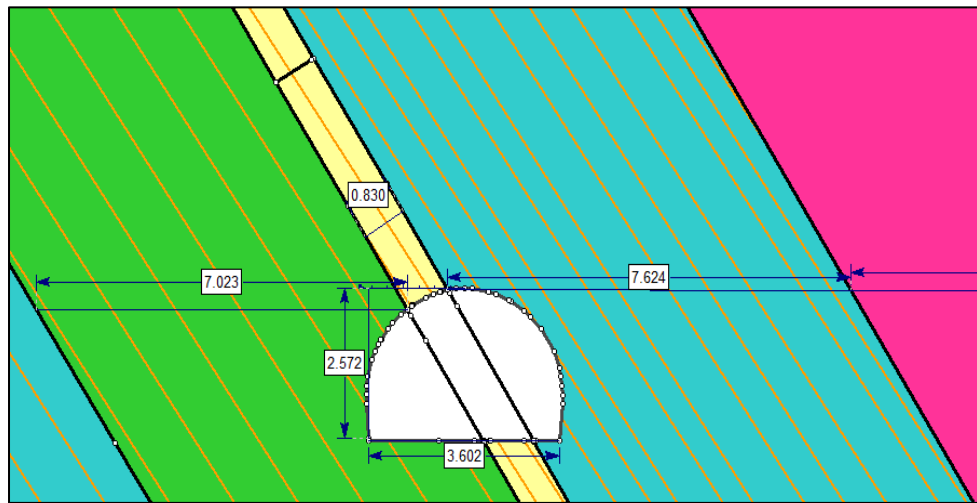


Fuente Phase 2 V.8

El modelo de deformación vertical horizontal se ha realizado para el modelamiento de la distancia total en que los estratos pueden sufrir un desplazamiento entre contactos dadas las condiciones de esfuerzos que se presenten en su entorno. Este modelo en particular nos muestra un desplazamiento máximo de 0.4 m. y al igual que en los demás modelos define las líneas de contorno con mayor tendencia al desplazamiento.

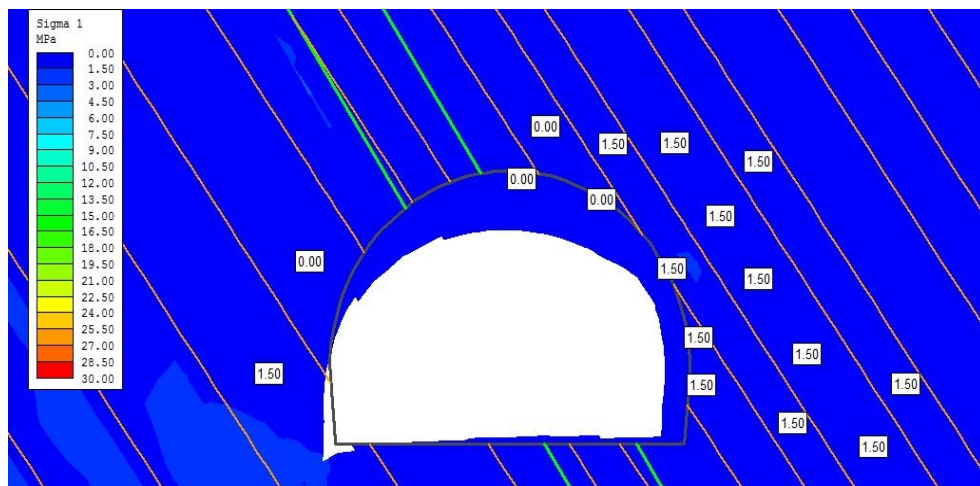
6.5.1 Modelamiento de esfuerzos Para el túnel proyectado por el manto bolas. Dentro de este modelo se busca realizar la estimación de esfuerzos sobre las paredes del túnel realizado a través del rumbo del manto bolas en donde se adelantaron labores para la el descargue de material del manto Bolas y Manto Piedro Norte.

Figura 41. Modelo Túnel Manto Bolas



Fuente. Phase 2 V.8.

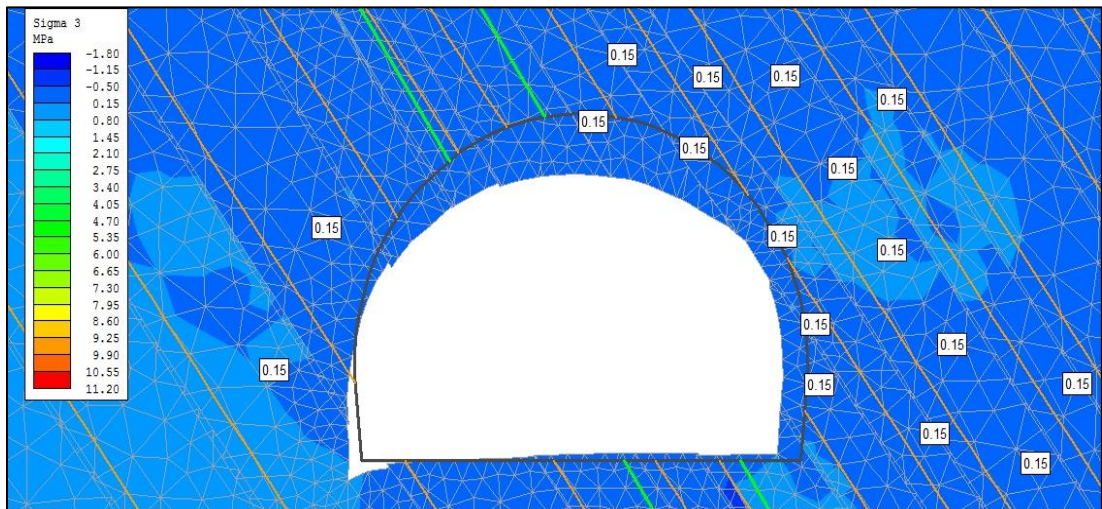
Figura 42. Túnel Manto Bolas (σ_1).



Fuente. Phase 2 V.8.

Dado que este tunel es llevado sobre el rumbo del manto bolas presenta condiciones de deformación laterales y de techo notables con valores de esfuerzo principal medio (σ_1) de 1,5 Mpa haciendo notable que estas condiciones tienden a darse en el techo y pared lateral derecha. Condiciones que se tendran en cuenta en la determinación de las labores de explotacion de los mantos a proyectar.

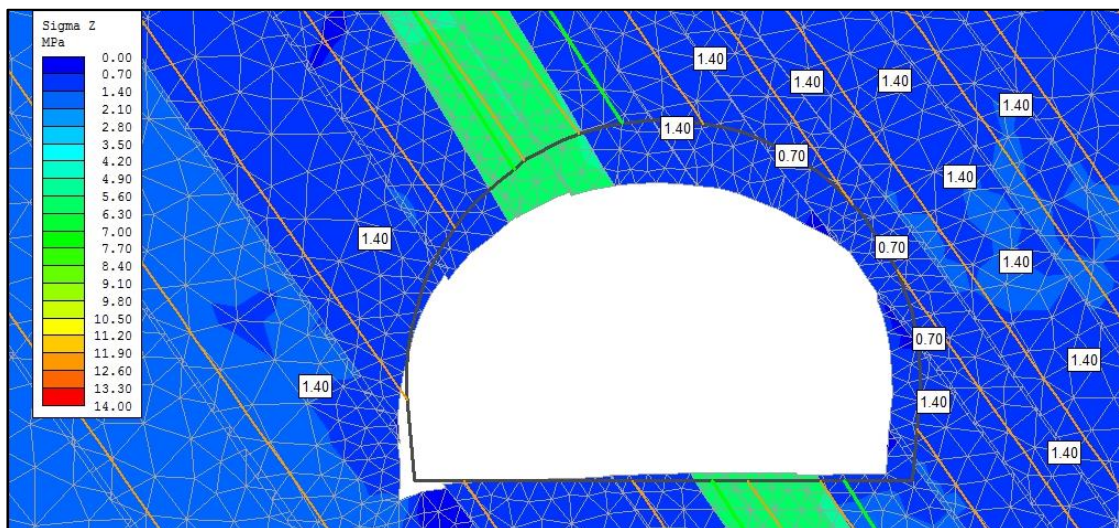
Figura 43. Túnel Manto Bolas (σ_3).



Fuente. Phase 2 V.8.

Este modelo representa los esfuerzos principales menores que se dan dentro de las paredes de la excavación, por lo cual es fundamental establecer que este esfuerzo no representa zonas de sobre-presión considerables.

Figura 44. Túnel Manto Bolas (σ_Z).

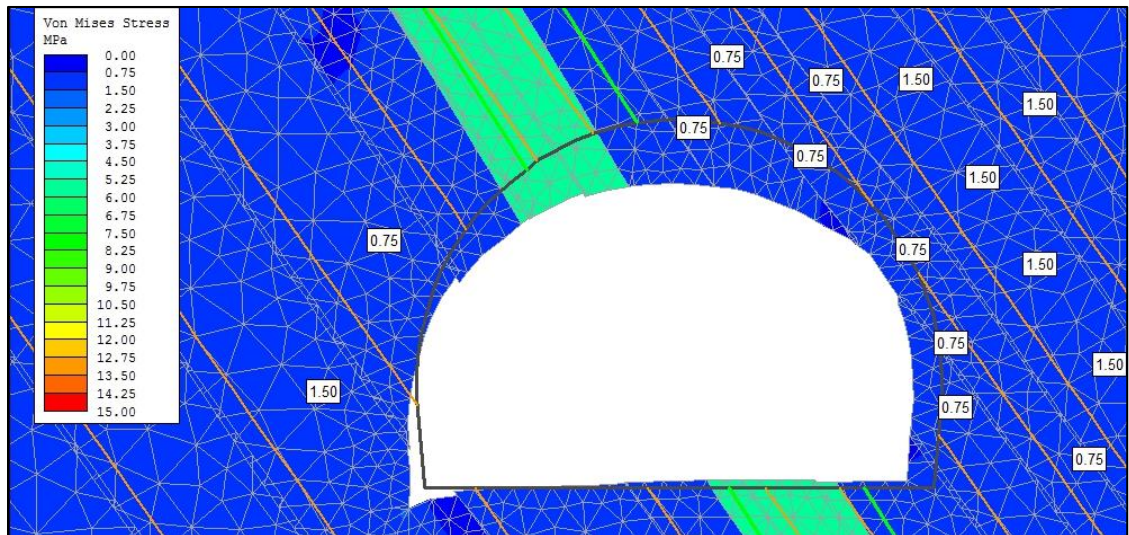


Fuente. Phase 2 V.8.

Los contornos de esfuerzo principal mayor que se muestran sobre el modelo permiten observar los valores máximos del esfuerzo principal mayor (Sigma Z) con valores máximos de 1,4 Mpa. Aunque este valor es mayor que en los demás modelamientos, el esfuerzo que se muestra aquí es el esfuerzo que

aplica la carga vertical inmediata sobre el sostenimiento o area libre del tunel. Por lo cual es de vital importancia determinar bajo que modelo de orientacion del tunel es mejor trabajar para evitar la sobre-carga en el sostenimiento.

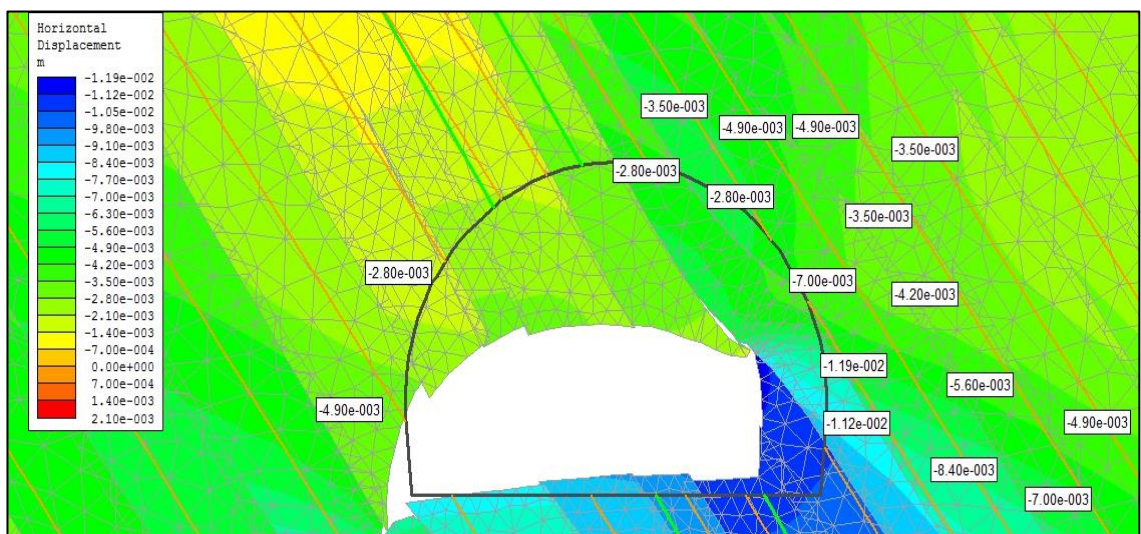
Figura 45. Túnel Manto Bolas Von mises stress.



Fuente. Phase 2 V.8

La energia deformacional se ha establecido con valores de 0,75 Mpa para este modelo, aunque el modelo no muestra zonas de cotencion de energia interna, nos da un avistamiento de que las condiciones de la roca no permite acumulacion de energia que permita resistir los esfuerzos generados a partir de la excavacion.

Figura 46. Túnel manto Bolas - Desplazamiento Horizontal absoluto.



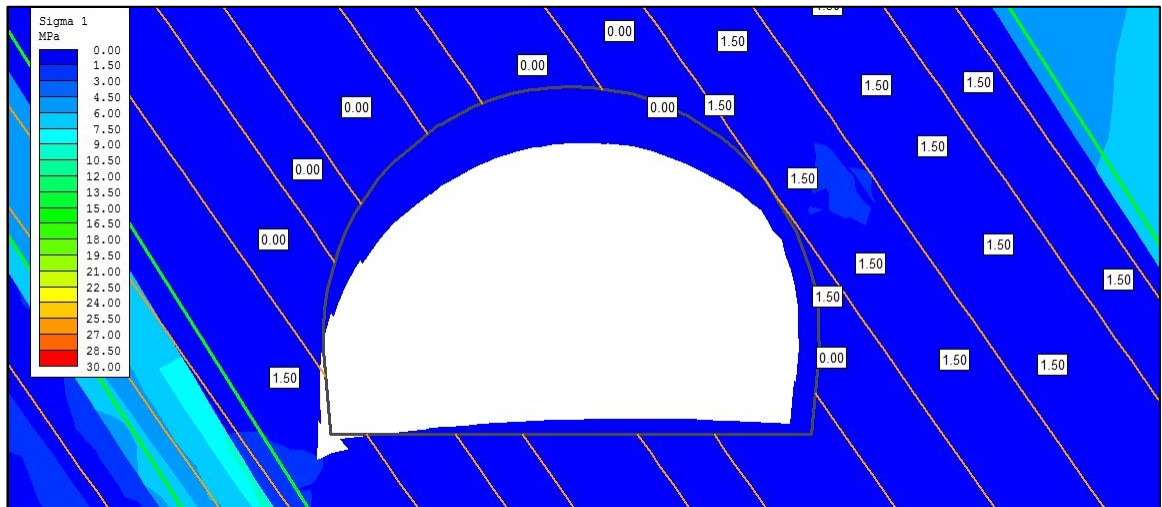
Fuente. Phase 2 V.8

Dentro del análisis del desplazamiento vertical se puede observar la condición de deformación abrupta que muestra esta sección del túnel por lo cual se analizan las condiciones del material dentro del modelo como un terreno inestable con múltiples zonas de deformación alrededor de la excavación lo cual muestra una condición desfavorable en el momento de realizar una excavación a través del rumbo del manto.

6.5.2 Modelamiento de esfuerzos para la proyección del Túnel por el techo del manto Bolas.

Considerando todos los posibles modelos analizamos en esta sección el comportamiento del túnel en caso de ser llevado a través del respaldo superior del manto Bolas. Cabe anotar que para este modelamiento se quiso tener en cuenta el fuerte bandeamiento que presenta el respaldo superior del manto Bolas, aunque el modelo matemático no lo considera de esta manera, sino como un estrato de características petrográficas competentes por lo cual para este caso debemos tener en cuenta para el análisis que las presiones generadas sobre las paredes del túnel se deben incrementar alrededor de un 30% de manera que la estimación de esfuerzos en el análisis se estime bajo unas condiciones reales debido a las características de bandeamiento nombradas anteriormente.

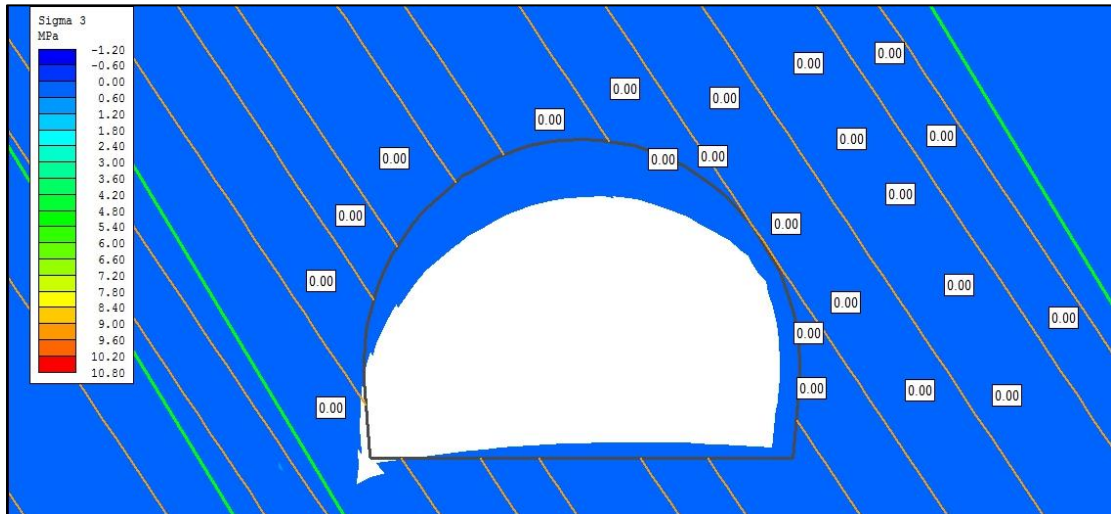
Figura 47. Túnel manto Bolas Techo (σ_1).



Fuente. Phase 2 V.8.

Para el esfuerzo principal medio (σ_1) obtenemos entonces una condición en la cual sus esfuerzos no son de magnitud considerable además de también tener la tendencia de distribirse con una mayor incidencia de acumulación en la parte lateral derecha de la excavación, la cual colinda con el estrato de techo del manto Bolas.

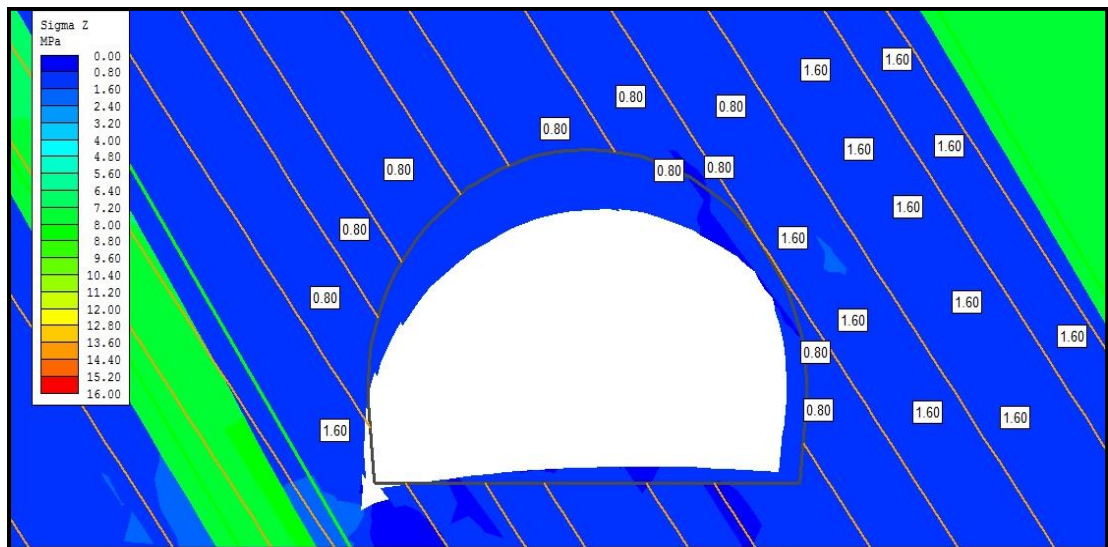
Figura 48. Túnel Manto Bolas Techo (σ_3).



Fuente. Phase 2 V.8.

Este modelo se muestra bajo condiciones de esfuerzo principal menor nulos por lo cual no se encuentran condiciones considerables de esfuerzos que recalcar.

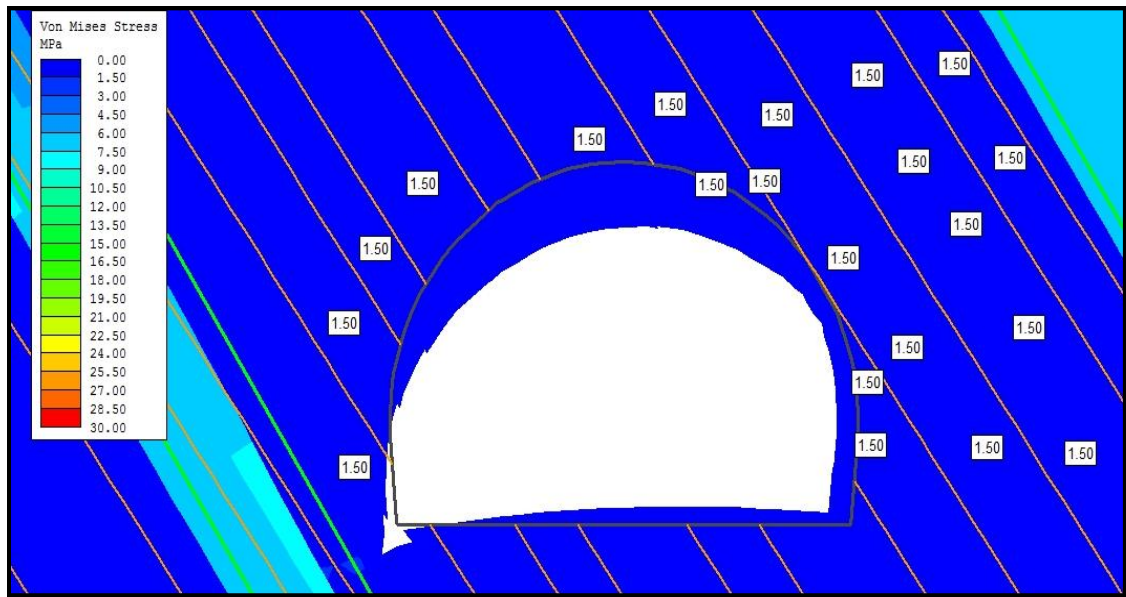
Figura 49. Túnel Manto Bolas Techo (σ_Z).



Fuente. Phase 2 V.8.

Como se ha dicho el esfuerzo principal mayor esta modelado bajo condiciones del esfuerzo Sigma 3 con valores maximos de deformacion de 0,8 Mpa. Una vez establecidos los parametros de analisis vemos que el esfuerzo mayor es de magnitudes medianamente bajas aunque aun se deben tener en cuenta que los esfuerzos de deformacion en el techo son de volúmenes mucho mayores que el de los otros modelos.

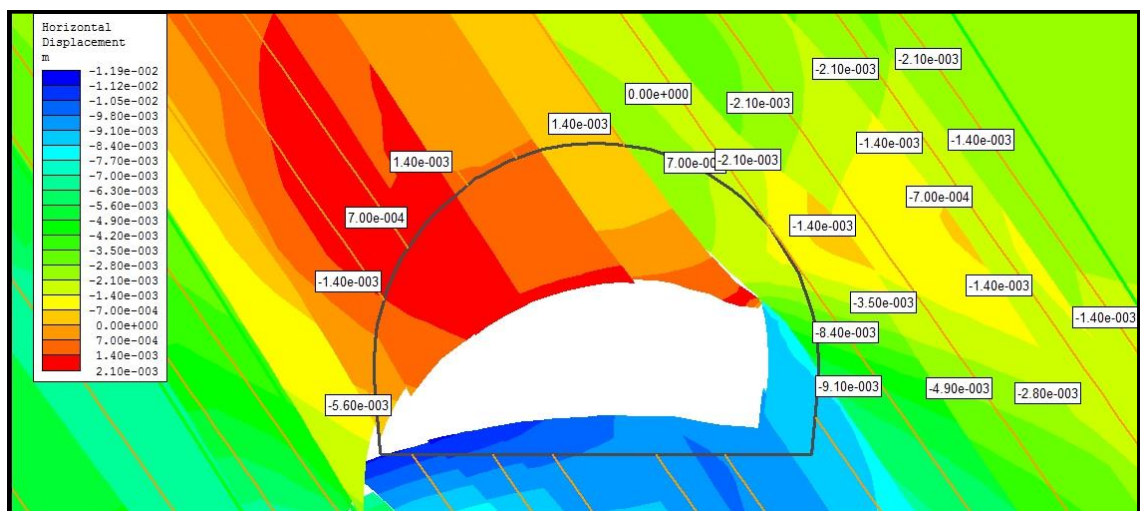
Figura 50. Túnel Manto Bolas Techo – Von mises stress.



Fuente. Phase 2 V.8.

Como se dijo en el analisis anterior de esta seccion del tunel tiene una energia acumulada maxima de 1,5 Mpa aproximadamente por lo cual es de resaltar que la deformacion en este modelo tiende a ser inestable en toda la seccion ya que la relacion de los esfuerzos generados por la excavacion muestran una acumulacion de energia considerablemente alta.

Figura 51. Túnel Manto Bolas Techo – Desplazamiento Horizontal Absoluto.



Fuente. Phase 2 V.8.






Este modelo muestra un altisimo nivel de deformacion en las paredes del tunel por lo cual es fundamental aclarar que los desplazamientos entre contactos

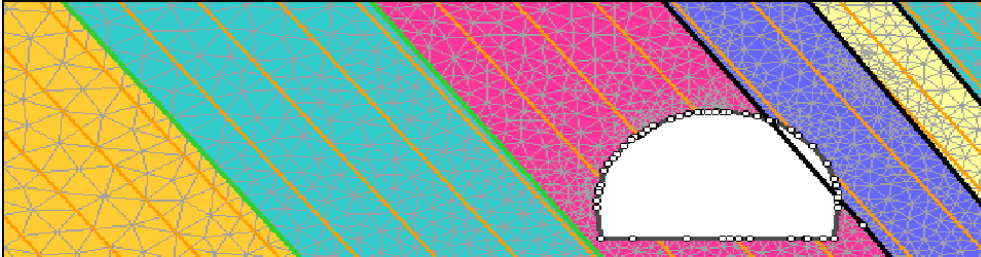
vána ser inminentes según se muestra en el modelo de desplazamientos horizontales.

6.6 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL MANTO PIEDRO

Para el modelamiento del tunel diseñado a través del manto piedro se han realizado de igual manera ensayos de laboratorio que permitieron determinar sus propiedades Mecanicas de manera que se detalle con sus respectivos limites el modelamiento de los respaldos del manto y los esfuerzos generados en las paredes del tunel.

Figura 52. Propiedades de los materiales para el manto Piedro.

Material Name	Color	Initial Element Loading	Elastic Type	Young's Modulus (MPa)
lutita con laminas de arcillolita y arenisca parda oscura		Field Stress Only	Isotropic	21582
arenisca con intercalacion de limolitas		Field Stress Only	Isotropic	8184
arcillolita shale gris oscuro		Field Stress Only	Isotropic	7453.63
arenisca de grano muy fino		Field Stress Only	Isotropic	9186.29
carbon		Field Stress Only	Isotropic	5000



Failure Criterion	Material Type	Tensile Strength (MPa)	Dilation Angle (deg)	Friction Angle (peak) (deg)	Friction Angle (residual) (deg)	Cohesion (peak) (MPa)	Cohesion (residual) (MPa)	Piezo Line	Ru
Mohr Coulomb	Plastic	0.203393	0	32.2766	32.2766	0.93854	0.93854	None	0
Mohr Coulomb	Elastic	0.0320634		20.6115		0.499515		None	0
Mohr Coulomb	Plastic	0.0211017	0	18.0474	18.0474	0.417655	0.417655	None	0
Mohr Coulomb	Plastic	0.0128989	0	15.2975	15.2975	0.337661	0.337661	None	0
Mohr Coulomb	Elastic	0.548466		33.3154		1.30155		None	0

Fuente. Phase 2 V.8.

6.7 MODELAMIENTO DE ESFUERZOS PARA EL MANTO PIEDRO

Dentro de este modelo de igual manera que en el anterior se tendran en cuenta los datos dados para cada material de manera que el modelamiento de esfuerzos actuando sobre cada material nos muestre de manera precisa los

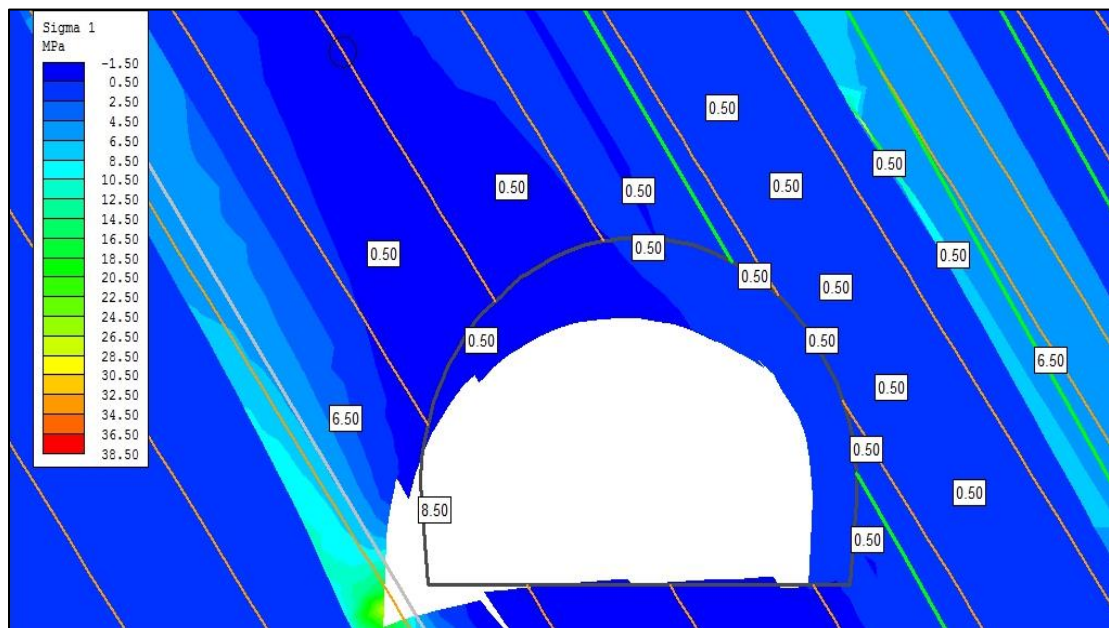
contornos de deformación y la magnitud del esfuerzo residual que actúa sobre las paredes de los Túneles.

De igual manera se tendrá en cuenta que los modelamientos para la consideración de la orientación de los túneles se concentrará bajo tres modelos de orientación como se hizo con el manto Bolas. De acuerdo a esto se realizará el análisis comparativo para determinar cuál es la orientación del túnel más apta para la explotación de los mantos.

6.7.1 Modelamiento de esfuerzos para el Piso del manto Piedro

Dentro de este modelo se considera realizar las labores de desarrollo para la explotación del manto piedra a través del respaldo de piso del mismo en donde se mostrarán los contornos de deformación y los valores estimados de esfuerzos en las paredes del túnel.

Figura 53. Túnel manto Piedro Piso (σ_1).



Fuente Phase 2 V.8

El esfuerzo principal medio (σ_1) muestra una condición de esfuerzos con valores medios de 0,5 Mpa y un pico máximo en la pared lateral izquierda de 8,5 Mpa que supone un colapso de la sección dadas las condiciones de sobreesfuerzo.

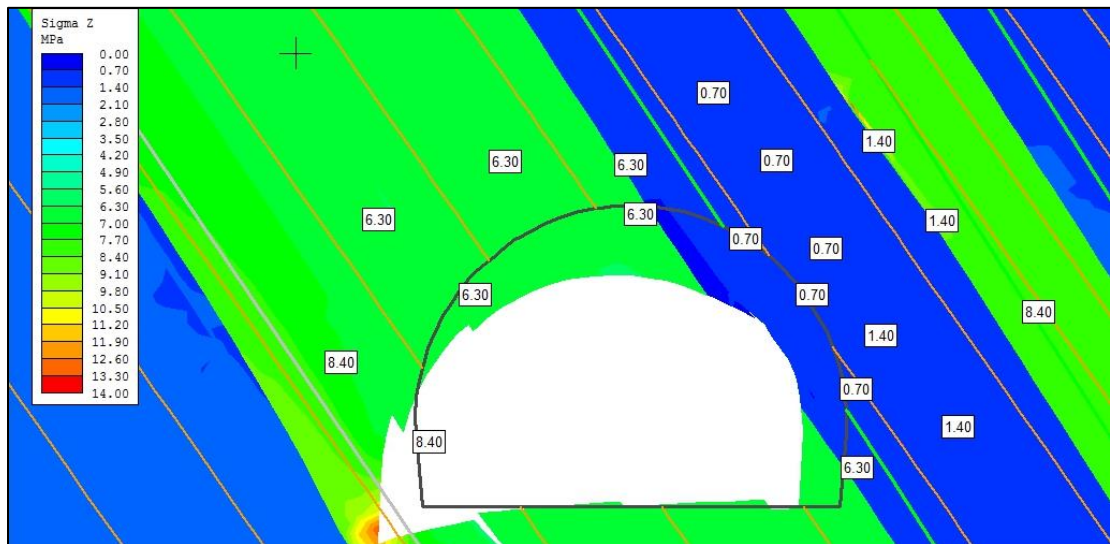
Figura 54. Túnel manto Piedro Piso (σ_3).



Fuente Phase 2 V.8

Las condiciones de esfuerzo sigma tres son nulos sobre la seccion por lo cual no se considera realizar un analisis sobre la seccion.

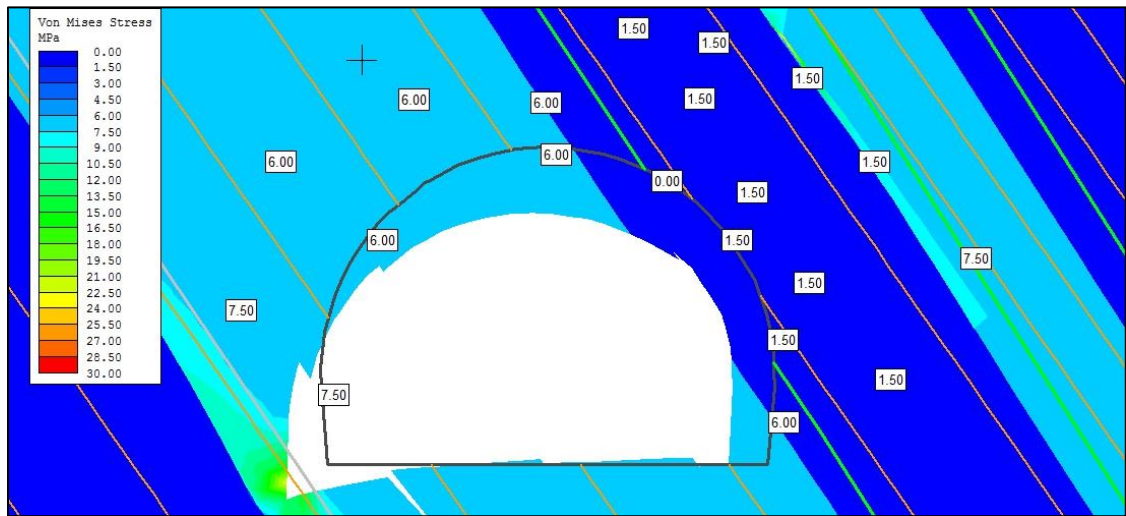
Figura 55. Túnel Manto Piedro Piso (σ_Z).



Fuente Phase 2 V.8

Los esfuerzos de esta seccion del tunel muestra un promedio de 7 Mpa lo cual supone que los esfuerzos aunque de magnitud considerable, no se muestra una deformacion considerable dadas las condiciones de resistencia de la roca.

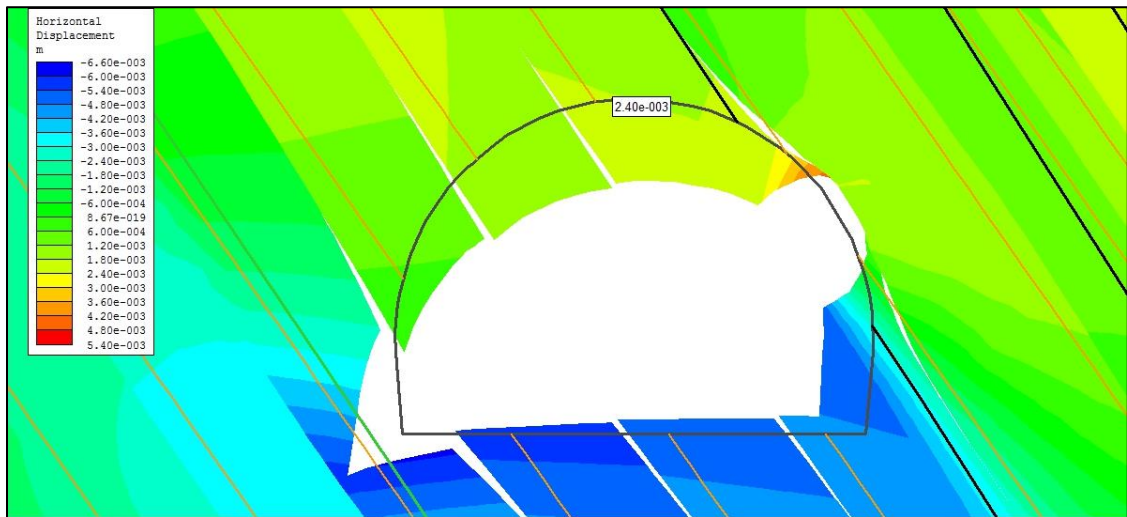
Figura 56. Túnel Manto Piedro Piso Von mises stress.



Fuente Phase 2 V.8 Datos de estudio.

Las propiedades de las rocas respaldo de este manto presentan condiciones de esfuerzos mucho mayores que en los demás modelos por lo cual es considerable asumir que la energía de cambio volumetrico podria causar deformaciones considerables sobre la seccion del tunel guiado sobre este respaldo.

Figura 57. Túnel manto Piedro Piso Desplazamiento Horizontal.



Fuente Phase 2 V.8

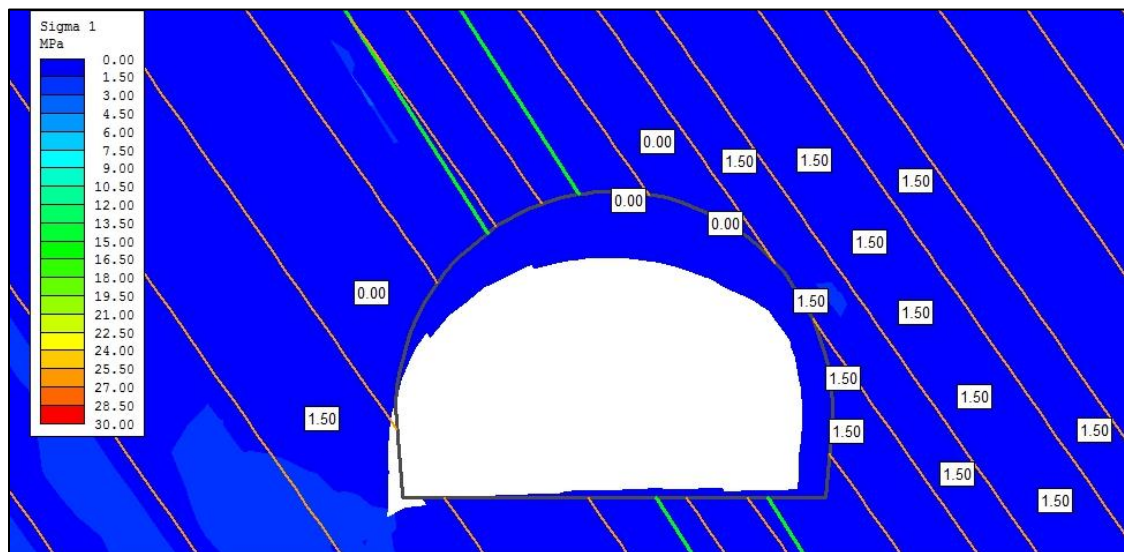
Dentro de este modelo se reconocen claramete cuales son los estratos mas suceptibles al desplazamiento y modifiaion volumetrica; dadas estas condiciones se establece entonces una zona de desplazamiento critico y abruto delineadas con colores amarillos y rojos. Esta condicion es un modelo de

condiciones desfavorables para adelantar las labores de desarrollo para la explotación del manto piedra.

6.7.2 Modelamiento de esfuerzos Manto Piedro

Dentro de este modelo se considera la realización de labores por el Rumbo del manto. Orientacion por la cual actualmente se desarrollan labores de desarrollo en el manto Piedro .

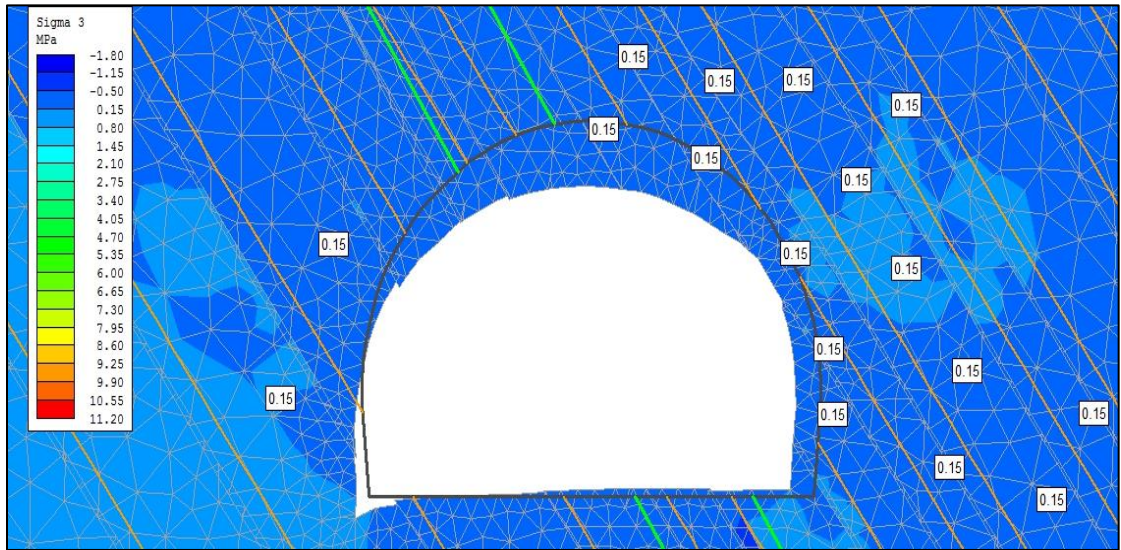
Figura 58. Esfuerzos Manto Piedro (σ_1).



Fuente Phase 2 V.8

Los esfuerzos que se presentan dentro de este modelo alcanza los 1,5 Mpa por lo cual es importante considerar que la distribución del esfuerzo principal medio (Sigma 1) solo actúa sobre una de las paredes del túnel en donde se podrían esperar deformaciones considerables.

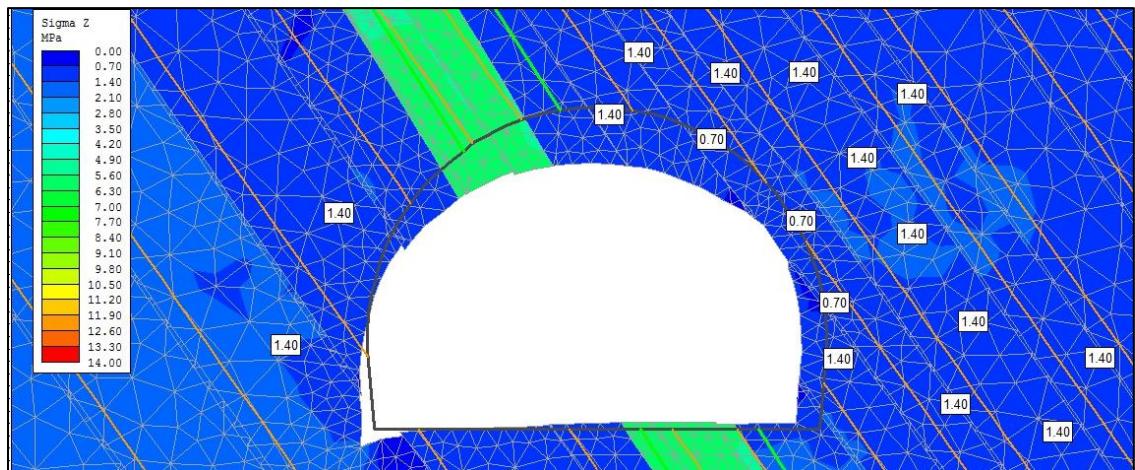
Figura 59. Esfuerzos Sigma 3 para el Rumbo del manto Piedro.



Fuente: Phase 2 V.8.

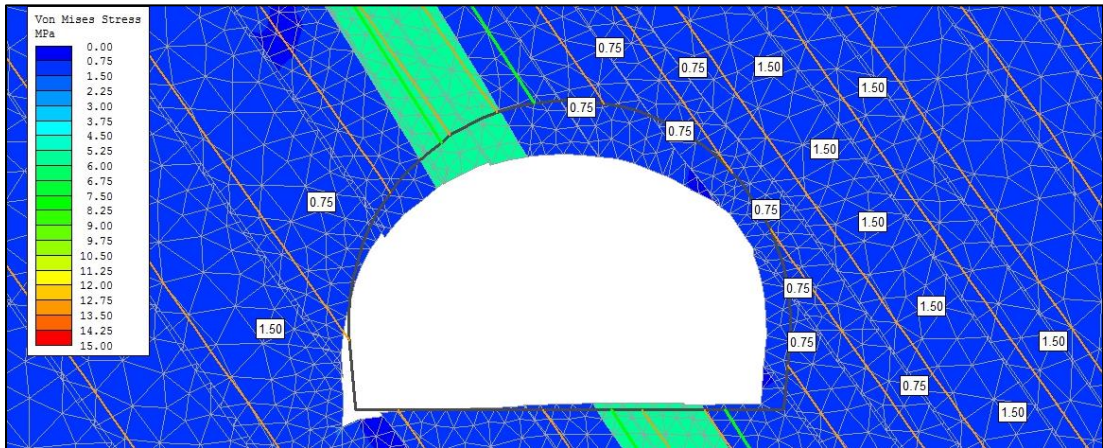
Los esfuerzos para el modelo del túnel bajo condiciones del esfuerzo principal mayor muestran picos de 1,5 Mpa como valor máximo sobre las paredes del túnel lo cual supone condiciones de estabilidad aceptables.

Figura 60. Esfuerzos Manto Piedro (σ_Z).



Fuente: datos de estudio.

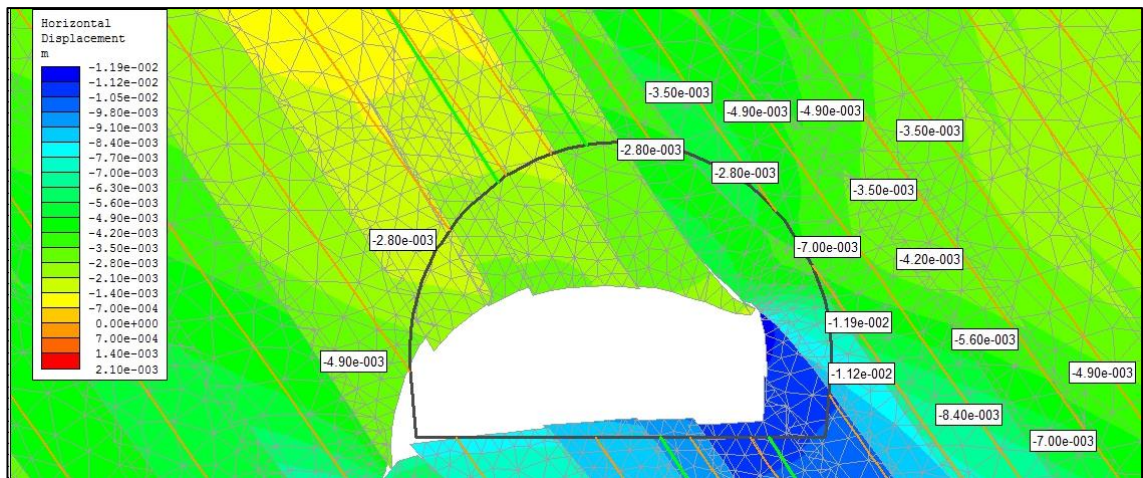
Figura 61. Esfuerzos Von mises Stress Manto Piedro.



Fuente: Phase 2 V.8. Datos de estudio

La energía acumulada dentro de este modelo se muestra con mayor fiabilidad con picos máximos de 0,75 Mpa y la mayoría de sus zonas estables por lo cual es un buen prospecto para adelantar las labores de desarrollo del manto piedro.

Figura 62. Desplazamiento Horizontal Total Manto Piedro.



Fuente: Phase 2 V.8 Datos de estudio.

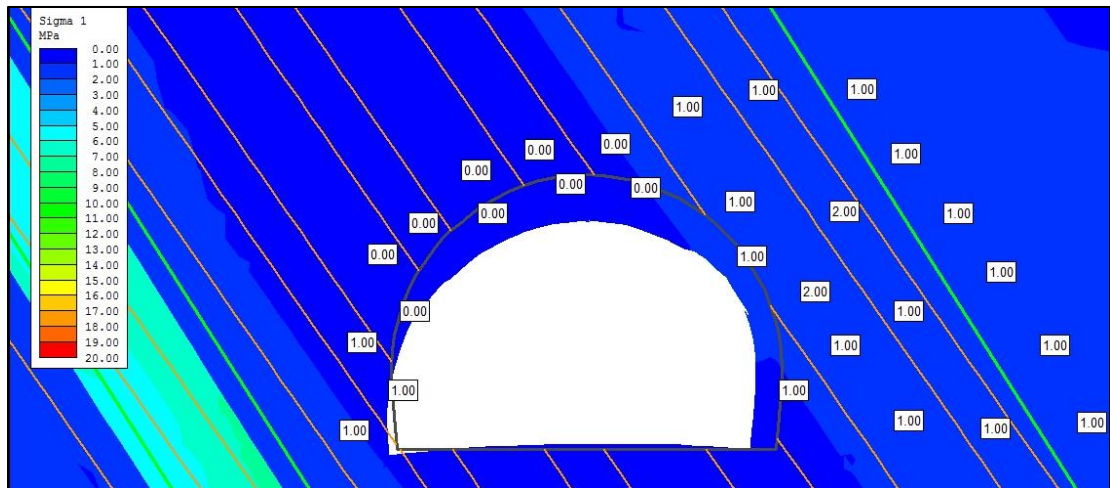
Los desplazamientos tienden a ser abruptos aunque podrían ser controlados con el sostenimiento adecuado sabiendo que los desplazamientos y esfuerzos de deformación se darán en la parte superior de la excavación.

6.7.3 Modelamiento Manto Piedro Techo.

Se considera dentro de este modelo la determinación de esfuerzos sobre las paredes del tunnel proyectado sobre el respaldo de techo del manto piedro, para

su posterior analisis y comparacion para la determinacion de cual seria el diseño mas adecuado para la direccion de las labores de desarrollo del manto Piedro.

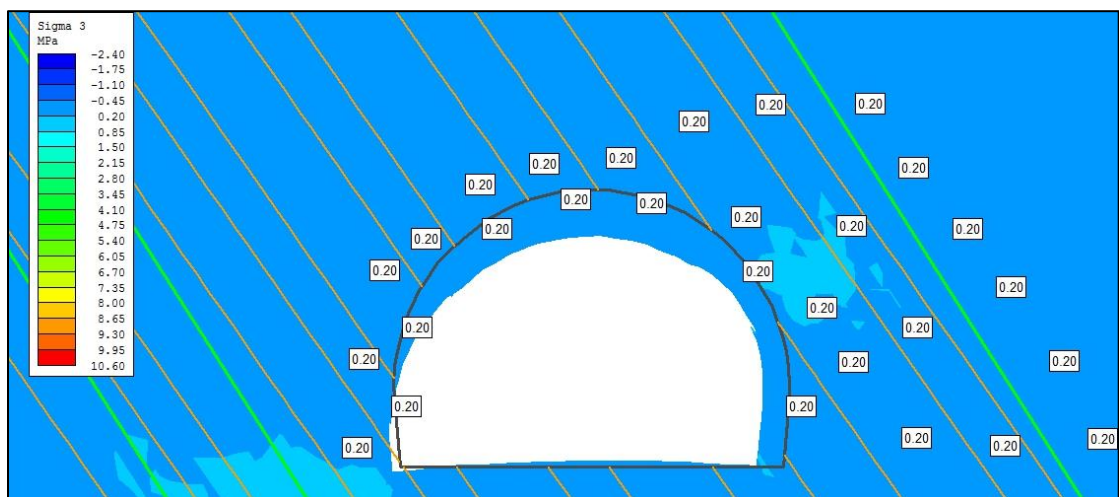
Figura 63. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_1).



Fuente Phase 2 V.8 Datos de estudio.

El esfuerzo principal medio de esta seccion se muestra con esfuerzos laterales en ambas paredes del tnel por lo cual se podria suponer que las deformaciones del tunnel podrian darse de manera uniforme en toda la seccion del tunnel.

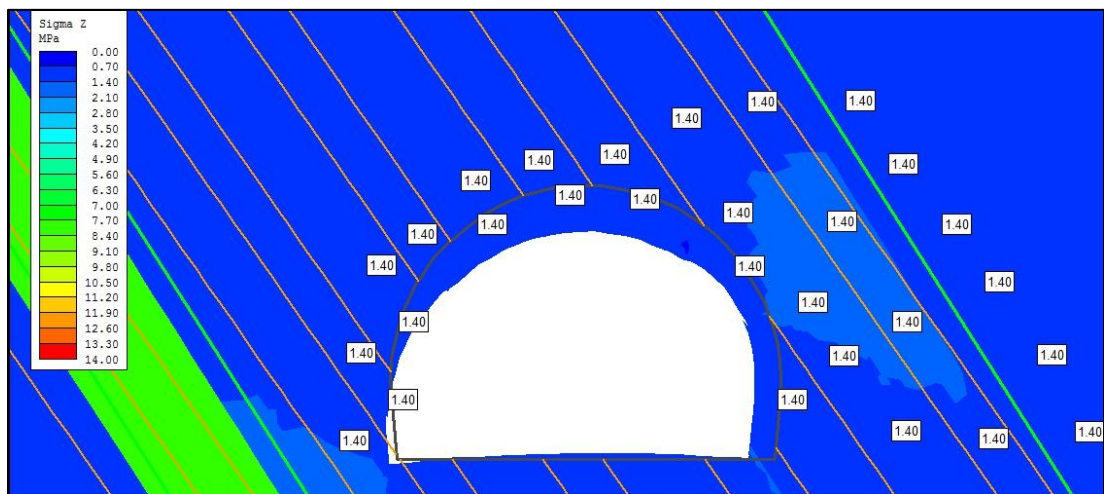
Figura 64. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_3).



Fuente Phase 2 V.8

El esfuerzo principal menor se muestra constante en toda la seccion con picos de 0,2 Mpa. En comparacion con los anteriores esfuerzos menores en este modelo los esfuerzos menores tambien inciden en la deformacion del tunnel por lo cual muestra condiciones desfavorables para la estabilidad del tunnel.

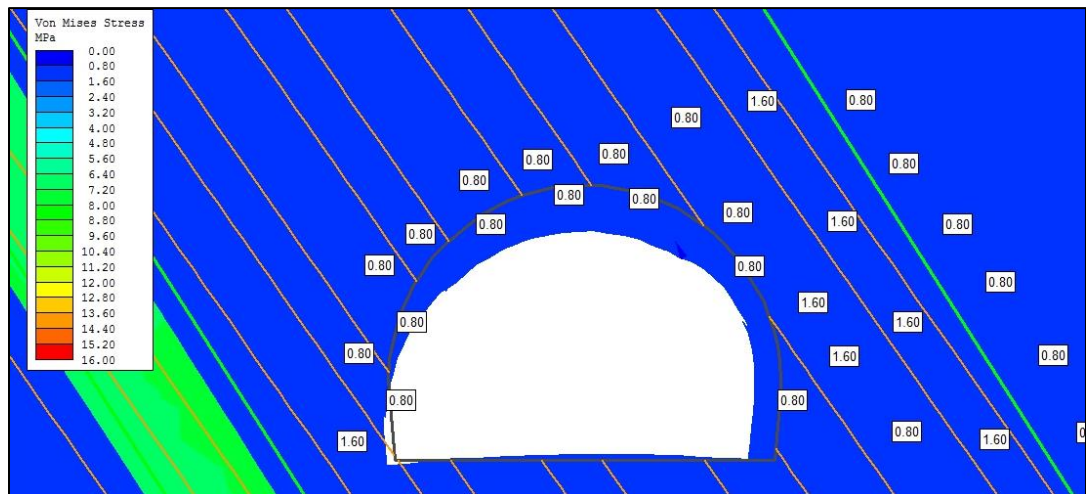
Figura 65. Esfuerzos Manto Piedro Techo (σ_z).



Fuente Phase 2 V.8

Los datos del esfuerzo principal mayor muestran picos de 1,4 Mpa alrededor de la excavacion mostrando una posible deformacion constante sobre toda la seccion del tunel.

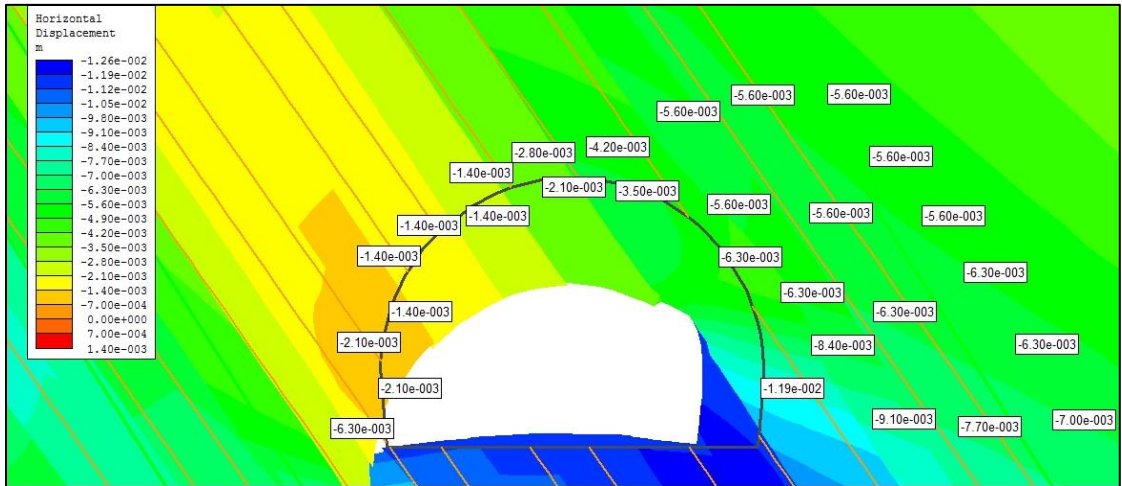
Figura 66. Von Mises Stress Manto Piedro Techo.



Fuente Phase 2 V.8

Para los datos de este modelo se ha concluido que las deformaciones son constantes alrededor de toda la seccion del tunel. Aun con los datos de la energia de deformacion volumetrica con picos de 0,8 Mpa se puede apreciar que se da en toda la seccion y se afianza la teoria de que se deformará constantemente alrededor de toda la seccion del tunel.

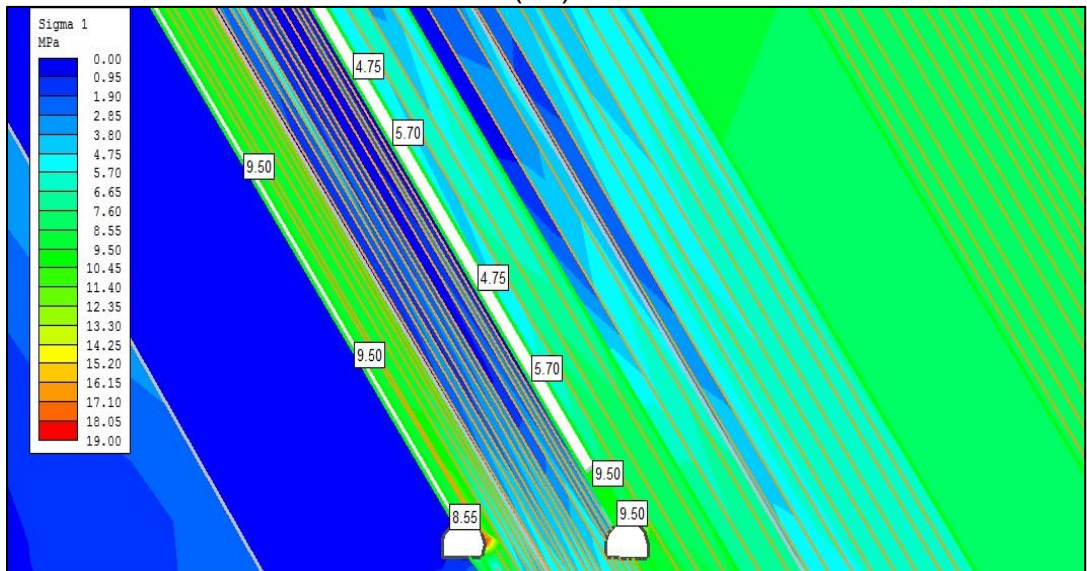
Figura 67. Desplazamiento Horizontal Total Manto Piedro Techo.



Fuente: Phase 2 V.8.

Los desplazamientos entre contactos de este modelo son totales en toda su seccion por lo cual no se aconseja guiar las labores a traves de este modelo del tunel por el respaldo de techo del manto Piedro.

Figura 68. Modelo de esfuerzos Final para las labores del manto Piedro y Bolas (σ_1).



Fuente: Phase 2 V.8.

6.8 ANALISIS DE RESULTADOS PARA EL MODELAMIENTO

De acuerdo a los datos mostrados por el modelamiento se hace una tabla comparativa con las constantes de esfuerzos sobre las paredes del túnel proyectado, dicha tabla comparativa debe servir para determinar sobre cual de los estratos seria mas fiable la realizacion de las labores de desarrollo para la explotacion del manto bolas y el manto Piedro, teniendo en cuenta la aclaracion de que la distribucion de esfuerzos se determino para σ_1 = esfuerzo medio, σ_3 = esfuerzo menor y σ_Z = esfuerzo mayor.

Tabla 24. Promedio de esfuerzos para los modelos de túnel Planteados.

	BOLAS PISO	BOLAS MANTO	BOLAS TECHO	PIEDRO PISO	PIEDRO MANTO	PIEDRO TECHO
σ_1 Mpa.	0-0,5	1,5	0-1,5	0,5	0-1,5	0-1
σ_3 Mpa.	0	0,15	0-1,5	0	0,15	0,2
σ_Z Mpa.	1	0,7-1,4	0,8	0,7-6,3	0,7	1,4
Von Mises stress Mpa.	1	0,7	1,5	1,5	0,75	0,8
Desplazamientos	Parciales menores	Parciales Múltiples	Totales Superiores.	Parciales Laterales	Parciales Laterales	Parciales Laterales

Fuente: Datos de estudio

Haciendo una comparación analítica de los esfuerzos producidos sobre las paredes del túnel en sus diferentes orientaciones se puede observar una notable disminución de esfuerzos sobre las paredes del túnel direccionado a través del respaldo de Piso del manto Bolas. Dentro de la propuesta se podría considerar realizar las labores correspondientes al desarrollo de las labores de desarrollo para la explotación del manto Bolas y Piedro según lo considere el departamento de planeamiento.

También cabe aclarar que los valores de las presiones generadas sobre las paredes del túnel podrían no corresponder a la carga neta sobre el sostenimiento, ya que la roca presenta una fuerza de fricción lateral y un cierto grado de estabilidad, además de tener la característica de deformarse paulatinamente según se van superando los límites plásticos de la roca; por tanto, para definir la presión sobre el sostenimiento en términos de toneladas o carga neta se aplicaran más adelante las teorías de calculo que nos permitan determinar el comportamiento del sostenimiento y así hallar las reacciones presentes en el momento de aplicarse la carga sobre la estructura.

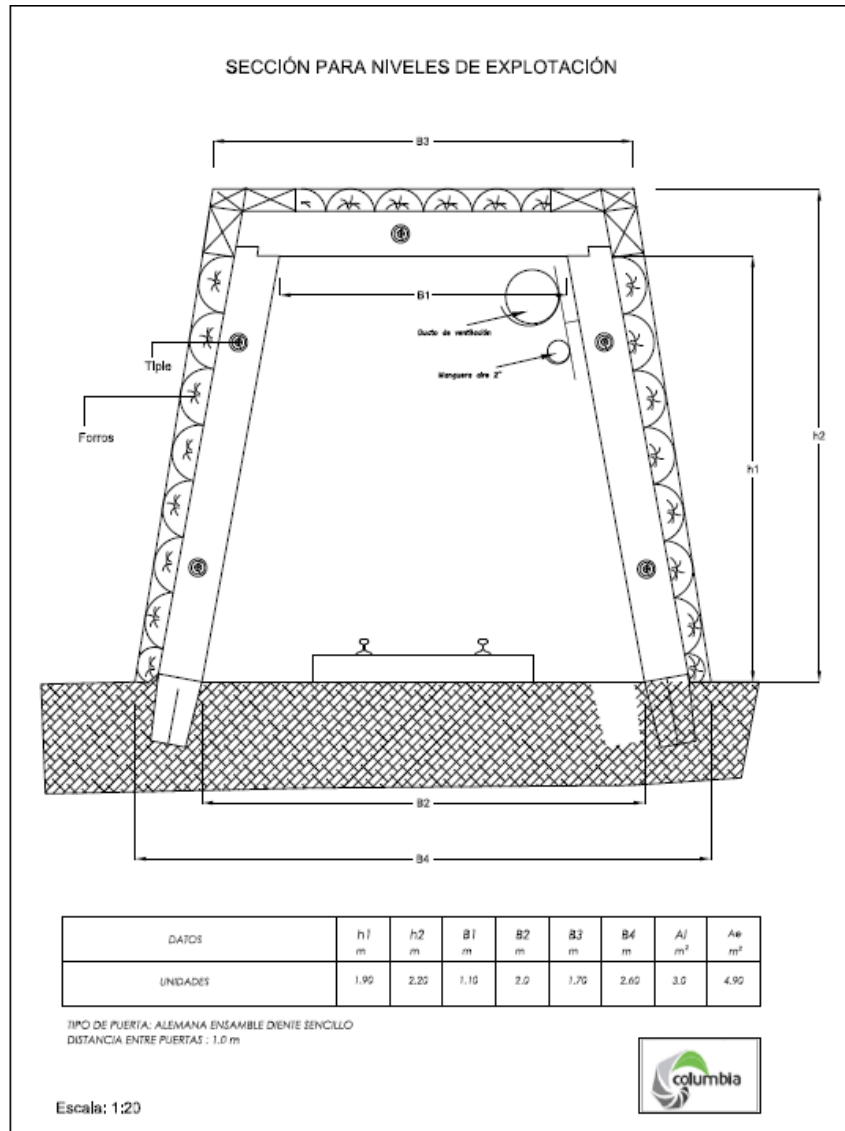
El modelamiento final presentado de la explotación de los mantos es un modelo en 2D que considera la distribución de esfuerzos acumulados por la explotación en donde considera notablemente el incremento de esfuerzos generados sobre el estrato superior del manto explotado.

7. DESCRIPCIÓN Y ANALISIS DEL SOSTENIMIENTO ACTUAL EN LA MINA TAURO

7.1 INVENTARIO Y DESCRIPCIÓN DEL SOSTENIMIENTO ACTUAL

Dentro del nivel se tienen labores desarrolladas en puerta alemana con madera de 20 cm de diámetro. La distribución y colocación de elementos, consiste en la instalación de una línea de palancas con su respectivo taco o cabecero a lo largo del panel en el sentido del buzamiento, con una separación de un metro (1m) entre palanca y palanca.

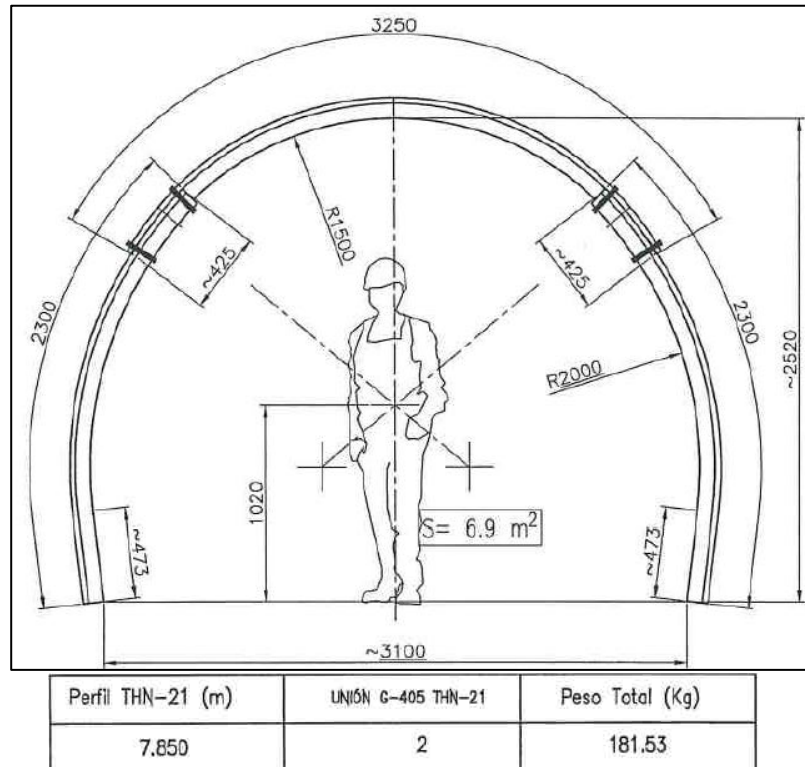
Figura 69. Puerta alemana para sostenimiento de niveles.



Fuente: datos de estudio.

El diseño y avance del manto Piedro sur es con fortificación de arcos de acero en perfil TH-N21 con un área total de 6.9 m^2 . Los arcos son importados por la empresa comercializadora de Tedesa S.A. Se ha elegido este tipo de sección debido a los servicios que tienen que implementarse para el nivel (transporte, ventilación y descargue de mineral).

Figura 70. Arcos de acero implementado para los niveles de la mina-catalogo Tedesa.



Fuente: Catalogo Steel Arches Tedesa S.A.

7.2 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SOSTENIMIENTO

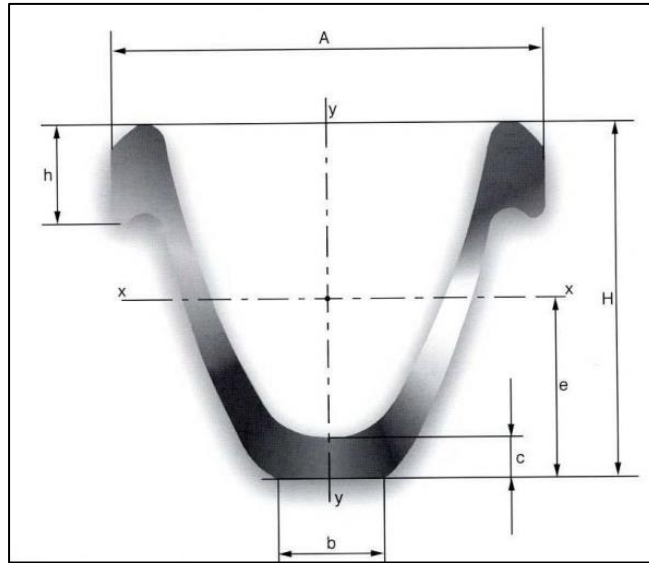
La Fortificación en cuadros metálicos de Tedesa se ha desarrollado para el sostenimiento de labores de gran sección en minería y obras subterráneas de manera que permita mantener una estabilidad de las labores que se desarrollan proponiendo características como:

- Mayor resistencia a todos los esfuerzos, tanto transversales como longitudinales.

$$\frac{W_{xx}}{W_{yy}} = 1$$

- Permite una convergencia de la sección muy grande.
- Montaje simple y rápido.
- Mejor adaptabilidad a la sección excavada, con mayor sección útil.
- Menor resistencia a la circulación del aire en las galerías, necesitando menor potencia en la instalación de ventilación.
- Reutilización después de su utilización después de recuperación y conformado en frío.

Figura 71. Sección transversal perfil N.



Fuente: Catalogo Steel Arches Tedesa S.A.

Tabla 25. Características Dimensionales arcos TH-N21- TEDESA.

peso (Kg/m)		21
sección $[\text{cm}]^2$		27
dimensiones	A mm.	127
	b mm.	35
	H mm.	108
	h mm.	30
	e mm.	54
	c mm.	12
características	$I_{xx} [\text{cm}]^4$	341
	$W_{xx} [\text{cm}]^3$	61
	$I_{yy} [\text{cm}]^4$	398
	$W_{yy} [\text{cm}]^3$	64
radio mínimo de curvado R m.		1,1

Fuente: Catalogo Steel Arches Tedesa S.A.

Tabla 26. Características mecánicas arco TH-N21 TEDESA S.A.

Limite Elástico Kpa/mm²	≥ 34
---	-----------------------------

Resistencia a la tracción. Kpa/mm ²	≥ 55
Alargamiento. %	≥ 18
Resiliencia (DVM) Promedio. j	18

Fuente: Catalogo arcos de acero TEDESA

Para la caracterización del acero se estima un acero de resistencia 52 con un límite elástico de 3400 Kg/cm². El cual tiene una resistencia 1.5 veces más que el acero de resistencia 37, en cuyo caso para su diseño estimaremos una resistencia total mediante:

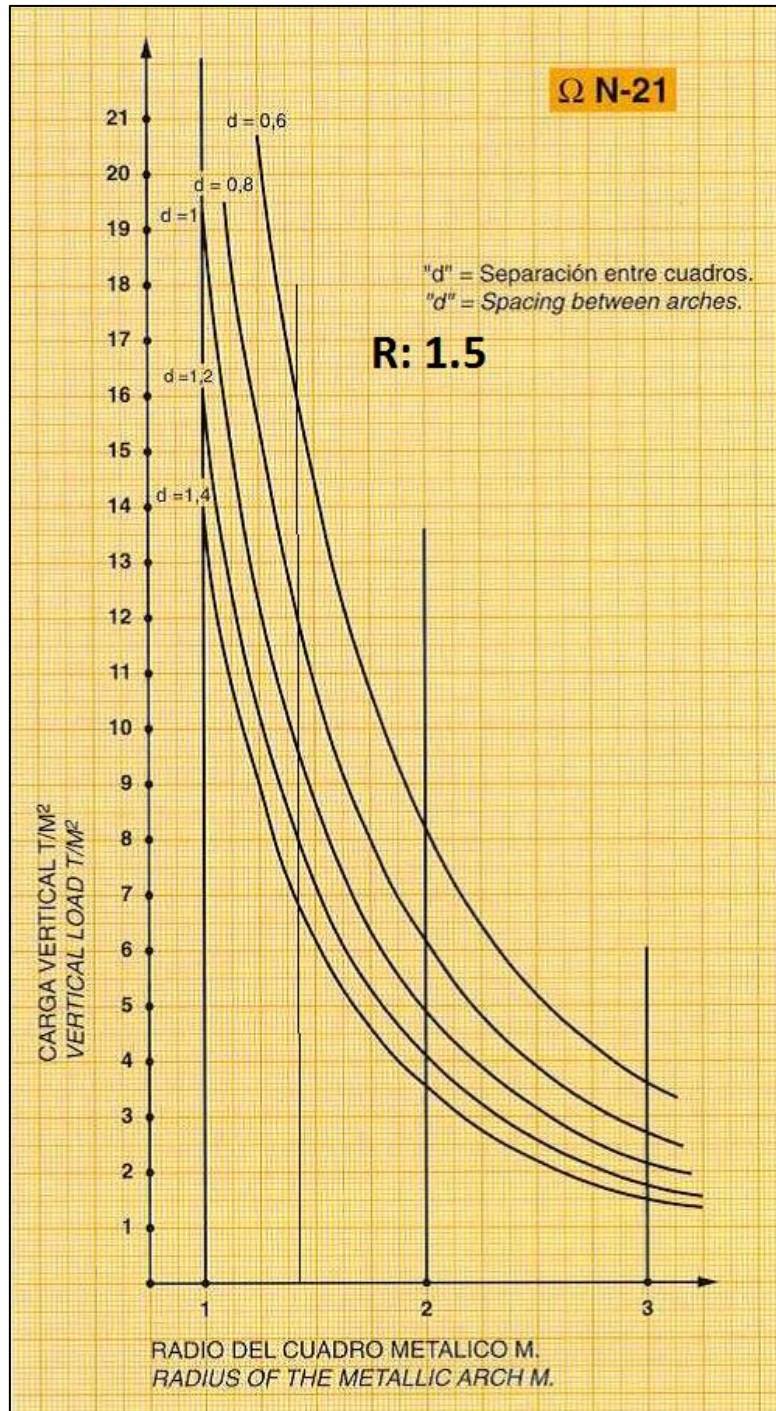
$$\sigma_{sf} = 1.5 * 1400 = 2100 \frac{kg}{cm^2}$$

7.2.1 Curva característica de carga del sostenimiento

Dentro de los ensayos realizados por la empresa Tedesa S.A. se realizó un ensayo de carga vertical en la cual se evaluó la carga a la cual el arco empezaba a ceder.

Debido a la orientación de nuestros estratos la carga máxima no se ejerce de manera vertical; esta carga es aplicada en dirección perpendicular a la orientación de los estratos, lo cual se convierte en un esfuerzo horizontal; para lo cual se aplicarán los cálculos correspondientes para determinar la carga aplicada sobre el arco de acero.

Figura 72. Curva de carga por m2 para perfil TH-N21.



Fuente: Datos de estudio.

La curva de carga muestra los esfuerzos permisibles por metro cuadrado de área de apoyo del esfuerzo, por lo cual para calcular la carga total permisible sobre el techo del arco se tendrá que tomar el valor de la tabla y multiplicarlo por el Área hallada sobre el techo del arco.

El perfil TH-N21. Que utiliza la compañía cuenta con un radio de 1.5 m. Por lo cual para el posterior análisis tendremos en cuenta las cargas permisibles sobre este radio del cuadro metálico.

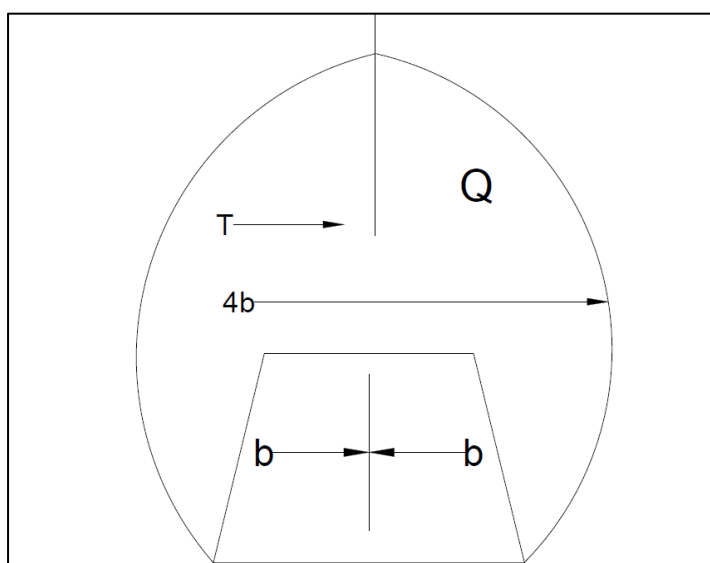
7.3 CÁLCULO Y ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS EN EL TÚNEL

Dentro del análisis de teorías para la estimación de la carga de techo que se deposita sobre el arco de acero, se tuvo en consideración el campo en el cual fue aplicado, además de analizar la bóveda de carga a considerar sobre el techo de la excavación modelada por el software que alcanza entre los 52 a 59 m^2 . Teniendo en cuenta que el terreno cuenta con una fuerza de fricción lateral no se puede entonces considerar esta carga total creada por la bóveda en el modelado por software. Por lo cual se optó por aplicar teorías de bóvedas de carga para estratificaciones de roca suelta y presión minera en excavaciones subterráneas inclinadas.

7.3.1 Cálculo de carga inmediata sobre el sostenimiento.

Teoría de N. Pokrovski³. Dentro de su análisis para la determinación del peso de la bóveda de carga propone que la roca contenida dentro de un área determinada sobre el sostenimiento llamaba bóveda de derrumbe, crea una presión P sobre el sostenimiento.

Figura 73. Bóveda de Derrumbe considerada sobre la excavación.



Fuente: Mecánica de Rocas-Roberto Blanco- capítulo IV

Para determinar las variables primero determinamos la altura de la bóveda de carga mediante:

³ Mecánica de Rocas-Roberto Blanco- capítulo IV- Calculo de presión minera. Pg.197

$$Hb = \frac{He}{\frac{2}{3}(K - 1)}$$

Donde:

K: coeficiente de esponjamiento de la roca.

He: altura de la excavación.

Hb: altura de la bóveda de derrumbe.

Hb	He	K
13	2,6	1,3

Para determinar la carga sobre el sostenimiento se entiende entonces que la cantidad de roca suelta que caerá sobre la excavación tiene una fuerza de fricción T lateral, por tanto, la carga sobre el sostenimiento se entenderá como la diferencia entre el peso de la roca contenida Q en la bóveda de derrumbe y la fricción lateral T:

$$P = Q - 2T \tan \varphi$$

Donde:

φ : Angulo de deslizamiento para la roca a derrumbar.

$$Q = \frac{4}{3} \gamma b Hb$$

b: semi-ancho de la excavación.

$$T = \frac{\gamma b^2}{2} \tan \frac{90^\circ - \phi}{2}$$

ϕ : Angulo de fricción interno del material.

Tabla 27. Valores para determinación de la presión Minera.

P Ton*m.	b	ϕ rad.	Φ	T	Q Ton* m	Y	F
34,33447097	1,5	0,3	0,4375	28,38552903	62,72	2,45	1,575

Fuente: Datos de estudio.

De acuerdo a los cálculos realizados la presión efectiva sobre el sostenimiento es de 35 Ton, equivalentes a 0,34 Mpa. A ser considerados en el cálculo del sostenimiento.

Análisis de Presión sobre el sostenimiento por el método de Labass⁴.

Debido a la condición y geometría de nuestra excavación en forma semi-circular, consideramos hacer un cálculo de esfuerzos radiales sobre el sostenimiento además de determinar la carga efectiva sobre el sostenimiento. Dentro de su teoría Labass propone considerar el cálculo de la presión en la zona plástica de la excavación, considerada como un límite en que la roca sufre un aumento volumétrico que es asumido por la estructura de sostenimiento.

Para la determinación de la presión producida sobre el sostenimiento se establece determinar el un índice de flexibilidad ΔS . Que nos permita determinar la zona de influencia según el Angulo de fricción interno y su coeficiente de aumento volumétrico K.

$$\Delta S = \pi(b^2 - a^2)(K - 1)$$

Donde:

S: área de la excavación.

$$b = \sqrt{\frac{\pi * a^2 * (k - 1) + \Delta S}{\pi(K - 1)}}$$

a: radio de la excavación.

K: coeficiente de esponjamiento (1.1-1.15).

$$P = (1 - \sin \varphi) \gamma H \left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$$

φ : Angulo de fricción interna de la roca.

b: radio de la zona de deformación No elástica.

γ : peso específico de la roca.

H: profundidad promedio del túnel.

Tabla 28. Constantes para cálculo de esfuerzos radiales.

a	Y	ϕ	b	K	ΔS	H	P
1,6	2,6	0,3196	1,757986484	1,15	0,25	365	597,0375353

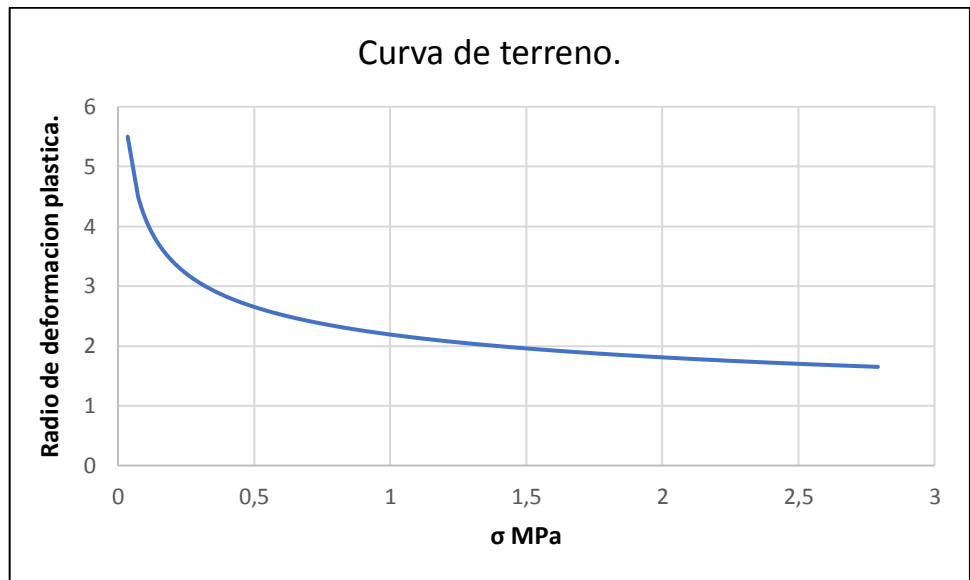
Fuente: datos de estudio.

⁴ Mecánica de Rocas- Roberto Blanco- Capitulo IV- cálculo de la presión minera. Pg. 203

Teniendo en cuenta la estimación de esfuerzos sobre el sostenimiento; alrededor de una excavación podemos considerar dentro de sus cálculos la determinación

de su comportamiento en su zona plástica para hallar una curva de terreno alrededor de la excavación en donde evaluamos el esfuerzo producido.

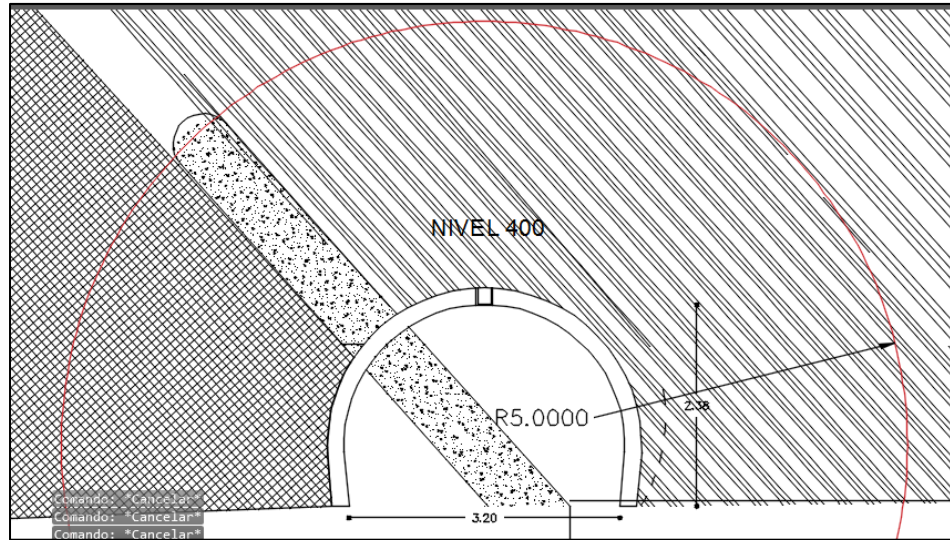
Figura 74. Curva de Terreno y esfuerzos radiales.



Fuente: Datos de estudio

La finalidad de hallar y graficar una curva de terreno se basa en determinar la influencia total del esfuerzo generado hasta la zona de redistribución de esfuerzos alrededor de la excavación. Según el cálculo realizado los esfuerzos generan una zona de influencia alrededor de la excavación de 4 a 5 metros lo cual produce un área susceptible al desprendimiento alrededor de la excavación.

Figura 75. Zona plástica alrededor de la excavación.



Fuente: Datos de estudio

Tal como se muestra en la ilustración se mostraría la zona plástica susceptible a deformaciones, por supuesto la deformación será mayor sobre los estratos superiores debido a la orientación y buzamiento de los estratos.

8. DISEÑO Y CÁLCULO DE SOSTENIMIENTO EN ARCOS DE ACERO

Debido al amplio esfuerzo a el cual se ve sometido la sección del túnel con las dimensiones especificadas anteriormente. El uso de arcos de acero es fundamental para mantener la sección del túnel abierta por tiempo prolongado. Dentro del cálculo del sostenimiento se tienen en cuenta los parámetros de deformación y módulos de resistencia estándar del sostenimiento para hacer el estimado de la separación entre arcos de acuerdo a la carga estimada a soportar en la sección del túnel. Para ello se aplicará la teoría para arcos de acero de Cemal Biron y Ergin Arioglu a lo largo del desarrollo de este ítem.

8.1 EVALUACIÓN DEL ESFUERZO

Una vez que se han presentado distintos modelos de esfuerzos sobre los límites de la excavación, se procederá a determinar las reacciones del sostenimiento a implementar. Para ello se considera la estructura del sostenimiento totalmente rígida para su análisis estático.

Biron Cemal y Arioglu Ergin⁵ dentro de su propuesta para el diseño de arcos rígidos y cedentes plantean el análisis estático mediante:

$$A_y = B_y = \frac{(0,785h' + 0,666r)q_t * r^2}{0,666h'^3 + \pi r h'^2 + 4h'r^2 + 1,57r^3}$$

$$M = 0,5q_t r^2 \sin^2 \alpha - A_y (h' + r \sin \alpha) \quad \text{Para } 0 < \alpha < \pi$$

⁵ Design of Support in Mines- Cemal Biron; Ergin Arioglu- Department of Mining Engineering of Istanbul Technical University. Pg. 70.

$$N = -q_t r \cos^2 \alpha - A_y \sin \alpha$$

Donde:

$A_y=B_y$: Reacciones laterales en toneladas.

h' : Distancia vertical de los arcos en metros.

r : radio del arco en metros.

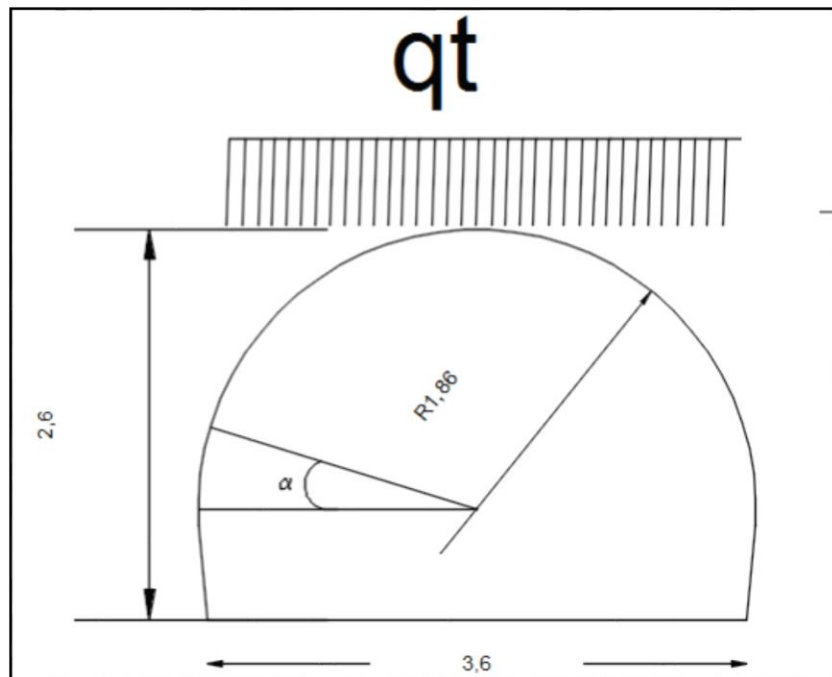
α : Angulo con la horizontal en grados.

q_t : carga uniforme en toneladas por metro.

M : momento en toneladas por metro.

N : fuerza normal a el perfil en toneladas.

Figura 76. Dimensiones a considerar del arco dentro del modelo estático



Fuente: Datos de estudio

Y Para el diseño del arco es necesario conocer el momento máximo mediante la ecuación:

$$M_{max} = -A_y \left(h' + 0,5 \frac{A_y}{q_t} \right)$$

$$\text{cuando } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$N = q_t r \cos^2 \alpha - A_y \sin \alpha$$

El momento máximo mostrado podrá ser considerado como la carga máxima que soportara la estructura de acuerdo a la presión de techo calculada anteriormente, y de igual manera su reacción N en el mismo punto en el cual se calcula el momento Máximo será considerada.

8.1.1 Diseño del perfil del arco.

Una vez que se analiza el comportamiento que tendrá el arco mediante la distribución de cargas se calculan “Los valores de Mmax y N deben ser usados

en el cálculo de la sección transversal del arco. Entonces el esfuerzo podrá ser calculado⁶:

$$\|\sigma\| = \frac{\text{carga normal}}{\text{area del perfil}} = \frac{\text{Momento Maximo}}{\text{Modulo de seccion.}}$$

$$\|\sigma\| = \frac{q_t r}{F} + \frac{A_y (h' + 0,5 A_y / q_t)}{W} \leq \sigma_{sf}$$

Donde:

$\|\sigma\|$: valor del esfuerzo total.

F: área de la sección del perfil.

W: módulo de sección del perfil m^3 .

σ_{sf} : esfuerzo permisible del arco para ademes mineros.

Debido a que la sección transversal y el módulo de sección son dos incógnitas dentro de la función, entonces el método de ensayo y error de las especificaciones DIN propone:

$$F = 0,149W + 9,780$$

8.1.2 Aplicación numérica

Para la determinación de los valores de las ecuaciones planteadas anteriormente establecemos los valores dimensionales del perfil TH-N21; con un espaciado promedio de 0,9 m de manera que $A_y < \sigma_{sf}$ para asegurar la estabilidad de la excavación; en caso contrario variaremos los valores de (a) hasta dar con la separación adecuada para la excavación.

Para los valores de (α) consideramos un rango entre 1 y 2 según lo indica Cemal Biron; debido a la estratificación laminar que presenta el techo, además de presentar constantes grietas.

L = 3,2 m.

r = 1,5 m.

h' = 0,43m.

a = 0,9m.

$\alpha = 1,5$ (condición de techo malo agrietado).

Qt = 36,52 t/m²

⁶ Design of Support in Mines- Cemal Biron; Ergin Arioglu- Department of Mining Engineering of Istanbul Technical University. Pg.73.

Nota: la carga de techo se ha establecido anteriormente mediante la teoría de Pokrovski, por lo cual se omite la estimación de carga propuesta por Cemal Biron debido a que no cumple con el modelo de bóveda de carga presente en el área de estudio.

De acuerdo a estos valores iniciales calculamos las reacciones principales del arco:

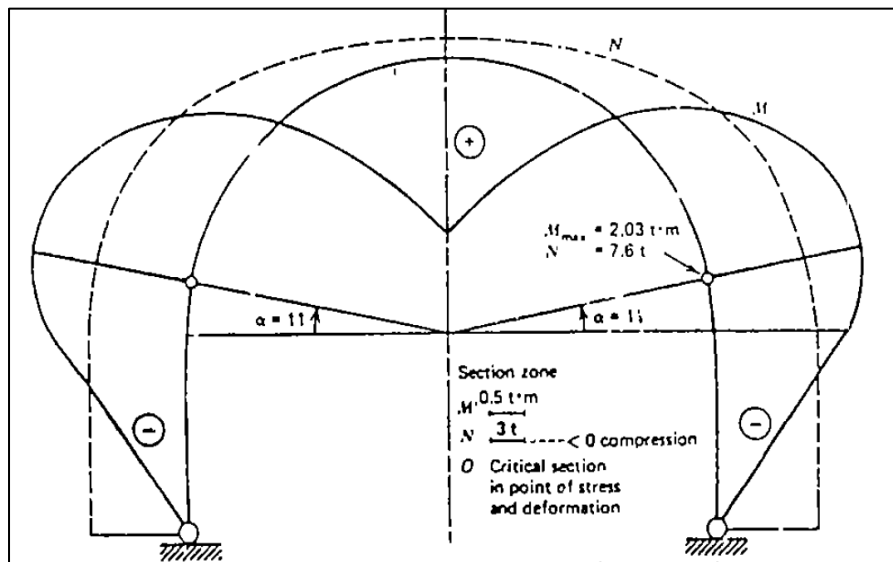
$$A_y = B_y = \frac{(0,785(h') + 0,666r)(qt) * (r)^3}{0,666(h')^3 + \pi(r)(h')^2 + 4(h')(r)^2 + 1,57(r)^3}$$

$$A_y = B_y = \frac{(0,785(0,43) + 0,666r)(34,33) * (1,5)^2}{0,666(0,43)^3 + \pi(1,5)(0,43)^2 + 4(0,43)(1,5)^2 + 1,57(1,5)^3}$$

$$A_y = 3,90993753 \text{ ton}$$

Para el cálculo de los momentos máximos consideramos la deformación máxima del arco teniendo en cuenta un Angulo (α) que establecerá el Angulo de deformación y el momento generado sobre el arco.

Figura 77. Momento y carga normal en un arco rígido



Fuente: -Design of Support in Mines- Cemal y Ergin.

Para determinar el Angulo de deformación sobre el arco hallamos (α) mediante:

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{Ay}{q_t r}$$

$$\alpha = 4,35^\circ$$

$$M=2,500919784 \text{ t*m}$$

Para la determinación del diseño final del arco se calcula el módulo de sección del perfil adecuado mediante:

$$\|\sigma\| = 14000 \text{ ton * m}^2$$

Tomando el valor de 14000 ton*m² como el esfuerzo total permisible del acero para ademes en minas según especificaciones de calidad DIN⁷.

$$14000 = \frac{(34,3344)(1,5)}{0,149W + 9,780} + \frac{(3,91)((0,43) + 0,5^{(3,91)}) / (34,3344)}{W}$$

$$2086W^2 + 136869,066W - 18,6201 = 0$$

$$W1 = 0,000136$$

$$W = 65,63772 \text{ cm}^3$$

Para un diseño óptimo del arco se debería considerar un módulo de sección de 65,64 cm³ a lo cual se le acerca el perfil TH-N21 con 64 cm³.

8.1.3 Descripción de los arcos cedentes

Los arcos cedentes están compuestos por tres secciones semicirculares que en conjunto conforman una estructura en acero que permite la convergencia entre elementos, es decir que se produce un deslizamiento lateral de la nervadura superior. Esto permite la liberación de esfuerzos alrededor de un túnel de manera en que se eliminen de alguna forma las deformaciones. No obstante, estos arcos ceden de 30 a 40 cm de altura según el diseño, después de esto el arco empieza a sufrir deformaciones como se mostró en el modelo estático calculado anteriormente.

⁷ Catálogo de calidades para aceros DIN

8.1.4 Cálculo estimado de los arcos cedentes

Debido a que el arco cedente Toussaint Heinzmann TH-N21 converge paulatinamente, se procederá a calcular su convergencia máxima de acuerdo a los parámetros establecidos por Cemal y Biron en donde propone:

$$K = -78 + 0,666H + 4,3mK_t + 7,7\sqrt{10K_f}$$

$$K' = -58 + 0,039H + 3,7mK_t + 6,6\sqrt{10K_f}$$

$$Y = 3,5 + 0,23K$$

Donde:

K: convergencia final en porcentaje.

K': hinchamiento del piso en porcentaje.

Y: cierre de los lados en porcentaje.

H: profundidad de la excavación en metros.

M: espesor del manto en metros.

Kt: coeficiente según del ademe de las nervaduras de la entrada (madera).

Kf: coeficiente para roca de techo (carbón + arcillolita + roca deformada).

Tabla 29. Datos de convergencia de las paredes del túnel.

Convergencia final.	
K %	15,7459435
K' %	15,6933802
Y %	7,12156701
H m.	370
M m.	1,1
Kt (madera)	2
Kf	6

Fuente: Datos de estudio

La determinación del comportamiento óptimo del arco se da a través de la de la relación entre el índice de convergencia del arco y el índice de hinchamiento del suelo, de manera que su relación nos permita determinar el tipo de arco que soporte este tipo de deformaciones a las cuales está sometido el arco:

$$\frac{K'}{K} < 0,7 \text{ perfiles cedentes de } 21 \text{ a } 29 \frac{kg}{m}$$

$$\frac{K'}{K} > 0,7 \text{ Perfiles cedentes de } 30 \text{ a } 36 \frac{kg}{m}$$

$$15,69/15,74=0,99$$

De acuerdo a la relación de convergencia se aconseja utilizar arcos TH-N30 según las características propuestas, para todo caso los procedimientos de cálculo deben llevar un análisis que pueda establecer las condiciones de la roca a sostener y así poder establecer los cálculos numéricos que demuestren los esfuerzos totales a los cuales serán sometidas las secciones del arco.

La utilización de este tipo de arcos podría disminuir considerablemente los costos de mantenimiento y darle una vida útil mayor a los túneles fortificados con arcos de característica THN-30. También es de considerar que la separación para THN-30 podría prolongarse de 10 a 20 cm. Más que la del THN-21 por lo cual se podría ganar un metro de fortificación más por cada 5 arcos THN-30 instalados

8.1.5 Determinación final del diseño y su separación

Para determinar la separación óptima del arco se tomaron los datos de los ensayos de carga permisible sobre el arco cedente TH-N21 para un radio de 1,5 m y una sección de 6,9 m².

Antes de determinar la carga permisible sobre el arco, es de aclarar que las especificaciones del arco muestran unos resultados de carga por metro cuadrado, por lo cual especificaremos el área de aplicación de la carga sobre el arco según la disposición de los estratos.

Figura 78. Área de aplicación de carga sobre el techo de la excavación.



Fuente: Datos de estudio

El área sombreada del arco sería la zona de aplicación de la carga la cual cuenta con un área promedio de 4 m^2 . De acuerdo a esta sección se calculará la carga que soporta cada arco de acuerdo a su separación.

Según las especificaciones del arco muestra las siguientes condiciones de carga por metro de avance:

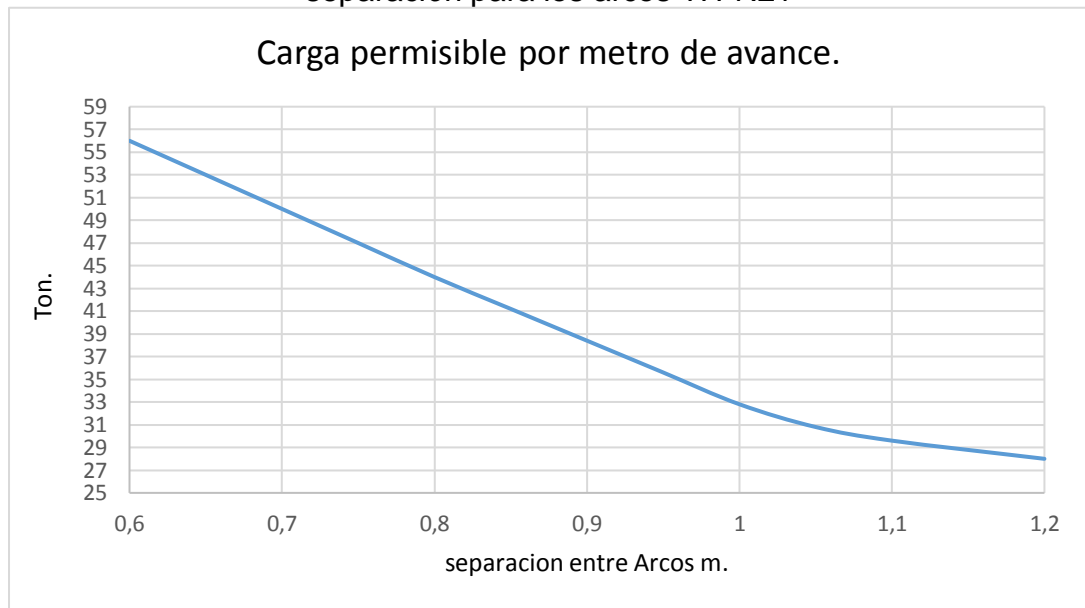
Tabla 30. Valores de carga por metro de avance

Carga permisible ton/m2	Área aplicación fuerza m2	Carga total permisible * m avance (Ton)	Separación.
14	4	56	0,6
13,25	4	53	0,65
12,5	4	50	0,7
11,75	4	47	0,75
11	4	44	0,8
10,3	4	41,2	0,85
9,6	4	38,4	0,9
8,9	4	35,6	0,95
8,2	4	32,8	1
7,7	4	30,8	1,05
7,4	4	29,6	1,1
7	4	28	1,2

Fuente: Datos de estudio

De acuerdo a la carga producida a soportar tenemos un dato de 34,3344 ton/m^2 . Por lo cual es aconsejable manejar la separación por encima del rango de aplicación de la carga, en este caso se podría manejar a una separación de 0,9 m. También se ha determinado la carga permisible por metro de avance se podría concluir en una gráfica de carga del sostenimiento de modo:

Figura 79. Grafica de carga permisible por metro de avance en relación a su separación para los arcos TH-N21



Fuente: Datos de estudio.

Teniendo en cuenta las condiciones de aplicación de carga sobre el sostenimiento se debería tener en cuenta estas especificaciones de separación para poder disminuir las deformaciones que se presentan a lo largo de los túneles. Además de esto para mejorar la vida útil de los túneles es esencial considerar las condiciones de direccionamiento de los túneles mostrados en los modelos de Phase 2 V.8 llevados a través de los respaldos de techo y piso para lograr una distribución de tensiones más óptima y uniforme sobre la sección total del arco. También es de considerar que de tenerse en cuenta estos modelos de desarrollo para explotación de mantos de carbón los esfuerzos sobre las paredes del túnel se verán claramente redistribuidos debido a que no se tendrá acumulación de presiones sobre el machón de carbón debido a la explotación y tampoco se tendrán que tener en cuenta secciones sobre el túnel de carbón que alteren la estabilidad del túnel.

9. CONCLUSIONES

- La caracterización petrográfica inicial dio como resultado que algunos de los respaldos de los mantos presentan condiciones de inestabilidad debido a que son rocas fisibles y muy susceptibles a deslizamientos entre planos *in situ*. Por tanto, su comportamiento Geo-mecánico tendera a ser de condiciones de inestabilidad en caso de avanzarse labores en dirección a su rumbo o el Rumbo de los mantos Bolas y Piedro.
- Para el estudio realizado dentro de los límites de la explotación por tajo se demuestra matemáticamente la influencia de esfuerzos generados a raíz de la explotación.
- La consideración de la influencia de esfuerzos Producidos por la explotación sobre el nivel inferior del Tajo es analizada dentro de los cálculos y se concluye que se puede contrarrestar la influencia de esfuerzos mediante la utilización de machones de protección para el nivel inferior según el modelo propuesto dentro del cálculo.
- Los modelamientos realizados a partir de la consideración de cambio de orientación de las labores de desarrollo concluyeron que el respaldo inferior del manto Bolas es el que mejores condiciones presenta para adelantar este tipo de labores. Dentro del modelamiento se aprecia la distribución de esfuerzos y convergencia final del túnel de manera que estos desplazamientos sean asumidos a través del sostenimiento con la separación de arcos calculada.
- Dentro del modelo final de la explotación concluimos que los incrementos de las presiones sobre el techo son asumidos por los machones de protección en los niveles inferiores antes de que se cause un derrumbe y asentamiento final de estrato superior.
- La separación final de los tacos dentro del tajo será de 0,6 m. teniendo en cuenta que las escaleras tienen una longitud final de 2,4 m. se recomienda no dejar espaciado entre escaleras.
- La instalación de canastas dentro del tajo se debe realizar cada diez metros teniendo en cuenta la distribución propuesta, intercalando la línea de canastas cada 2 calles para la seguridad de los trabajadores.
- Para el derrumbe dentro del tajo es aconsejable realizar entibación adicional con canastas en las zonas donde se presente desprendimiento de bloques de tamaño considerable, que por lo general esta condición se da en las zonas más cercanas al nivel inferior del tajo.
- De acuerdo al cálculo de los arcos se debe mantener una separación promedio de 0,9 m. con forro lateral de madera rolliza de unos 10 cm. De diámetro aproximadamente; para el forro de la parte superior de los arcos se recomienda la utilización de tablón para protección del personal.
- De acuerdo a los cálculos de convergencia del sostenimiento en arcos de acero se recomienda el cambio o fortificación de la sección para

cuando la convergencia final alcance un 30% en relación a su área y dimensiones de ancho y altura.

10.RECOMENDACIONES

- Para la explotación del manto Piedro y Bolas es fundamental considerar el dimensionamiento del machón de protección para el nivel inferior dado que para el nivel 500 estos niveles deben servir como guía para el siguiente corte.
- Dentro del área a considerar como susceptible a deformaciones es fundamental aplicar un sostenimiento que soporte la carga de techo calculada dentro del cálculo de Presión minera.
- De acuerdo a la magnitud de la carga que se calcula descansa sobre la excavación es recomendable tomar en cuenta la separación máxima permitida por metro cuadrado sobre el arco, en este caso vendría siendo una separación para arcos THN-21 de 0,8 m. a 0,9 m.
- Para poder optimizar el rendimiento para secciones en arco de acero de 6 m² es fundamental tomar en cuenta que según las condiciones mostradas por los respaldos de los mantos se debe aplicar arcos THN-28 O THN-30 según los cálculos mostrados en el estudio.
- Dentro del diseño de orientación de los túneles es recomendable que se considere este método de acceso a los mantos a través de niveles en roca dadas las condiciones de inestabilidad en los respaldos próximos a los mantos.

BIBLIOGRAFIA

JUAREZ. Rafael. Sostenimiento en minas de carbón con entibación hidráulica individual, Universidad politécnica de Madrid, Madrid. 2003.

Bieniawski. Rock mechanics design in mining and tunneling, Rotterdam: AA. Balkeman. 1984



Blanco. Roberto. Mecánica de Rocas, cálculo de la presión minera.

DIN, Catálogo de calidades para aceros.

ANEXOS

ANEXO 3

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA MUESTRAS DE TECHO MANTO PIEDRO



	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISIÓN DE RESULTADOS INFORME DE EMISIÓN DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSIÓN	
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS		
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)		
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:
DIRECCIÓN:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:
TELÉFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:
		CONSECUTIVO:
		COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
		832010019-0
		NIT:
		832010019-0
		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	
LOCALIZACIÓN:	FECHA: ABRIL DE 2017	
MUESTRA:	M38	
	MANTO	MUESTRA Nº
	33	38
	TECHO PIEDRO	N
		1083303
		E
		1042214,4
		Z
		2413
		TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	0,8	0,00103359	497,91	0,50
20	1,7	0,00206718	1058,05	1,06
30	2,7	0,00310078	1680,43	1,68
40	4	0,00413437	2489,53	2,49
50	5,7	0,00516796	3547,58	3,55
60	8,1	0,00620155	5041,29	5,04
70	10,2	0,00723514	6348,30	6,35
80	14,5	0,00826873	9024,54	9,02
90	17,1	0,00930233	10642,73	10,64
100	18,8	0,01033592	11700,78	11,70
110	22,4	0,01136951	13941,35	13,94
120	27,2	0,01240310	16928,79	16,93
130	28,6	0,01343669	17800,12	17,80
140	30,9	0,01447028	19231,60	19,23
150	36,5	0,01550388	22716,94	22,72
160	41,7	0,01653747	25953,32	25,95
170	43,9	0,01757106	27322,56	27,32
180	43,3	0,01860465	26949,14	26,95


No. DE MUESTRA	M38
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	9,675
DIÁMETRO (cm)	4,523
PESO MUESTRA (gr)	402,500
AREA (cm²)	16,087
VOLUMEN (cm³)	155,451
γ (gr/cm³)	2,589

σ _d (MPa)	27,32
Ei (MPa)	1582,81

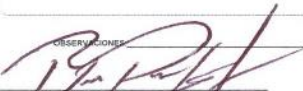
σ _d (MPa)	27,32
Resist (KN)	43,9

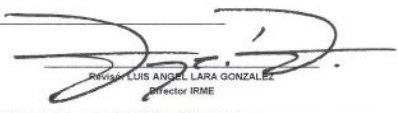
Esfuerzo vs Deformación unitaria



OBSERVACIONES



Rafael HERNANDEZ PEREZ ESPITIA
Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
Laboratorista



Luis ANGELO LARA GONZALEZ
Ingeniero IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
			E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION:	
MUESTRA:	M39
	FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
34	TECHO PIEDRO	39	1083303	1042214,4	2413
					TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	1,3	0,00105652	811,97	0,81
20	2,8	0,00211305	1748,85	1,75
30	4	0,00316957	2498,36	2,50
40	5,9	0,00422610	3685,08	3,69
50	8,1	0,00528262	5059,17	5,06
60	13,5	0,00633914	8431,96	8,43
70	18,8	0,00739567	11742,28	11,74
80	23,7	0,00845219	14802,77	14,80
90	29,8	0,00950872	18612,76	18,61
100	35,6	0,01056524	22235,38	22,24
110	39,9	0,01162176	24921,12	24,92
120	45,3	0,01267829	28293,90	28,29
130	49,2	0,01373481	30729,80	30,73
140	54,4	0,01479134	33977,66	33,98
150	56,0	0,01584786	34977,01	34,98
160	54,8	0,01690438	34227,50	34,23

No. DE MUESTRA	M39
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,465
DIAMETRO (cm)	4,515
PESO MUESTRA (gr)	396,400
AREA (cm²)	16,011
VOLUMEN (cm³)	151,540
γ (gr/cm³)	2,616

σ _B (MPa)	34,98
E (MPa)	3074,1

σ _B (MPa)	34,98
Resist (KN)	56,0



OBSERVACIONES

 Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITIA
 Ing. Geologo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorista

Realizó: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
			E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION:	
MUESTRA:	M40
	FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z	
35	TECHO PIEDRO	40	1083303	1042214,4	2413
					TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0.01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.0000000	0.00	0.00
10	0.5	0.00104635	309.41	0.31
20	0.8	0.00209271	495.06	0.50
30	3.6	0.00313906	2227.75	2.23
40	7.1	0.00418541	4393.62	4.39
50	9.3	0.00523177	5755.02	5.76
60	11.7	0.00627812	7240.19	7.24
70	15.1	0.00732447	9344.18	9.34
80	19	0.00837083	11757.57	11.76
90	22.9	0.00941718	14170.97	14.17
100	28.5	0.01046353	17636.36	17.64
110	33.8	0.01150989	20916.10	20.92
120	41	0.01255624	25371.60	25.37
130	49.9	0.01360259	30879.10	30.88
140	52.8	0.01464895	32673.67	32.67
150	58.4	0.01569530	36139.06	36.14
160	57.3	0.01674166	35458.36	35.46

No. DE MUESTRA	M40
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9.557
DIAMETRO (cm)	4.536
PESO MUESTRA (gr)	400.200
AREA (cm²)	16.160
VOLUMEN (cm³)	154.439
γ (gr/cm³)	2.591

σ _u (MPa)	36,14
Ei (MPa)	2650,77

σ _u (MPa)	36,14
Resist (KN)	58,4



OBSERVACIONES

 Realiza: RAFAEL HERNANDO PEREZ ESPITA
 Ing. Geologo - Esp. Geotecnia Via)
 Laboratorista

Realiza: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
			NIT: 832010019-0
			E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION:	
MUESTRA:	M41
	FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z	
36	TECHO PIEDRO	01	1083303	1042214,4	2413
					TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00000000	0.00	0.00
10	1	0.00111757	606.19	0.61
20	1,4	0.00223514	848.67	0.85
30	2,5	0.00335270	1515.48	1.52
40	2,3	0.00447027	1394.24	1.39
50	3	0.00558784	1818.58	1.82
60	4,5	0.00670541	2727.87	2.73
70	5,9	0.00782298	3576.53	3.58
80	9,3	0.00894055	5637.59	5.64
90	13,2	0.01005811	8001.74	8.00
100	17,6	0.01117568	10668.98	10.67
110	20,9	0.01229325	12669.42	12.67
120	26,7	0.01341082	16185.33	16.19
130	32,6	0.01452839	19761.87	19.76
140	38,4	0.01564595	23277.78	23.28
150	44,7	0.01676352	27096.80	27.10
160	50,3	0.01788109	30491.47	30.49
170	56,8	0.01899866	34431.72	34.43
180	61,0	0.02011623	36977.73	36.98
190	63,0	0.02123380	38190.11	38.19
200	65,2	0.02235136	39523.74	39.52
210	64,7	0.02346893	39220.64	39.22

No. DE MUESTRA	M41
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	8,948
DIAMETRO (cm)	4,583
PESO MUESTRA (gr)	379,200
AREA (cm²)	16,496
VOLUMEN (cm³)	147,610
γ (gr/cm³)	2,569

σ _u (MPa)	39,52
Ei (MPa)	2996,14

σ _u (MPa)	39,52
Resist (KN)	65,2



OBSERVACIONES:

 Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITIA
 Ing. Geologo - Esp. Geotecnia Vía
 Laboratorista

Revisó: JOSE ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
			NIT: 832010019-0
			E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION:	M42
MUESTRA:	FECHA: ABRIL DE 2017

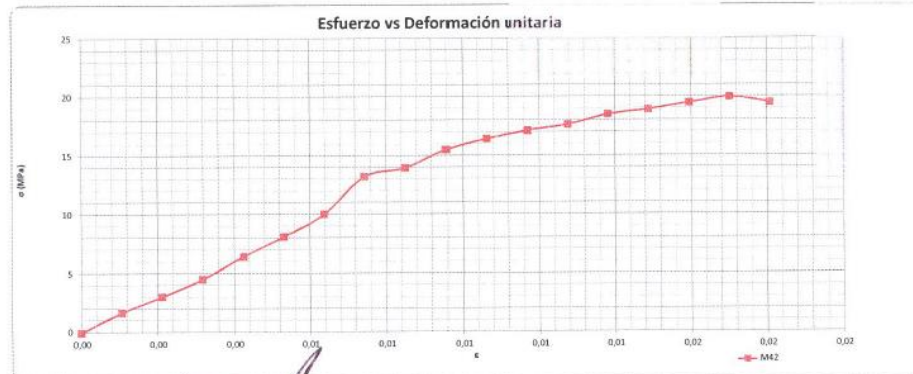
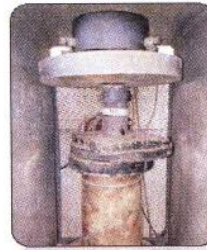
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
37	TECHO PIEDRO	42	1083303	1042214,4	2413
					TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	2,8	0,00106406	1728,12	1,73
20	5	0,00212811	3085,93	3,09
30	7,4	0,00319217	4567,17	4,57
40	10,5	0,00425622	6480,45	6,48
50	13,2	0,00532028	8146,85	8,15
60	16,3	0,00638434	10060,13	10,06
70	21,5	0,00744839	13269,49	13,27
80	22,7	0,00851245	14010,12	14,01
90	25,2	0,00957651	15553,08	15,55
100	26,7	0,01064056	16478,86	16,48
110	27,8	0,01170462	17157,76	17,16
120	28,6	0,01276867	17651,51	17,65
130	30	0,01383273	18515,57	18,52
140	30,7	0,01489679	18947,60	18,95
150	31,6	0,01596084	19503,07	19,50
160	32,4	0,01702490	19996,82	20,00
170	31,6	0,01808896	19503,07	19,50

No. DE MUESTRA	M42
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,398
DIAMETRO (cm)	4,542
PESO MUESTRA (gr)	398,100
AREA (cm²)	16,203
VOLUMEN (cm³)	152,272
γ (gr/cm³)	2,614

σ _B (MPa)	20,00
EI (MPa)	633,06

σ _B (MPa)	20,00
Resist (KN)	32,4














OBSERVACIONES:

 Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITIA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia V
 Laboratorista

Realizó: LUIS ANGEZ LARA GONZALEZ
 Director IRME

ANEXO 4

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA MUESTRAS DE PISO MANTO PIEDRO

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISIÓN DE RESULTADOS INFORME DE EMISIÓN DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSIÓN																																																																																																																																													
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1																																																																																																																																												
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS																																																																																																																																														
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)																																																																																																																																														
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS																																																																																																																																														
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:																																																																																																																																												
DIRECCIÓN:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:																																																																																																																																												
TELÉFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:																																																																																																																																												
		CONSECUTIVO: 20170314-003																																																																																																																																												
		COLUMBIA COAL COMPANY S.A.																																																																																																																																												
		832010019-0																																																																																																																																												
		NIT: 832010019-0																																																																																																																																												
		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com																																																																																																																																												
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18																																																																																																																																													
LOCALIZACIÓN:	M43																																																																																																																																													
MUESTRA:	FECHA: ABRIL DE 2017																																																																																																																																													
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th>MANTO</th> <th>MUESTRA Nº</th> <th>N</th> <th>E</th> <th>Z</th> </tr> <tr> <td>38</td> <td>PISO PIEDRO</td> <td>03</td> <td>1042214A</td> <td>2432</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">TABLÓN</td> </tr> </table>			MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	38	PISO PIEDRO	03	1042214A	2432	TABLÓN																																																																																																																																	
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z																																																																																																																																										
38	PISO PIEDRO	03	1042214A	2432																																																																																																																																										
TABLÓN																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)</th> <th>RESISTENCIA A (KN)</th> <th>DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)</th> <th>ESFUERZO (KPa)</th> <th>ESFUERZO (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0,00000000</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,4</td><td>0,00105899</td><td>3326,94</td><td>3,33</td></tr> <tr><td>20</td><td>7,1</td><td>0,00211797</td><td>4374,31</td><td>4,37</td></tr> <tr><td>30</td><td>8,7</td><td>0,00317696</td><td>5360,07</td><td>5,36</td></tr> <tr><td>40</td><td>10,5</td><td>0,00423594</td><td>6459,05</td><td>6,47</td></tr> <tr><td>50</td><td>12,8</td><td>0,00529493</td><td>7886,08</td><td>7,89</td></tr> <tr><td>60</td><td>14,8</td><td>0,00635391</td><td>8995,06</td><td>9,00</td></tr> <tr><td>70</td><td>16,6</td><td>0,00741290</td><td>10227,26</td><td>10,23</td></tr> <tr><td>80</td><td>18,1</td><td>0,00847188</td><td>11151,41</td><td>11,15</td></tr> <tr><td>90</td><td>19,8</td><td>0,00953087</td><td>12198,78</td><td>12,20</td></tr> <tr><td>100</td><td>21,1</td><td>0,01058985</td><td>12999,71</td><td>13,00</td></tr> <tr><td>110</td><td>22,7</td><td>0,01164884</td><td>13985,47</td><td>13,99</td></tr> <tr><td>120</td><td>23,8</td><td>0,01270783</td><td>14663,18</td><td>14,66</td></tr> <tr><td>130</td><td>24,4</td><td>0,01376681</td><td>15032,84</td><td>15,03</td></tr> <tr><td>140</td><td>25,3</td><td>0,01482580</td><td>15587,33</td><td>15,59</td></tr> <tr><td>150</td><td>26,1</td><td>0,01588478</td><td>16080,21</td><td>16,08</td></tr> <tr><td>160</td><td>26,8</td><td>0,01694377</td><td>16511,48</td><td>16,51</td></tr> <tr><td>170</td><td>27,5</td><td>0,01800275</td><td>16942,75</td><td>16,94</td></tr> <tr><td>180</td><td>28,3</td><td>0,01906174</td><td>17435,63</td><td>17,44</td></tr> <tr><td>190</td><td>28,7</td><td>0,02012072</td><td>17682,07</td><td>17,68</td></tr> <tr><td>200</td><td>29,2</td><td>0,02117971</td><td>17990,12</td><td>17,99</td></tr> <tr><td>210</td><td>29,7</td><td>0,02223870</td><td>18298,17</td><td>18,30</td></tr> <tr><td>220</td><td>30,1</td><td>0,02329768</td><td>18544,61</td><td>18,54</td></tr> <tr><td>230</td><td>30,4</td><td>0,02435667</td><td>18729,44</td><td>18,73</td></tr> <tr><td>240</td><td>30,7</td><td>0,02541565</td><td>18914,27</td><td>18,91</td></tr> <tr><td>250</td><td>30,9</td><td>0,02647464</td><td>19037,49</td><td>19,04</td></tr> <tr><td>260</td><td>30,2</td><td>0,02753362</td><td>18606,22</td><td>18,61</td></tr> </tbody> </table>			DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)	0	0	0,00000000	0,00	0,00	10	5,4	0,00105899	3326,94	3,33	20	7,1	0,00211797	4374,31	4,37	30	8,7	0,00317696	5360,07	5,36	40	10,5	0,00423594	6459,05	6,47	50	12,8	0,00529493	7886,08	7,89	60	14,8	0,00635391	8995,06	9,00	70	16,6	0,00741290	10227,26	10,23	80	18,1	0,00847188	11151,41	11,15	90	19,8	0,00953087	12198,78	12,20	100	21,1	0,01058985	12999,71	13,00	110	22,7	0,01164884	13985,47	13,99	120	23,8	0,01270783	14663,18	14,66	130	24,4	0,01376681	15032,84	15,03	140	25,3	0,01482580	15587,33	15,59	150	26,1	0,01588478	16080,21	16,08	160	26,8	0,01694377	16511,48	16,51	170	27,5	0,01800275	16942,75	16,94	180	28,3	0,01906174	17435,63	17,44	190	28,7	0,02012072	17682,07	17,68	200	29,2	0,02117971	17990,12	17,99	210	29,7	0,02223870	18298,17	18,30	220	30,1	0,02329768	18544,61	18,54	230	30,4	0,02435667	18729,44	18,73	240	30,7	0,02541565	18914,27	18,91	250	30,9	0,02647464	19037,49	19,04	260	30,2	0,02753362	18606,22	18,61
DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)																																																																																																																																										
0	0	0,00000000	0,00	0,00																																																																																																																																										
10	5,4	0,00105899	3326,94	3,33																																																																																																																																										
20	7,1	0,00211797	4374,31	4,37																																																																																																																																										
30	8,7	0,00317696	5360,07	5,36																																																																																																																																										
40	10,5	0,00423594	6459,05	6,47																																																																																																																																										
50	12,8	0,00529493	7886,08	7,89																																																																																																																																										
60	14,8	0,00635391	8995,06	9,00																																																																																																																																										
70	16,6	0,00741290	10227,26	10,23																																																																																																																																										
80	18,1	0,00847188	11151,41	11,15																																																																																																																																										
90	19,8	0,00953087	12198,78	12,20																																																																																																																																										
100	21,1	0,01058985	12999,71	13,00																																																																																																																																										
110	22,7	0,01164884	13985,47	13,99																																																																																																																																										
120	23,8	0,01270783	14663,18	14,66																																																																																																																																										
130	24,4	0,01376681	15032,84	15,03																																																																																																																																										
140	25,3	0,01482580	15587,33	15,59																																																																																																																																										
150	26,1	0,01588478	16080,21	16,08																																																																																																																																										
160	26,8	0,01694377	16511,48	16,51																																																																																																																																										
170	27,5	0,01800275	16942,75	16,94																																																																																																																																										
180	28,3	0,01906174	17435,63	17,44																																																																																																																																										
190	28,7	0,02012072	17682,07	17,68																																																																																																																																										
200	29,2	0,02117971	17990,12	17,99																																																																																																																																										
210	29,7	0,02223870	18298,17	18,30																																																																																																																																										
220	30,1	0,02329768	18544,61	18,54																																																																																																																																										
230	30,4	0,02435667	18729,44	18,73																																																																																																																																										
240	30,7	0,02541565	18914,27	18,91																																																																																																																																										
250	30,9	0,02647464	19037,49	19,04																																																																																																																																										
260	30,2	0,02753362	18606,22	18,61																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>No. DE MUESTRA</td><td>M43</td></tr> <tr><td>FORMA DE MUESTRA</td><td>cilíndrica</td></tr> <tr><td>ALTURA (cm)</td><td>9,443</td></tr> <tr><td>DIÁMETRO (cm)</td><td>4,546</td></tr> <tr><td>PESO MUESTRA (gr)</td><td>384,800</td></tr> <tr><td>AREA (cm²)</td><td>16,231</td></tr> <tr><td>VOLUMEN (cm³)</td><td>153,271</td></tr> <tr><td>γ (g/cm³)</td><td>2,511</td></tr> </table>			No. DE MUESTRA	M43	FORMA DE MUESTRA	cilíndrica	ALTURA (cm)	9,443	DIÁMETRO (cm)	4,546	PESO MUESTRA (gr)	384,800	AREA (cm²)	16,231	VOLUMEN (cm³)	153,271	γ (g/cm³)	2,511																																																																																																																												
No. DE MUESTRA	M43																																																																																																																																													
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica																																																																																																																																													
ALTURA (cm)	9,443																																																																																																																																													
DIÁMETRO (cm)	4,546																																																																																																																																													
PESO MUESTRA (gr)	384,800																																																																																																																																													
AREA (cm²)	16,231																																																																																																																																													
VOLUMEN (cm³)	153,271																																																																																																																																													
γ (g/cm³)	2,511																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>σ_u (MPa)</td><td>19,04</td></tr> <tr><td>ε_u (MPa)</td><td>421,7</td></tr> </table>			σ _u (MPa)	19,04	ε _u (MPa)	421,7																																																																																																																																								
σ _u (MPa)	19,04																																																																																																																																													
ε _u (MPa)	421,7																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>σ_c (MPa)</td><td>19,04</td></tr> <tr><td>Resist (KN)</td><td>30,9</td></tr> </table>			σ _c (MPa)	19,04	Resist (KN)	30,9																																																																																																																																								
σ _c (MPa)	19,04																																																																																																																																													
Resist (KN)	30,9																																																																																																																																													
 																																																																																																																																														
 <p style="text-align: center;">Esfuerzo vs Deformación unitaria</p>																																																																																																																																														
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  Revisó: RAFAEL BERNABÉ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia y Vial Laboratorista </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  Revisó: LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ Director IRME </td> </tr> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co</p>			 Revisó: RAFAEL BERNABÉ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia y Vial Laboratorista	 Revisó: LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ Director IRME																																																																																																																																										
 Revisó: RAFAEL BERNABÉ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia y Vial Laboratorista	 Revisó: LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ Director IRME																																																																																																																																													

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCIÓN:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELÉFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
		E-MAIL: edisongranados2@gmail.com	

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guacheta, Kilómetro 18		
LOCALIZACIÓN:			
MUESTRA:	M44	FECHA: ABRIL DE 2017	

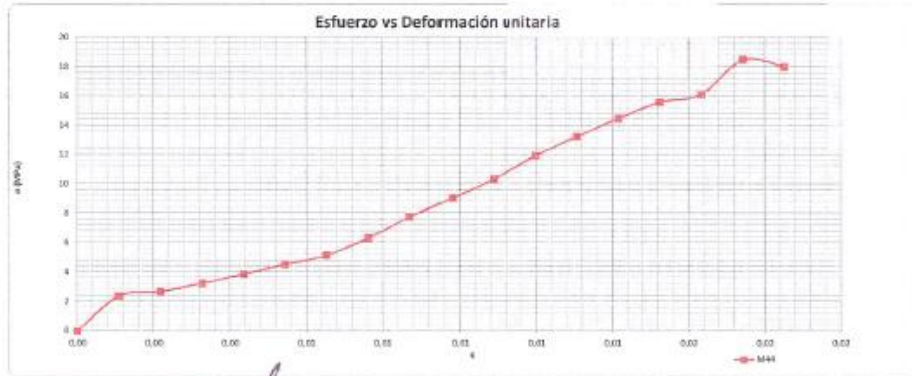
MARTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	TAURO
30	PISO PIEDRO	64	1043303	10422144	3412

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00000000	0.00	0.00
10	3.9	0.00108980	2408.06	2.41
20	4.4	0.00217960	2716.81	2.72
30	5.3	0.00326940	3272.53	3.27
40	6.3	0.00435920	3889.96	3.89
50	7.4	0.00544900	4569.19	4.57
60	8.4	0.00653880	5186.64	5.19
70	10.3	0.00762860	6359.81	6.36
80	12.6	0.00871840	7779.97	7.78
90	14.7	0.00980820	9076.63	9.08
100	16.8	0.01089799	10373.29	10.37
110	19.4	0.01198779	11978.68	11.98
120	21.5	0.01307759	13275.34	13.28
130	23.5	0.01416739	14510.25	14.51
140	25.3	0.01525719	15621.68	15.62
150	26.2	0.01634699	16177.39	16.18
160	30.0	0.01743679	18523.73	18.52
170	29.2	0.01852659	18029.76	18.03

No. DE MUESTRA	M44
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	9.176
DIÁMETRO (cm)	4.541
PESO MUESTRA (gr)	380.100
AREA (cm²)	16.195
VOLUMEN (cm³)	148.609
γ (gr/cm³)	2.425

σ _c (MPa)	18.52
E (MPa)	1222.19

σ _c (MPa)	18.52
Resist (KN)	30.0



Rafael Hernández Pérez Espita
 Inge. Geólogo - Esp. Geotécnica y
 Laboratorio

Ing. Luis Ángel Lara González
 Director IRME

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

L.S.R.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
			E-MAIL: edisongranados2@gmail.com
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18		
LOCALIZACION:	M45		
MUESTRA:	FECHA: ABRIL DE 2017		

MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	FECHA	
80	PISO PIEDRO	45	1083303	1042234,4	2432	TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	3,3	0,00105519	2041,20	2,04
20	4,6	0,00211037	2845,32	2,85
30	5,2	0,00316556	3218,44	3,22
40	6	0,00422074	3711,28	3,71
50	6,9	0,00527593	4267,97	4,27
60	9,9	0,00633112	6123,61	6,12
70	12,4	0,00738630	7669,98	7,67
80	15,3	0,00844149	9463,77	9,46
90	17,8	0,00949668	11010,13	11,01
100	20,3	0,01055186	12556,50	12,56
110	22,8	0,01160705	14102,87	14,10
120	24,7	0,01266223	15278,11	15,28
130	26,7	0,01371742	16515,20	16,52
140	28,5	0,01477261	17628,58	17,63
150	30,1	0,01582779	18618,26	18,62
160	31,3	0,01688298	19360,51	19,36
170	32,9	0,01793817	20350,19	20,35
180	33,7	0,01899336	20845,03	20,85
190	35,1	0,02004854	21710,99	21,71
200	34,6	0,02110372	21401,72	21,40

No. DE MUESTRA	M45
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	6,477
DIAMETRO (cm)	4,537
PESO MUESTRA (gr)	362,300
AREA (cm²)	16,167
VOLUMEN (cm³)	153,214
γ (gr/cm³)	2,495

σ _u (MPa)	21,71
f _i (MPa)	1237,41

σ _u (MPa)	21,71
Resist (KN)	35,1



CREACIONES

 REVISÓ: RAFAEL FERNANDO PEREZ ESPITIA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia y Suelo
 LABORATORIO

REVISÓ: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

L.S.R.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2168-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS

NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
 DIRECCIÓN: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0
 TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados2@gmail.com

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 LOCALIZACIÓN: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 MUESTRA: M46 FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	FECHA	
41	PISO PIEDRO	06	1083301	10422144	2412	TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00000000	0.00	0.00
10	3.7	0.00106724	2278.57	2.28
20	5.4	0.00213447	3325.48	3.33
30	7	0.00320171	4310.80	4.31
40	8.8	0.00426894	5419.30	5.42
50	11.1	0.00533618	6835.70	6.84
60	12.9	0.00640342	7944.20	7.94
70	14.9	0.00747065	9175.85	9.18
80	16.4	0.00853789	10099.60	10.10
90	18.1	0.00960512	11146.51	11.15
100	19.4	0.01067236	11947.08	11.95
110	21	0.01173959	12932.41	12.93
120	22.1	0.01280683	13609.82	13.61
130	22.7	0.01387407	13979.32	13.98
140	23.6	0.01494130	14533.57	14.53
150	24.4	0.01600854	15026.23	15.03
160	25.1	0.01707577	15457.31	15.46
170	25.8	0.01814301	15888.39	15.89
180	26.6	0.01921025	16381.05	16.38
190	27.0	0.02027748	16627.39	16.63
200	27.5	0.02134472	16935.30	16.94
210	28.0	0.02241195	17243.21	17.24
220	28.4	0.02347919	17489.55	17.49
230	28.7	0.02454642	17874.30	17.67
240	29.0	0.02561366	17859.04	17.86
250	29.2	0.02668090	17982.21	17.98
260	28.5	0.02774813	17551.13	17.55

No. DE MUESTRA	M46
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	9.370
DIAMETRO (cm)	4.547
PESO MUESTRA (gr)	379.900
AREA (cm ²)	16.238
VOLUMEN (cm ³)	152.153
γ (gr/cm ³)	2.497

σ _c (MPa)	17.98
E (MPa)	438.26

σ _c (MPa)	17.98
Resist (KN)	29.2





Rafael Hernández Pérez Espitia
 Inge. Geólogo - Exp. Geotecnia Vías
 Laboratorista

Luis Ángel Lara González
 Director IRME

ANEXO 5

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA MUESTRAS DE PISO MANTO BOLAS



	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISIÓN DE RESULTADOS INFORME DE EMISIÓN DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSIÓN	
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS		
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)		
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:
DIRECCIÓN:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:
TELÉFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	
LOCALIZACIÓN:	FECHA: ABRIL DE 2017	
MUESTRA:	M47	

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0.00000000	0.00	0.00
10	3.5	0.00107147	2167.78	2.17
20	4.4	0.00214293	2725.21	2.73
30	5.7	0.00321440	3530.38	3.53
40	7.5	0.00428587	4645.24	4.65
50	9.8	0.00535733	6059.78	6.07
60	12.3	0.00642880	7618.20	7.62
70	15.3	0.00750027	9475.29	9.48
80	18	0.00857173	11148.58	11.15
90	20.4	0.00964320	12635.06	12.64
100	21.9	0.01071467	13564.11	13.56
110	24.1	0.01178614	14925.71	14.93
120	25.5	0.01285760	15793.82	15.79
130	27	0.01392907	16722.87	16.72
140	28.7	0.01500054	17775.79	17.78
150	30.2	0.01607200	18704.84	18.70
160	31.3	0.01714347	19386.14	19.39
170	32.1	0.01821494	19881.64	19.88
180	21.3	0.01928640	13192.49	13.19


No. DE MUESTRA	M47
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	9.333
DIÁMETRO (cm)	4.534
PESO MUESTRA (gr)	401.500
ÁREA (cm²)	16.146
VOLUMEN (cm³)	150.686
γ (gr/cm³)	2.665


σ _c (MPa)	19,88
E (MPa)	1111,97

σ _{c1} (MPa)	19,88
Resist (KN)	32,1





Esfuerzo vs Deformación unitaria





Nombre: RAFAEL HERNANDO PÉREZ ESPINOZA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vías
 Laboratorista



Nombre: RAFAEL LUIS ALBEL LARA GONZÁLEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15-134 Sogamoso (Boyacá) . Tels: 7723517/16 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

L.S.R.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 6100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
PROYECTO:		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	

LOCALIZACIÓN:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilometro 18		
MUESTRA:	M48A	FECHA: ABRIL DE 2017	

MARTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
43	PISO BOJAS	48 A	1043703.5	1042990.9	2434
TAURO					

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0.01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0.00000000	0.00	0.00
10	4.7	0.00104221	2864.24	2.88
20	5.8	0.00208442	3436.54	3.44
30	6.9	0.00312663	4234.31	4.23
40	13.9	0.00416884	8529.98	8.53
50	23.9	0.00521105	14052.99	14.05
60	31.3	0.00625326	19207.80	19.21
70	34.5	0.00729547	21171.54	21.17
80	37.6	0.00833768	23073.91	23.07
90	40.3	0.00937989	24730.81	24.73
100	41.2	0.01042209	25283.11	25.28
110	41.9	0.01146430	25712.68	25.71
120	42.6	0.01250651	26142.25	26.14
130	43	0.01354872	26387.72	26.39
140	43.7	0.01459093	26817.28	26.82
150	43.9	0.01563314	26940.02	26.94
160	44.5	0.01667535	27308.22	27.31
170	44.9	0.01771756	27553.69	27.55
180	45.2	0.01875977	27737.76	27.74
190	45.5	0.01980198	27921.89	27.92
200	46	0.02084419	28226.72	28.23
210	46.6	0.02188640	27983.25	27.96
220	48.2	0.02292861	29578.79	29.58
230	50.7	0.02397082	31112.96	31.11
240	52.1	0.02501303	31972.09	31.97
250	53.2	0.02605524	32647.13	32.65
260	55.5	0.02709745	34068.66	34.06
270	56.8	0.02813966	34866.33	34.86
280	55.9	0.02918187	34304.03	34.30

No. DE MUESTRA	M48A
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9.595
DIAMETRO (cm)	4.555
PESO MUESTRA (gr)	414.300
AREA (cm²)	16.295
VOLUMEN (cm³)	159.355
γ (gr/cm³)	2.650

σ _p (MPa)	34,86
σ (MPa)	258,36




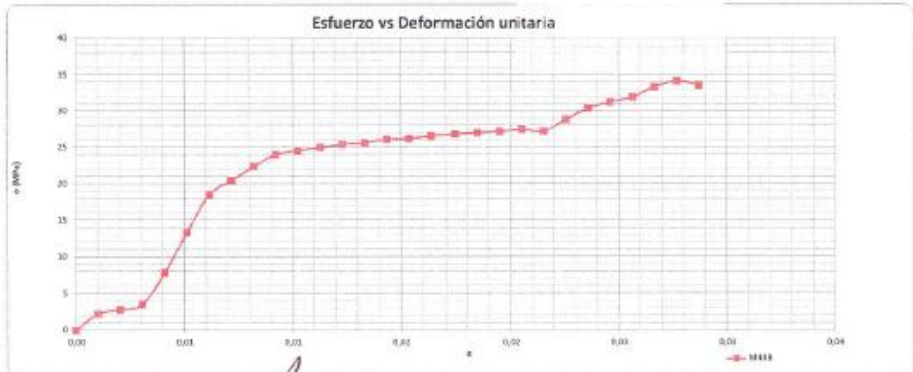






σ _u (MPa)	34,86
Resist (KN)	58,8



OBSERVACIONES:
[Signature]
 Realizó: RAFAEL HERNANDO PEREZ ESPINOSA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorio

[Signature]
 Revisó: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723617/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635, Email: irme@uptc.edu.co

																																																																																																																																																																															
MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION																																																																																																																																																																															
Código: A-GL-E01-F03 Versión: 03 Página 1 de 1																																																																																																																																																																															
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS																																																																																																																																																																															
																																																																																																																																																																															
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)																																																																																																																																																																															
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS																																																																																																																																																																															
NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0 TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com																																																																																																																																																																															
PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18 LOCALIZACIÓN: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18 MUESTRA: M48B FECHA: ABRIL DE 2017																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>MANTO</th> <th>MUESTRA N°</th> <th>N</th> <th>E</th> <th>Z</th> <th></th> </tr> <tr> <td>43</td> <td>PISO ROJAS</td> <td>48B</td> <td>1082703,5</td> <td>1042490,9</td> <td>2416</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>TAURO</td> </tr> </table>	MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z		43	PISO ROJAS	48B	1082703,5	1042490,9	2416						TAURO																																																																																																																																																													
MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z																																																																																																																																																																											
43	PISO ROJAS	48B	1082703,5	1042490,9	2416																																																																																																																																																																										
					TAURO																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)</th> <th>RESISTENCIA A (KN)</th> <th>DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)</th> <th>ESFUERZO (KPa)</th> <th>ESFUERZO (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0.00000000</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>10</td><td>3.7</td><td>0.00102606</td><td>2267.58</td><td>2.27</td></tr> <tr><td>20</td><td>4.8</td><td>0.00205212</td><td>2819.16</td><td>2.82</td></tr> <tr><td>30</td><td>5.9</td><td>0.00307819</td><td>3615.88</td><td>3.62</td></tr> <tr><td>40</td><td>12.9</td><td>0.00410425</td><td>7905.90</td><td>7.91</td></tr> <tr><td>50</td><td>21.9</td><td>0.00513031</td><td>13421.64</td><td>13.42</td></tr> <tr><td>60</td><td>30.3</td><td>0.00615637</td><td>18569.67</td><td>18.57</td></tr> <tr><td>70</td><td>33.5</td><td>0.00718243</td><td>20530.82</td><td>20.53</td></tr> <tr><td>80</td><td>36.6</td><td>0.00820850</td><td>22430.69</td><td>22.43</td></tr> <tr><td>90</td><td>39.3</td><td>0.00923456</td><td>24085.41</td><td>24.09</td></tr> <tr><td>100</td><td>40.2</td><td>0.01026062</td><td>24636.98</td><td>24.64</td></tr> <tr><td>110</td><td>40.9</td><td>0.01128668</td><td>25065.99</td><td>25.07</td></tr> <tr><td>120</td><td>41.8</td><td>0.01231274</td><td>25494.99</td><td>25.49</td></tr> <tr><td>130</td><td>42</td><td>0.01333881</td><td>25740.13</td><td>25.74</td></tr> <tr><td>140</td><td>42.7</td><td>0.01436487</td><td>26189.13</td><td>26.17</td></tr> <tr><td>150</td><td>42.9</td><td>0.01539093</td><td>26291.71</td><td>26.29</td></tr> <tr><td>160</td><td>43.5</td><td>0.01641699</td><td>26659.42</td><td>26.66</td></tr> <tr><td>170</td><td>43.9</td><td>0.01744305</td><td>26904.57</td><td>26.90</td></tr> <tr><td>180</td><td>44.7</td><td>0.01846912</td><td>27088.42</td><td>27.09</td></tr> <tr><td>190</td><td>44.5</td><td>0.01949518</td><td>27272.28</td><td>27.27</td></tr> <tr><td>200</td><td>45</td><td>0.02052124</td><td>27578.71</td><td>27.58</td></tr> <tr><td>210</td><td>44.6</td><td>0.02154730</td><td>27333.57</td><td>27.33</td></tr> <tr><td>220</td><td>47.2</td><td>0.02257336</td><td>28927.01</td><td>28.93</td></tr> <tr><td>230</td><td>49.7</td><td>0.02359943</td><td>30459.16</td><td>30.46</td></tr> <tr><td>240</td><td>51.1</td><td>0.02462549</td><td>31317.16</td><td>31.32</td></tr> <tr><td>250</td><td>52.2</td><td>0.02565155</td><td>31991.31</td><td>31.99</td></tr> <tr><td>260</td><td>54.5</td><td>0.02667761</td><td>33400.89</td><td>33.40</td></tr> <tr><td>270</td><td>55.8</td><td>0.02770367</td><td>34197.60</td><td>34.20</td></tr> <tr><td>280</td><td>54.9</td><td>0.02872974</td><td>33646.03</td><td>33.65</td></tr> </tbody> </table>	DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)	0	0	0.00000000	0.00	0.00	10	3.7	0.00102606	2267.58	2.27	20	4.8	0.00205212	2819.16	2.82	30	5.9	0.00307819	3615.88	3.62	40	12.9	0.00410425	7905.90	7.91	50	21.9	0.00513031	13421.64	13.42	60	30.3	0.00615637	18569.67	18.57	70	33.5	0.00718243	20530.82	20.53	80	36.6	0.00820850	22430.69	22.43	90	39.3	0.00923456	24085.41	24.09	100	40.2	0.01026062	24636.98	24.64	110	40.9	0.01128668	25065.99	25.07	120	41.8	0.01231274	25494.99	25.49	130	42	0.01333881	25740.13	25.74	140	42.7	0.01436487	26189.13	26.17	150	42.9	0.01539093	26291.71	26.29	160	43.5	0.01641699	26659.42	26.66	170	43.9	0.01744305	26904.57	26.90	180	44.7	0.01846912	27088.42	27.09	190	44.5	0.01949518	27272.28	27.27	200	45	0.02052124	27578.71	27.58	210	44.6	0.02154730	27333.57	27.33	220	47.2	0.02257336	28927.01	28.93	230	49.7	0.02359943	30459.16	30.46	240	51.1	0.02462549	31317.16	31.32	250	52.2	0.02565155	31991.31	31.99	260	54.5	0.02667761	33400.89	33.40	270	55.8	0.02770367	34197.60	34.20	280	54.9	0.02872974	33646.03	33.65	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>No. DE MUESTRA</td><td>M48B</td></tr> <tr><td>FORMA DE MUESTRA</td><td>cilíndrica</td></tr> <tr><td>Al. TURA (cm)</td><td>9.746</td></tr> <tr><td>DIAMETRO (cm)</td><td>4.558</td></tr> <tr><td>PESO MUESTRA (gr)</td><td>417.500</td></tr> <tr><td>AREA (cm²)</td><td>16.317</td></tr> <tr><td>VOLUMEN (cm³)</td><td>159.026</td></tr> <tr><td>γ (gr/cm³)</td><td>2.625</td></tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>σ_c (MPa)</td><td>34.20</td></tr> <tr><td>Ei (MPa)</td><td>262.09</td></tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>σ_c (MPa)</td><td>34.20</td></tr> <tr><td>Resist (KN)</td><td>55.8</td></tr> </table>	No. DE MUESTRA	M48B	FORMA DE MUESTRA	cilíndrica	Al. TURA (cm)	9.746	DIAMETRO (cm)	4.558	PESO MUESTRA (gr)	417.500	AREA (cm²)	16.317	VOLUMEN (cm³)	159.026	γ (gr/cm³)	2.625	σ _c (MPa)	34.20	Ei (MPa)	262.09	σ _c (MPa)	34.20	Resist (KN)	55.8
DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)																																																																																																																																																																											
0	0	0.00000000	0.00	0.00																																																																																																																																																																											
10	3.7	0.00102606	2267.58	2.27																																																																																																																																																																											
20	4.8	0.00205212	2819.16	2.82																																																																																																																																																																											
30	5.9	0.00307819	3615.88	3.62																																																																																																																																																																											
40	12.9	0.00410425	7905.90	7.91																																																																																																																																																																											
50	21.9	0.00513031	13421.64	13.42																																																																																																																																																																											
60	30.3	0.00615637	18569.67	18.57																																																																																																																																																																											
70	33.5	0.00718243	20530.82	20.53																																																																																																																																																																											
80	36.6	0.00820850	22430.69	22.43																																																																																																																																																																											
90	39.3	0.00923456	24085.41	24.09																																																																																																																																																																											
100	40.2	0.01026062	24636.98	24.64																																																																																																																																																																											
110	40.9	0.01128668	25065.99	25.07																																																																																																																																																																											
120	41.8	0.01231274	25494.99	25.49																																																																																																																																																																											
130	42	0.01333881	25740.13	25.74																																																																																																																																																																											
140	42.7	0.01436487	26189.13	26.17																																																																																																																																																																											
150	42.9	0.01539093	26291.71	26.29																																																																																																																																																																											
160	43.5	0.01641699	26659.42	26.66																																																																																																																																																																											
170	43.9	0.01744305	26904.57	26.90																																																																																																																																																																											
180	44.7	0.01846912	27088.42	27.09																																																																																																																																																																											
190	44.5	0.01949518	27272.28	27.27																																																																																																																																																																											
200	45	0.02052124	27578.71	27.58																																																																																																																																																																											
210	44.6	0.02154730	27333.57	27.33																																																																																																																																																																											
220	47.2	0.02257336	28927.01	28.93																																																																																																																																																																											
230	49.7	0.02359943	30459.16	30.46																																																																																																																																																																											
240	51.1	0.02462549	31317.16	31.32																																																																																																																																																																											
250	52.2	0.02565155	31991.31	31.99																																																																																																																																																																											
260	54.5	0.02667761	33400.89	33.40																																																																																																																																																																											
270	55.8	0.02770367	34197.60	34.20																																																																																																																																																																											
280	54.9	0.02872974	33646.03	33.65																																																																																																																																																																											
No. DE MUESTRA	M48B																																																																																																																																																																														
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica																																																																																																																																																																														
Al. TURA (cm)	9.746																																																																																																																																																																														
DIAMETRO (cm)	4.558																																																																																																																																																																														
PESO MUESTRA (gr)	417.500																																																																																																																																																																														
AREA (cm²)	16.317																																																																																																																																																																														
VOLUMEN (cm³)	159.026																																																																																																																																																																														
γ (gr/cm³)	2.625																																																																																																																																																																														
σ _c (MPa)	34.20																																																																																																																																																																														
Ei (MPa)	262.09																																																																																																																																																																														
σ _c (MPa)	34.20																																																																																																																																																																														
Resist (KN)	55.8																																																																																																																																																																														
																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Esfuerzo vs Deformación unitaria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">σ (MPa)</td> <td style="text-align: center;">ε</td> </tr> </tbody> </table> 	Esfuerzo vs Deformación unitaria		σ (MPa)	ε																																																																																																																																																																											
Esfuerzo vs Deformación unitaria																																																																																																																																																																															
σ (MPa)	ε																																																																																																																																																																														
<table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%; text-align: center;">  Rafael RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia VRI Laboratorio </td> <td style="width:50%; text-align: center;">  Revisó: LUIS ÁNGEL LARA OCMPO Director IRMS </td> </tr> </table>	 Rafael RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia VRI Laboratorio	 Revisó: LUIS ÁNGEL LARA OCMPO Director IRMS																																																																																																																																																																													
 Rafael RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ ESPITA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia VRI Laboratorio	 Revisó: LUIS ÁNGEL LARA OCMPO Director IRMS																																																																																																																																																																														
Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: ifime@uptc.edu.co																																																																																																																																																																															



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

L.S.R.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
PROYECTO:		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	

LOCALIZACION:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	FECHA:	ABRIL DE 2017
MUESTRA:	M49A		

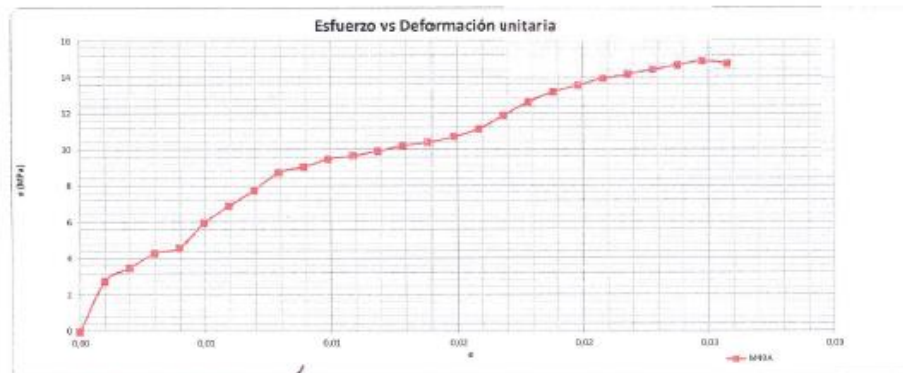
MANTO	MUESTRA Nº	R	E	Z	TAURO
44	49 A	1083703,5	1042490,9	2416	

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	4,5	0,00099030	2778,56	2,78
20	8,7	0,00198059	3519,51	3,52
30	7	0,00297089	4322,20	4,32
40	7,5	0,00396118	4630,93	4,63
50	8,7	0,00495148	5989,34	5,99
60	11,2	0,00594177	6915,52	6,92
70	12,5	0,00693207	7779,97	7,78
80	14,2	0,00792236	8767,90	8,77
90	14,7	0,00891266	9076,83	9,08
100	15,4	0,00990295	9508,85	9,51
110	15,7	0,01089325	9694,08	9,69
120	16,1	0,01188354	9941,07	9,94
130	16,6	0,01287384	10249,80	10,25
140	16,9	0,01386413	10435,03	10,44
150	17,4	0,01485443	10743,76	10,74
160	18,1	0,01584472	11175,98	11,18
170	19,3	0,01683502	11916,93	11,92
180	20,0	0,01782531	12697,86	12,66
190	21,4	0,01881561	13213,59	13,21
200	22,0	0,01980590	13684,07	13,58
210	22,8	0,02079620	13954,54	13,95
220	23,0	0,02178649	14201,52	14,20
230	23,4	0,02277679	14448,51	14,45
240	23,8	0,02376708	14695,49	14,70
250	24,2	0,02475738	14942,47	14,94
260	23,9	0,02574767	14757,24	14,76

Na. DE MUESTRA	M49A
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	10,098
DIAMETRO (cm)	4,541
PESO MUESTRA (gr)	435,200
AREA (cm²)	16,195
VOLUMEN (cm³)	163,542
γ (gr/cm³)	2,661



σ _u (MPa)	14,94
σ _i (MPa)	411,82

σ _u (MPa)	14,94
Resist (KN)	24,2



Observaciones:
Rafael Hermán Pérez Espitia
 Rafael HERMÁN PÉREZ ESPITIA
 Ing. Geólogo - Exp. Geotecnia Vías
 Laboratorista

Luis Ángel Lara González
 Luis ÁNGEL LARA GONZÁLEZ
 Director IRME

MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION

Código: A-GL-E01-F03 Versión: 03 Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS CONSECUTIVO: 20170314-003
 NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
 DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0
 TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
MUESTRA: M49B FECHA: ABRIL DE 2017



MANITO	MUESTRA N°	N	E	Z	
44	PISO BOLAS	49 B	3083703,5	3042490,3	2434

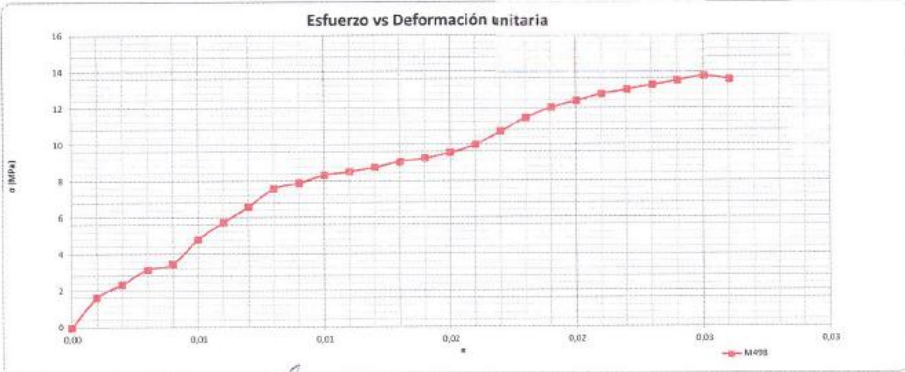
DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00000000	0,00	0,00
10	2,7	0.00100200	1659,82	1,66
20	3,9	0.00200401	2397,51	2,40
30	5,2	0.00300601	3196,68	3,20
40	5,7	0.00400802	3604,06	3,50
50	7,9	0.00501002	4856,50	4,86
60	9,4	0.00601202	5778,62	5,78
70	10,8	0.00701403	6639,27	6,64
80	12,4	0.00801603	7622,86	7,62
90	12,9	0.00901804	7930,24	7,93
100	13,5	0.01002004	8360,56	8,36
110	13,9	0.01102204	8544,98	8,54
120	14,3	0.01202405	8790,88	8,79
130	14,8	0.01302605	9098,26	9,10
140	15,1	0.01402806	9282,68	9,28
150	15,6	0.01503006	9590,05	9,59
160	16,3	0.01603206	10020,38	10,02
170	17,5	0.01703407	10758,07	10,76
180	18,7	0.01803607	11495,77	11,50
190	19,6	0.01903808	12049,04	12,05
200	20,2	0.02004008	12417,89	12,42
210	20,8	0.02104208	12786,74	12,79
220	21,2	0.02204409	13032,64	13,03
230	21,6	0.02304609	13276,54	13,28
240	22,0	0.02404810	13524,43	13,52
250	22,4	0.02505010	13770,33	13,77
260	22,1	0.02605210	13585,91	13,59

No. DE MUESTRA	M49B
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,980
DIAMETRO (cm)	4,551
PESO MUESTRA (gr)	427,300
AREA (cm ²)	16,267
VOLUMEN (cm ³)	162,343
γ (gr/cm ³)	2,632


σ _u (MPa)	13,77
Ei (MPa)	405,22


σ _u (MPa)	13,77
Resist (KN)	22,4



Esfuerzo vs Deformación unitaria


 Rafael FERNANDEZ PÉREZ ESPITIA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotécnia Vial
 Laboratorista


 Luis ANGELO LARA GONZALEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS

NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. CONSECUTIVO: 20170314-003

DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0

TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18

LOCALIZACION: MUESTRA: M50A FECHA: ABRIL DE 2017

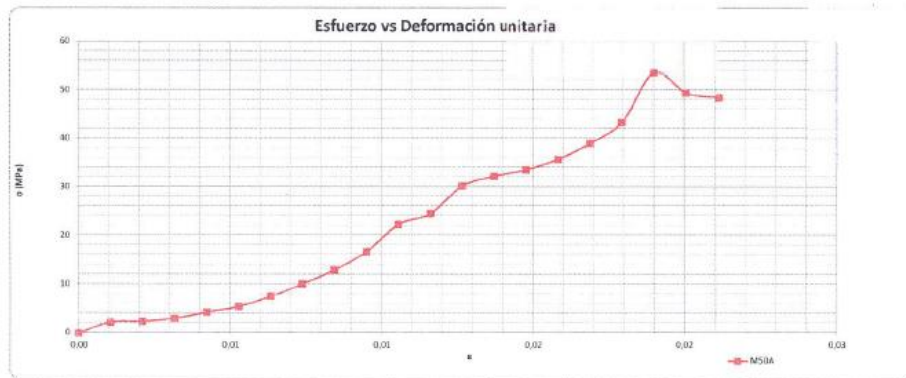
MARTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	TAURO
45	PISO BOLAS	50 A	10837025	1042490,9	2414

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	3,8	0,00105652	2218,94	2,22
20	3,9	0,00211305	2403,85	2,40
30	4,9	0,00316957	3020,22	3,02
40	7	0,00422610	4314,60	4,31
50	8,9	0,00528262	5485,70	5,49
60	12,3	0,00633914	7581,37	7,58
70	16,4	0,00739567	10108,49	10,11
80	21,1	0,00845219	13005,43	13,01
90	27,2	0,00950872	16765,30	16,77
100	36,2	0,01056524	22312,64	22,31
110	36,9	0,01162176	24593,21	24,59
120	49,1	0,01267829	30263,83	30,26
130	52,3	0,01373481	32236,21	32,24
140	54,5	0,01479134	33592,23	33,59
150	59	0,01584786	35749,53	35,75
160	63,4	0,01690438	39077,93	39,08
170	70,4	0,01796091	43392,53	43,39
180	87,1	0,01901743	53685,93	53,69
190	80,2	0,02007396	49432,97	49,43
200	78,7	0,02113048	48508,41	48,51

No. DE MUESTRA	M50A
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,405
DIAMETRO (cm)	4,545
PESO MUESTRA (gr)	405,200
AREA (cm²)	16,224
VOLUMEN (cm³)	153,590
γ (gr/cm³)	2,639

σ _u (MPa)	53,69
E (MPa)	2807,37

σ _u (MPa)	53,69
Resist (KN)	80,2



Observaciones:
 Firmado: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPIITA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia
 Laboratorista
 Calle 4 Sur No. 15-134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635, Email: irme@uptc.edu.co

Firmado: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
PROYECTO:		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	
LOCALIZACION:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18		
MUESTRA:	M50B	FECHA: ABRIL DE 2017	

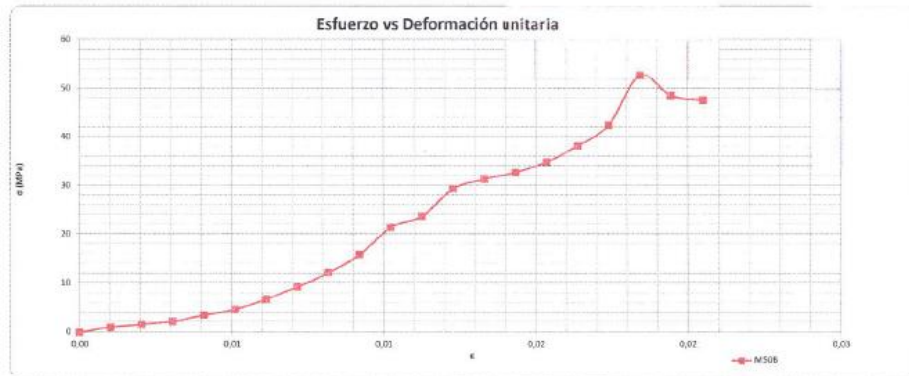
MANITO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
45	PISO BOLAS	59 a	1083701,5	1042450,9	2414
TAURO					

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	1,7	0,00102449	1045,53	1,05
20	2,7	0,00204897	1660,55	1,66
30	3,7	0,00307346	2275,56	2,28
40	5,8	0,00409794	3567,10	3,57
50	7,7	0,00512243	4735,63	4,74
60	11,1	0,00614691	6826,69	6,83
70	15,2	0,00717140	9348,26	9,35
80	19,9	0,00819588	12238,84	12,24
90	26	0,00922037	15990,45	15,99
100	35	0,01024485	21525,61	21,53
110	38,7	0,01126934	23801,17	23,80
120	47,9	0,01229382	29459,33	29,46
130	51,1	0,01331831	31427,38	31,43
140	53,3	0,01434279	32780,42	32,78
150	56,8	0,01536728	34932,98	34,93
160	62,2	0,01639176	38254,08	38,25
170	69,2	0,01741625	42559,20	42,56
180	85,9	0,01844073	52829,99	52,83
190	79	0,01946522	48586,37	48,59
200	77,5	0,02048970	47663,64	47,66

No. DE MUESTRA	M50B
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,761
DIAMETRO (cm)	4,550
PESO MUESTRA (gr)	418,600
AREA (cm²)	16,290
VOLUMEN (cm³)	158,711
γ (gr/cm³)	2,637

σ _u (MPa)	52,83
E (MPa)	2888,8

σ _u (MPa)	52,83
Resist (KN)	79,0





DESIGNACION: *[Signature]*
 Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia y Tal
 Laboratorista

Realizó: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

ANEXO 6

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE MUESTRAS TECHO MANTO BOLAS

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISIÓN DE RESULTADOS INFORME DE EMISIÓN DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSIÓN	
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS		
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)		
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCIÓN:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA: 832010019-0
TELÉFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX: 7 955405
PROYECTO:		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com
LOCALIZACIÓN:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	
MUESTRA:	M60	FECHA: ABRIL DE 2017



MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z	
55	TECHO BOLAS	80	1083303	1042214,4	2432,5
					TAURO


DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	3,9	0,00107828	2407,02	2,41
20	5,5	0,00215657	3394,52	3,39
30	8,3	0,00323485	5122,64	5,12
40	11,8	0,00431313	7282,79	7,28
50	14	0,00539142	8640,60	8,64
60	16,4	0,00646970	10121,85	10,12
70	19,8	0,00754798	12220,28	12,22
80	23,7	0,00862627	14627,30	14,63
90	27,6	0,00970455	17034,33	17,03
100	32,2	0,01078283	20490,57	20,49
110	36,5	0,01186112	23761,65	23,76
120	45,7	0,01293940	28205,39	28,21
130	54,6	0,01401768	33698,34	33,70
140	57,5	0,01509597	35488,18	35,49
150	63,1	0,01617425	38944,42	38,94
160	62,0	0,01725253	38265,51	38,27

No. DE MUESTRA	M60
FORMA DE MUESTRA	cilíndrica
ALTURA (cm)	9,274
DIÁMETRO (cm)	4,542
PESO MUESTRA (gr)	391,500
AREA (cm²)	16,203
VOLUMEN (cm³)	150,263
γ (gr/cm³)	2,605

σ _c (MPa)	38,94
E (MPa)	2555,48

σ _c (MPa)	38,94
Resist (KN)	63,1



Esfuerzo vs Deformación unitaria

OBSERVACIONES:

Rafael Hernández

Realizó: RAFAEL HERNÁNDEZ ESPINOSA
Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia VLS
Laboratorista

Luis Ángel Lara

Realizó: LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ
Director IRME

Calle 4 Sur No. 15-134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635, Email: irme@upc.edu.co



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS

NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
 DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0
 TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 LOCALIZACION: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 MUESTRA: M61 FECHA: ABRIL DE 2017

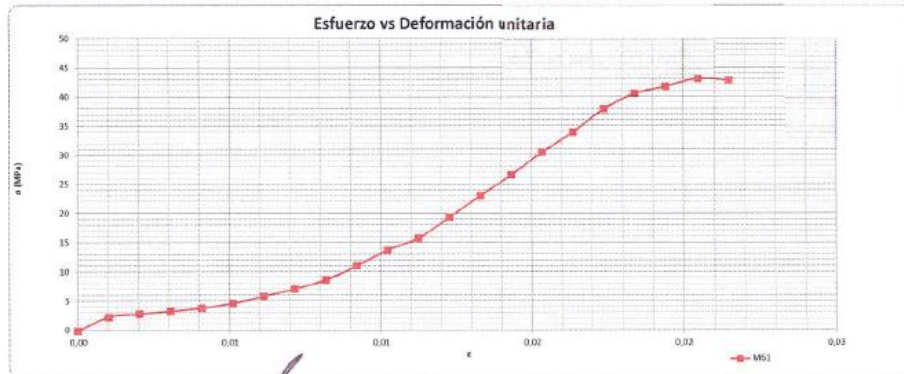
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
56	TECHO BOLLAS	E1	1083303	1042214,4	2412,5

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	3,9	0,00102333	2405,96	2,41
20	4,8	0,00204666	2961,19	2,96
30	5,5	0,00307000	3393,03	3,39
40	6,4	0,00409333	3948,25	3,95
50	7,7	0,00511666	4750,24	4,75
60	9,7	0,00613999	5984,07	5,98
70	11,7	0,00716332	7217,89	7,22
80	14,2	0,00818666	8760,18	8,76
90	16,1	0,00920999	11166,14	11,17
100	22,5	0,01023332	13890,57	13,88
110	25,8	0,01125665	15916,38	15,92
120	31,6	0,01227998	19494,48	19,49
130	37,5	0,01330332	23134,28	23,13
140	43,3	0,01432665	26712,38	26,71
150	49,6	0,01534998	30598,94	30,60
160	55,2	0,01637331	34053,65	34,05
170	61,7	0,01739664	38063,60	38,06
180	65,9	0,01841998	40654,63	40,65
190	67,9	0,01944331	41888,46	41,89
200	70,1	0,02046664	43245,67	43,25
210	69,6	0,02148997	42937,22	42,94

No. DE MUESTRA	M61
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,772
DIAMETRO (cm)	4,543
PESO MUESTRA (gr)	404,800
AREA (cm²)	16,210
VOLUMEN (cm³)	159,401
γ (gr/cm³)	2,556

σ _d (MPa)	43,25
Ei (MPa)	3329,92

σ _d (MPa)	43,25
Resist (KN)	70,1



OBSERVACIONES:
 Realizó: RAFAEL NERNANDO PEREZ ESPINOSA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorio

Revisó: LUIS ANJEL LARA GONZALEZ
 Director IRME



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	GEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com
LOCALIZACION:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18		FECHA: ABRIL DE 2017
MUESTRA:	M62		

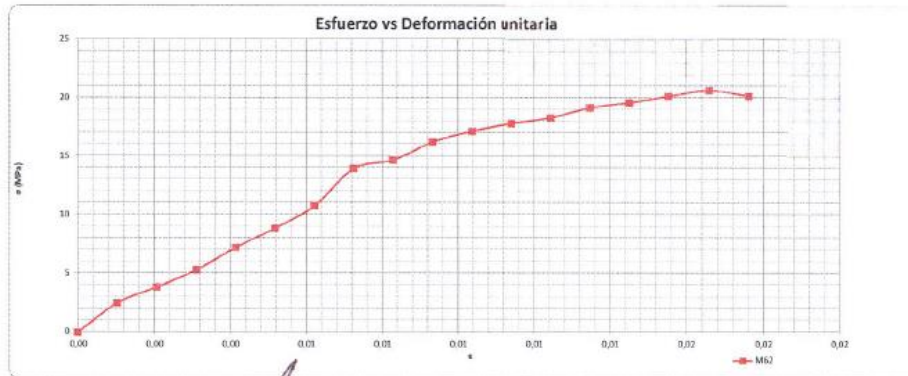
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z
57	62	1083303	1042214,4	2412,5
TECHO BOLAS				TAURO

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00000000	0,00	0,00
10	4.1	0.00103681	2513.83	2.51
20	6.3	0.00207361	3862.71	3.86
30	8.7	0.00311042	5334.22	5.33
40	11.8	0.00414723	7234.93	7.23
50	14.5	0.00518403	8890.37	8.89
60	17.6	0.00622084	10791.08	10.79
70	22.8	0.00725765	13979.35	13.98
80	24	0.00829445	14715.10	14.72
90	26.5	0.00933126	16247.93	16.25
100	28	0.01036807	17187.62	17.17
110	29.1	0.01140487	17842.06	17.84
120	29.9	0.01244168	18332.57	18.33
130	31.3	0.01347849	19190.95	19.19
140	32	0.01451529	19620.14	19.62
150	32.9	0.01555210	20171.95	20.17
160	33.7	0.01658891	20662.46	20.66
170	32.9	0.01762571	20171.95	20.17

No. DE MUESTRA	M62
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9.645
DIAMETRO (cm)	4.557
PESO MUESTRA (gr)	410.500
AREA (cm²)	16.310
VOLUMEN (cm³)	157.308
γ (gr/cm³)	2.610

σ _d (MPa)	20,66
E (MPa)	645,43

σ _d (MPa)	20,66
Resist (KN)	33,7



OBSERVACIONES

 RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESTIVIA
 Ing. Geologo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorista

LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION

Version: 03 Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS

NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
 DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogota D. C. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0
 TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) FAX: 7 955405 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com

CONSECUTIVO: 20170314-003

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 LOCALIZACION: M63 FECHA: ABRIL DE 2017

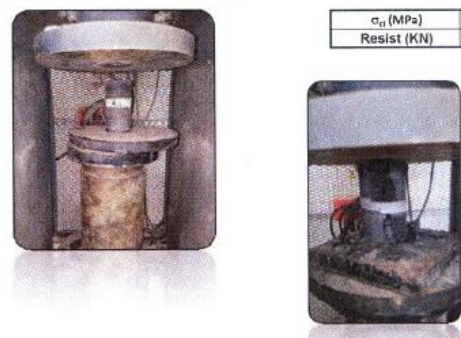
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	TAURO
58	TECHO BOLAS	63	1081303	1043214,4	2412,5

DESPLAZAMIENTO VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA A (KN)	DEFORMACION UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO σ (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	1,1	0,00102838	675,92	0,68
20	1,7	0,00205677	1044,61	1,04
30	4,1	0,00308515	2519,36	2,52
40	7,2	0,00411353	4424,23	4,42
50	9,9	0,00514192	6083,32	6,08
60	13	0,00617030	7988,20	7,99
70	18,2	0,00719868	11183,48	11,18
80	19,4	0,00822707	11920,85	11,92
90	21,9	0,00925545	13457,05	13,46
100	23,4	0,01028383	14378,76	14,38
110	24,5	0,01131222	15054,69	15,05
120	25,3	0,01234060	15546,27	15,55
130	26,7	0,01336898	16406,54	16,41
140	27,4	0,01439737	16836,67	16,84
150	28,3	0,01542575	17389,70	17,39
160	30,4	0,01645413	18680,10	18,68
170	29,0	0,01748252	17819,83	17,82

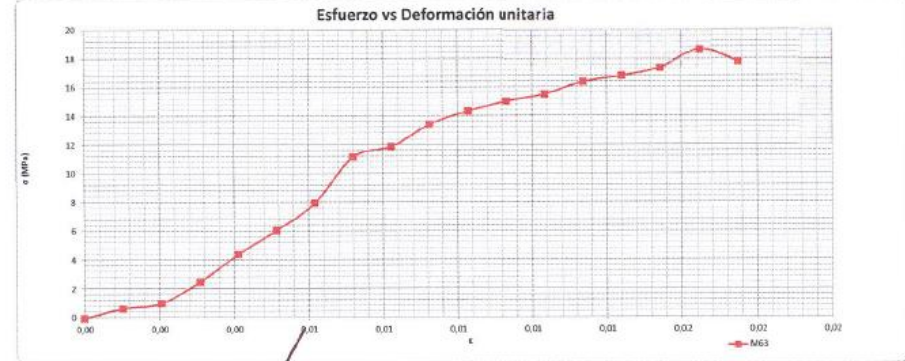
No. DE MUESTRA	M63
FORMA DE MUESTRA	cilindrica
ALTURA (cm)	9,724
DIAMETRO (cm)	4,552
PESO MUESTRA (gr)	405,200
AREA (cm²)	16,274
VOLUMEN (cm³)	158,248
γ (gr/cm³)	2,561

σ _u (MPa)	18,68
σ _i (MPa)	652,15

σ _u (MPa)	18,68
Resist (KN)	30,4



Esfuerzo vs Deformación unitaria





OBSERVACIONES:

Rafael Hernández Pérez Espitia
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboralista

Luis Ángel Lara González
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15-134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635, Email: irme@uptc.edu.co

ANEXO 7 ENSAYOS ULTRASONIDO ONDAS S Y P MUESTRAS PISO MANTO PIEDRO

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION	
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS ENSAYO DE ULTRASONIDO		
<i>L.S.R.</i>		
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:
PROYECTO:		E-MAIL:
LOCALIZACION:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	
MUESTRA:	N° 1	
	MANRO	MUESTRA
	45	PIEDRO
		ONDAS S
		FECHA: ABRIL DE 2017

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [_48a] - File: [_48a.ult]

Specimen ID: _48a

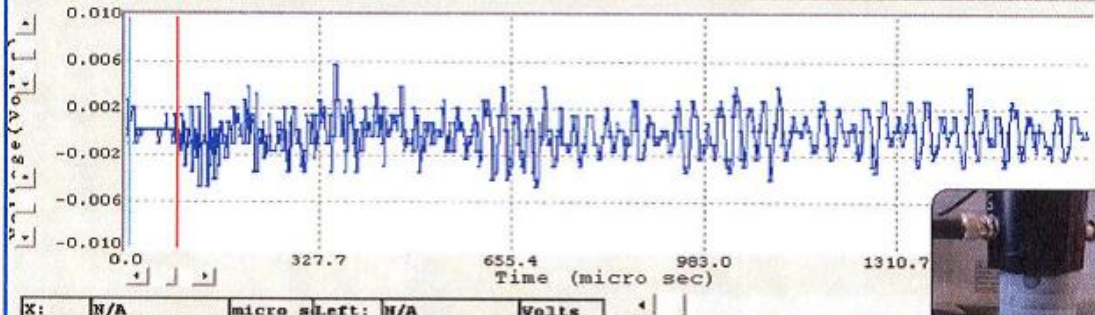
Description:

S Velocity: **1185** (m/s) ReSet to Avg.


Arrival Time: **87.38** (µsec) Set to Manual

Boards Setup	Specimen	Methods Results	Final Results
P Velocity:	2005	(m/s)	
S Velocity:	1185	(m/s)	
u - Poisson's Ratio:	0.23		
Young's Modulus:	9186293	(kPa)	
Bulk Modulus:	5714929	(kPa)	
Shear (Rigidity) Modulus:	3727911	(kPa)	


Fixed ± 0.01 VD Auto Scale Zoom Filter Setup CCopy Signal Clear Total Waves: 2




X: Left:




Rafael RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ ESPINOZA
 Ing. Geólogo - Exp. Geotecnia Vial
 Laboratorista
 Calle 4 Sur No. 15- 13d Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Ext: 2634 - 2635, Email: irme@upic.edu.co




Luis ANGELO LÓPEZ GONZÁLEZ
 Director IRME





MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



IRME
 INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS

Código: A-GL-E01-F03 Versión: 03 Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS

NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
PROYECTO:		CONSECUTIVO: 20170314-003	
LOCALIZACIÓN:		COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	
MUESTRA:		NIT: 832010019-0	
		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	

Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18

N° 1 FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z	FECHA
43	piso piedra	48	1042203.5	1042206.9	2434

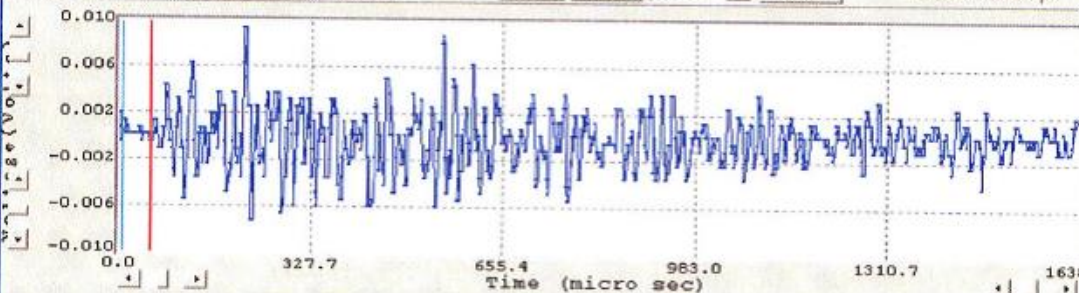
ONDAS P

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [_48a] - File: [_48a.ult]

Specimen ID: <u>48a</u> Description: P Velocity: 2005 (m/s) ReSet to Avg. Arrival Time: 54.22 (µsec) Set to Manual	Boards Setup Specimen Methods Results Final Results P Velocity: 2005 (m/s) S Velocity: 1185 (m/s) u - Poisson's Ratio: 0.23 Young's Modulus: 9186293 (kPa) Bulk Modulus: 5714929 (kPa) Shear (Rigidity) Modulus: 3727911 (kPa)
---	--


Ready Busy

Fixed ± 0.01 VD Auto Scale Zoom Filter Setup CCopy Signal Clear Total Waves: 2

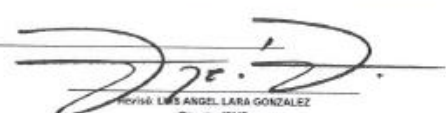


Time (micro sec)

X: Left:



RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ BUSTA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotécnica VMI
 Laboratorio





LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Soğamoso (Boyacá). Tels: 7723537/18 - 7705450 - 7207721, Exts: 2534 - 2635, Email: irme@uptc.edu.co

ANEXO 8

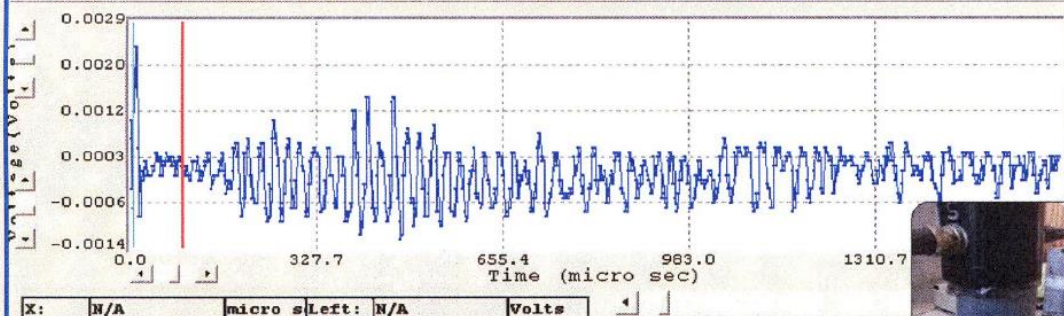
ENSAYO ULTRASONIDO ONDAS S Y P MUESTRAS TECHO MANTO PIEDRO

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION													
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1												
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS														
<i>L.S.R.</i>														
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS														
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:												
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:												
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:												
PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	CONSECUTIVO:												
LOCALIZACION:	N° 1	FECHA:												
MUESTRA:		ABRIL DE 2017												
	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th>MANTO</th> <th>MUESTRA N°</th> <th>N</th> <th>E</th> <th>Z</th> <th></th> </tr> <tr> <td>34</td> <td>TECHO PIEDRO</td> <td>39</td> <td>1083303</td> <td>1042214,4</td> <td>2413</td> </tr> </table>	MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z		34	TECHO PIEDRO	39	1083303	1042214,4	2413	
MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z										
34	TECHO PIEDRO	39	1083303	1042214,4	2413									
	ONDAS S													

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [39] - File: [39.ult]

Specimen ID: 39 Description: S Velocity: 1072 [m/s] ReSet to Avg. Arrival Time: 94.66 [µsec] Set to Manual	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Boards Setup</th> <th>Specimen</th> <th>Methods Results</th> <th>Final Results</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P Velocity:</td> <td>1824</td> <td>[m/s]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S Velocity:</td> <td>1072</td> <td>[m/s]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>u - Poisson's Ratio:</td> <td>0.24</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Young's Modulus:</td> <td>7453629</td> <td>[kPa]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bulk Modulus:</td> <td>4710609</td> <td>[kPa]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shear (Rigidity) Modulus:</td> <td>3014534</td> <td>[kPa]</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Boards Setup	Specimen	Methods Results	Final Results	P Velocity:	1824	[m/s]		S Velocity:	1072	[m/s]		u - Poisson's Ratio:	0.24			Young's Modulus:	7453629	[kPa]		Bulk Modulus:	4710609	[kPa]		Shear (Rigidity) Modulus:	3014534	[kPa]	
Boards Setup	Specimen	Methods Results	Final Results																										
P Velocity:	1824	[m/s]																											
S Velocity:	1072	[m/s]																											
u - Poisson's Ratio:	0.24																												
Young's Modulus:	7453629	[kPa]																											
Bulk Modulus:	4710609	[kPa]																											
Shear (Rigidity) Modulus:	3014534	[kPa]																											

Fixed + 0.01 VD
 Auto Scale
 Zoom
 Filter - Setup
 CCopy
 Signal
 Clear
 Total Waves: 14





X: [N/A] [micro s] Left: [N/A] Volts

OBSERVACIONES

Firmado: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESTIHA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vias
 Laboratorista

Firmado: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co

MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION

Código: A-GL-E01-F03 Versión: 03 Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS
ENSAYO DE ULTRASONIDO

LSR

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS CONSECUTIVO: 20170314-003
NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. **EMPRESA:** COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. **CEDULA:** 832010019-0 **NIT:** 832010019-0
TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá) **FAX:** 7 955405 **E-MAIL:** edisongranados22@gmail.com

PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACIÓN: N° 1 **FECHA:** ABRIL DE 2017
MUESTRA:

MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
34	TECHO PIEDRO	39	1083303	1042214.4	2413

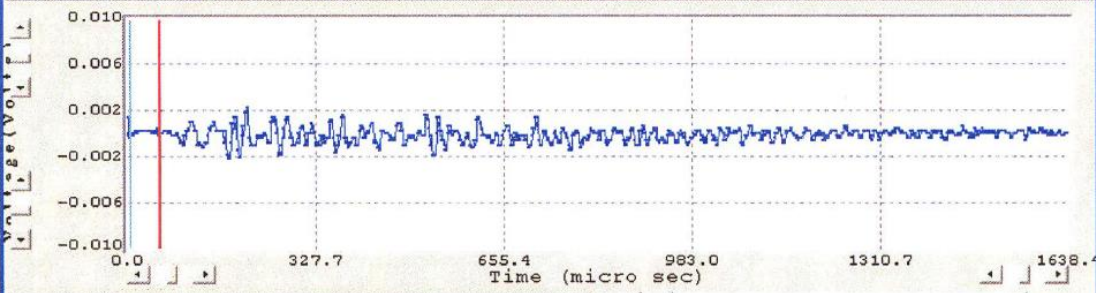
ONDAS P

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [39] - File: [39.ult]

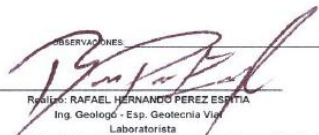

Specimen ID: 39 **Boards Setup** | **Specimen** | **Methods Results** | **Final Results**
Description: _____
P Velocity: 1824 (m/s) **ReSet to Avg.**
Arrival-Time: 58.25 (µsec) **Set to Manual**

u - Poisson's Ratio: 0.24
Young's Modulus: 7453629 (kPa)
Bulk Modulus: 4710609 (kPa)
Shear (Rigidity) Modulus: 3014534 (kPa)

Fixed ± 0.01 VD Auto Scale Zoom Filter - **Total Waves:** 6





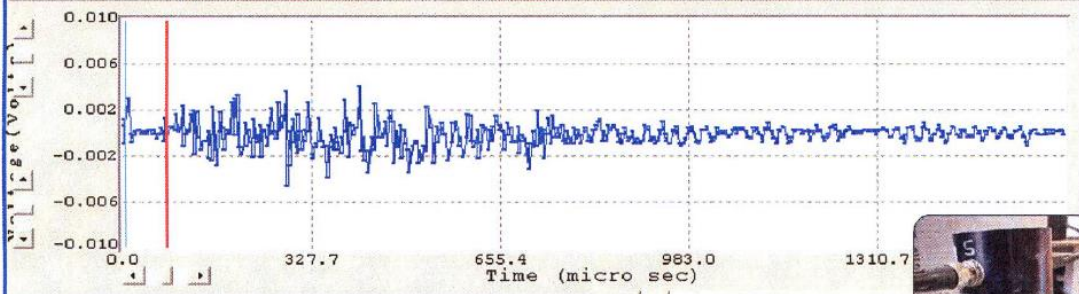

X: N/A **micro s Left:** N/A **Volts**

OBSERVACIONES:
 
 Rafael H. RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITIA Revisó: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vig. Director IRME
 Laboratorista

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723537/18 – 7705450 – 7707721, Exts: 2634 – 2635, Email: irme@uptc.edu.co

ANEXO 9

ENSAYOS ULTRASONIDO ONDAS S Y P MUESTRAS PISO MANTO BOLAS

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION													
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1												
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS ENSAYO DE ULTRASONIDO														
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS NOMBRE: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. DIRECCION: CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C. TELEFONO: 7 955405 y 5100037 (Bogotá)		CONSECUTIVO: 20170314-003 EMPRESA: COLUMBIA COAL COMPANY S.A. CEDULA: 832010019-0 NIT: 832010019-0 E-MAIL: edisongranados22@gmail.com												
PROYECTO: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18 LOCALIZACION: Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18 MUESTRA: N° 1		FECHA: ABRIL DE 2017												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>MANTO</th> <th>MUESTRA Nº</th> <th>N</th> <th>E</th> <th>Z</th> <th></th> </tr> <tr> <td>43</td> <td>PISO BOLAS</td> <td>48</td> <td>1083703,5</td> <td>1042490,9</td> <td>2414</td> </tr> </table>			MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z		43	PISO BOLAS	48	1083703,5	1042490,9	2414
MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z										
43	PISO BOLAS	48	1083703,5	1042490,9	2414									
ONDAS S														
Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [48b] - File: [_48b.ult]														
Specimen ID: 48b Description: S Velocity: 1321 [m/s] Arrival Time: 80.15 [µsec]		Boards Setup Specimen Methods Results Final Results P Velocity: 2260 [m/s] S Velocity: 1321 [m/s] u - Poisson's Ratio: 0.24 Young's Modulus: 11412259 [kPa] Bulk Modulus: 7325886 [kPa] Shear (Rigidity) Modulus: 4600357 [kPa]												
P wave S wave Get Wave(s) Ready Busy		Load Save Export Close												
Fixed ± 0.01 VD Auto Scale Zoom Filter - Setup CCopy Signal Clear Total Waves: 8														
														
X: N/A micro s Left: N/A Volts														
Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPINA Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial Laboratorista		Revisó: LUIS ANGEL JARA GONZALEZ Director IRME												
Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogamoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635. Email: irme@uptc.edu.co														



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS
 ENSAYO DE ULTRASONIDO

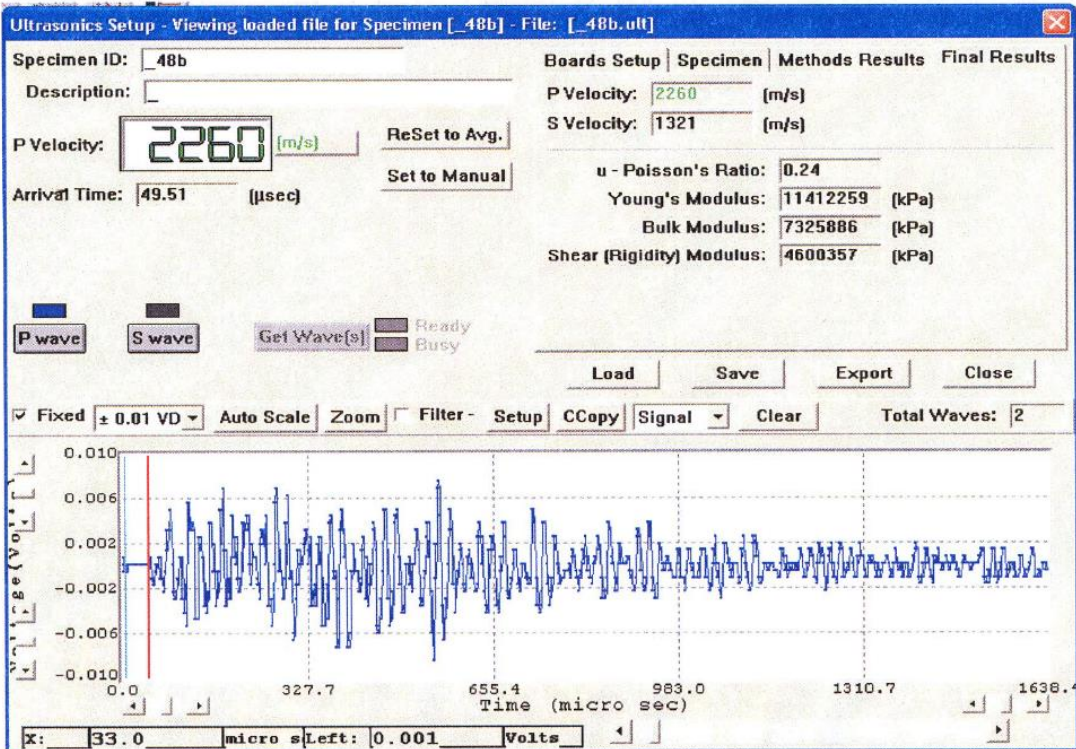
L.S.R

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	

PROYECTO:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
LOCALIZACION:	
MUESTRA:	N° 1
	FECHA: ABRIL DE 2017

MANTO	MUESTRA Nº	N	E	Z	
43	PISO BOLAS	48	1083703,5	1042490,9	2414
TAURO					

ONDAS P





Rafael Hernandez Perez Espitia
 RESUMIO: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITA
 Ing. Geologo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorista

Luis Angel Lara Gonzalez
 RESUMIO: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

ANEXO 10

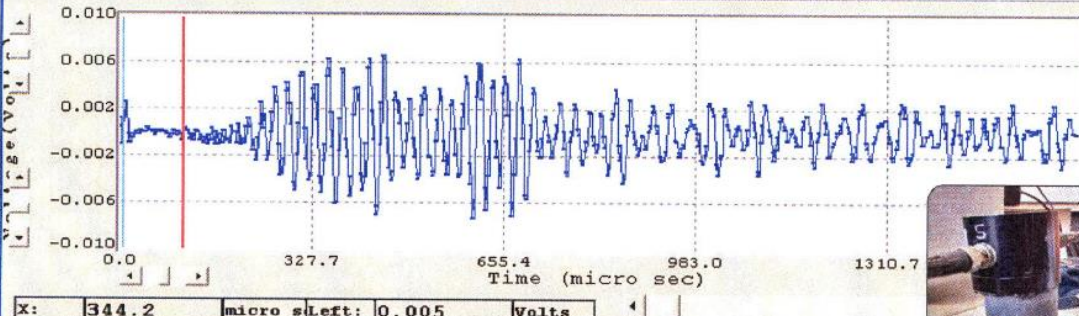
ENSAYOS ULTRASONIDO ONDAS S Y P MUESTRAS TECHO MANTO BOLAS

	MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION													
Código: A-GL-E01-F03	Versión: 03	Página 1 de 1												
INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS ENSAYO DE ULTRASONIDO														
DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS														
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:												
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:												
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:												
PROYECTO:		CONSECUTIVO:												
LOCALIZACION:	Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.												
MUESTRA:	N° 1	FECHA: ABRIL DE 2017												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MANTO</th> <th>MUESTRA N°</th> <th>N</th> <th>E</th> <th>Z</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S8</td> <td>TECHO BOLAS</td> <td>63</td> <td>108.3303</td> <td>1042214.4</td> <td>2412.5</td> </tr> </tbody> </table>	MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z		S8	TECHO BOLAS	63	108.3303	1042214.4	2412.5	TAURO
MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z										
S8	TECHO BOLAS	63	108.3303	1042214.4	2412.5									
ONDAS S														

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [_63] - File: [_63.ult]

Specimen ID: <input type="text" value="63"/>	Boards Setup Specimen Methods Results Final Results
Description: <input type="text"/>	P Velocity: <input type="text" value="1560"/> [m/s]
S Velocity: <input type="text" value="933"/> [m/s] <input type="button" value="ReSet to Avg."/>	S Velocity: <input type="text" value="933"/> [m/s]
Arrival Time: <input type="text" value="109.23"/> [µsec] <input type="button" value="Set to Manual"/>	u - Poisson's Ratio: <input type="text" value="0.22"/>
	Young's Modulus: <input type="text" value="5437626"/> [kPa]
	Bulk Modulus: <input type="text" value="3256330"/> [kPa]
	Shear (Rigidity) Modulus: <input type="text" value="2225454"/> [kPa]

Fixed ± 0.01 VD Auto Scale Zoom Filter - Setup CCopy Signal Total Waves:



micro s Left: Volts

Rafael Hernández Pérez Esquivel

OBSERVADOR
 Rafé: RAFAEL HERNÁNDEZ PÉREZ ESQUIVEL
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorista

Luis Ángel Lara González

Revisó: LUIS ÁNGEL LARA GONZÁLEZ
 Director IRME

Calle 4 Sur No. 15- 134 Sogomoso (Boyacá), Tels: 7723517/18 - 7705450 - 7707721, Exts: 2634 - 2635, Email: irme@uptc.edu.co



MACROPROCESO: ADMINISTRATIVO
 PROCESO: GESTION DE LABORATORIOS
 PROCEDIMIENTO: EMISION DE RESULTADOS
 INFORME DE EMISION DE RESULTADOS SERVICIOS DE EXTENSION



Código: A-GL-E01-F03

Versión: 03

Página 1 de 1

INSTITUTO DE RECURSOS MINEROS Y ENERGETICOS
 FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
 LABORATORIO DE SUELOS Y ROCAS

L.S.R.

ENSAYO DE ULTRASONIDO

DATOS DEL CLIENTE: EDISON GRANADOS		CONSECUTIVO: 20170314-003	
NOMBRE:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.	EMPRESA:	COLUMBIA COAL COMPANY S.A.
DIRECCION:	CARRERA 7 N° 74 - 36, piso 2, Bogotá D. C.	CEDULA:	832010019-0
TELEFONO:	7 955405 y 5100037 (Bogotá)	FAX:	7 955405
		E-MAIL: edisongranados22@gmail.com	

PROYECTO :
 LOCALIZACION : Vereda El Rabanal, Ubaté - Guachetá, Kilómetro 18
 MUESTRA : N° 1 FECHA : ABRIL DE 2017

58	MANTO	MUESTRA N°	N	E	Z
	TECHO BOLAS	63	1083303	1042214,4	2412,5

ONDAS P

Ultrasonics Setup - Viewing loaded file for Specimen [_63] - File: [_63.ult]

Specimen ID: 63

Description:

P Velocity: (m/s)

Arrival Time: (µsec)

Boards Setup | Specimen | Methods Results | **Final Results**

u - Poisson's Ratio:

Young's Modulus: (kPa)

Bulk Modulus: (kPa)

Shear (Rigidity) Modulus: (kPa)

Ready Busy

Fixed Filter - Total Waves: 2

X: Left:

OBSERVACIONES

Rafael Hernandez Perez Espitia

Realizó: RAFAEL HERNANDEZ PEREZ ESPITIA
 Ing. Geólogo - Esp. Geotecnia Vial
 Laboratorista

Luis Angel Lara Gonzalez

Revisó: LUIS ANGEL LARA GONZALEZ
 Director IRME

ANEXO 11

ESPACIADO DE DISCONTINUIDADES

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Influye en el tamaño de los bloques de roca su importancia es mayor cuando existen otros factores condicionantes de la deformación del macizo rocoso, como, por ejemplo, una resistencia al corte pequeño y un número suficiente de discontinuidades para que se produzca el deslizamiento.

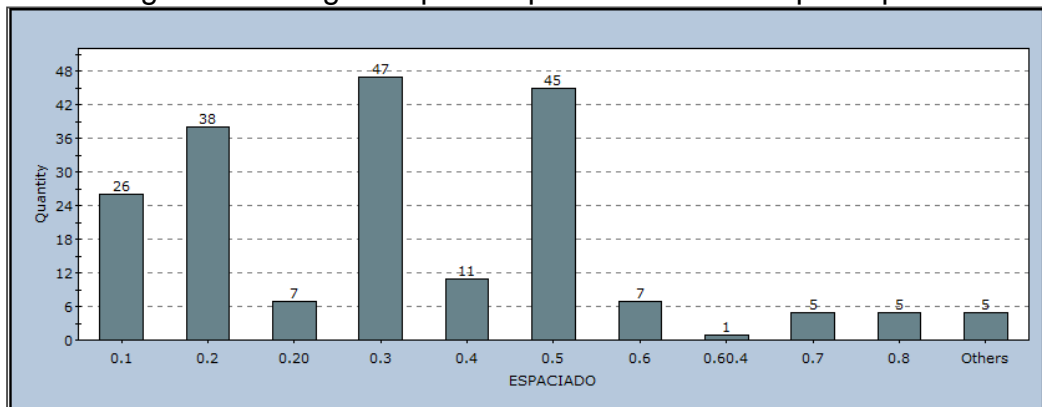
La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere la tabla de espaciado entre discontinuidades, donde se reconoce claramente la descripción del espaciado en metros, según el tamaño de cada discontinuidad.

Tabla 1. Espaciado entre juntas

Descripción	Espaciado (m)
extremadamente pequeño	< 0.02
Muy pequeño	0.02-0.06
Pequeño	0.06-0.2
Moderado	0.2-0.6
Grande	0.6-2
Muy grande	2-6
Extremadamente grande	> 6

El Software Dips arrojó un histograma con los datos del espaciado para representar la frecuencia con que se repite este parámetro, de acuerdo con los rangos presentes de la tabla respectiva.

Figura 1. Histograma para espaciado de Juntas por Dips.



De acuerdo a el análisis de espaciamiento del software Dips se tiene una tendencia de espaciamiento promedio entre 0.3-0.6 m. por lo cual estaría adecuada la estimación de bloques Moderado que se hace para este estudio.

ANEXO 12

DIMENSIÓN

Es el tamaño del plano de discontinuidad. Se define de acuerdo a la tabla de dimensión de una discontinuidad.

Tabla 31. Dimensión de discontinuidades.

Descripción	Dimensión (m)
Continuidad muy pequeña	< 1
Continuidad pequeña	1-3
Continuidad media	3-10
Continuidad alta	10-20
Continuidad muy alta	> 20

Su cuantificación exacta es muy difícil de establecer; Sin embargo, mediante la observación de las longitudes de las superficies de discontinuidad estudiadas y según lo observado dentro del levantamiento de discontinuidades se observaron continuidades muy pequeñas dadas las condiciones del Túnel. Por tanto, se puede determinar que la dimensión de la discontinuidad es continuidad muy pequeña <1 metro.

ANEXO 13

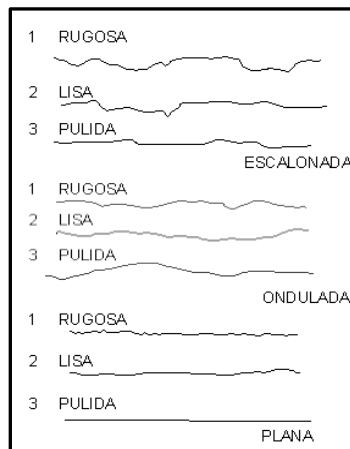
RUGOSIDAD DE DISCONTINUIDADES

Es caracterizada por la aspereza y la ondulación. Para definir el grado de rugosidad se utiliza el diagrama de perfiles de rugosidad en relación con la tabla de escala de grados de rugosidad de una discontinuidad.

Tabla 32. Rugosidad

Grado	Denominación
I	Rugosa, escalonada
II	Lisa escalonada
III	Pulida, escalonada
IV	Rugosa, ondulada
V	Lisa, ondulada
VI	Pulida, ondulada
VII	Rugosa, plana
VIII	Lisa, plana
IX	Pulida, plana

Figura 1. Perfiles de rugosidad



Las discontinuidades presentes se caracterizan por su apariencia ondulada y de acuerdo con la tabla donde se determinan la escala de grados de rugosidad, los planos de estratificación presentan un perfil predominante correspondiente al Grado V. Discontinuidad lisa, ondulada.

ANEXO 14

RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LAS DISCONTINUIDADES

Se expresa según el grado de meteorización del material rocoso que las compone. En rocas sedimentarias, para su evaluación se usa la escala de D. G. Moya.

Tabla 1. Escala de meteorización de las rocas detríticas.

GRADO DE METEORIZACIÓN	DENOMINACIÓN	CRITERIOS DE RECONOCIMIENTO
I	Sana	Roca no meteorizada. Conserva el color y el lustre en toda la masa.
II	Sana con juntas teñidas de óxidos	Las caras de las juntas están manchadas de óxidos, pero el bloque unitario entre juntas mantiene el color y el lustre de la roca sana.
III	Moderadamente meteorizada	Claramente meteorizada a través de la petro fábrica, reconociéndose el cambio de color respecto de la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color en toda la masa, generalmente a colores típicos de óxidos de hierro.
IV	Muy meteorizada	Roca intensamente meteorizada, que puede desmenuzarse a mano y romperse, aunque sus elementos son perfectamente reconocibles.
V	Completamente meteorizada	Material con aspecto de suelo, completamente descompuesto por meteorización "in situ" pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original. Los elementos constitutivos de la roca se encuentran diferenciados, aunque totalmente transformados.

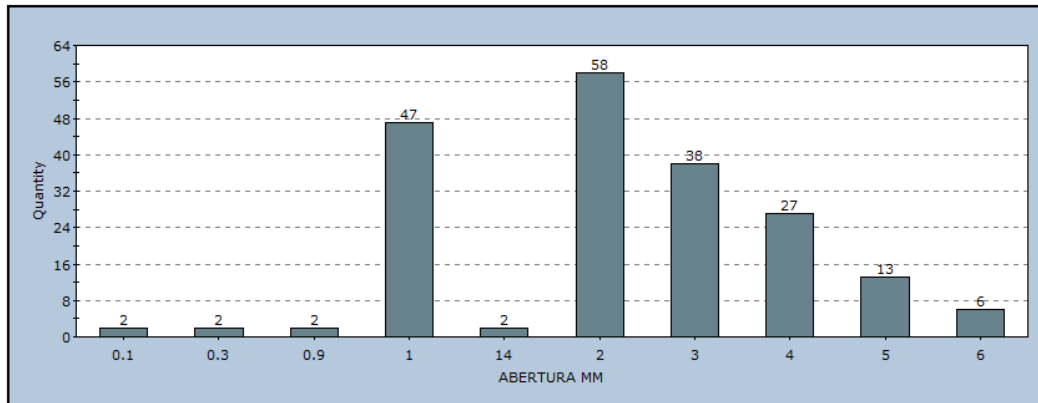
Debido a que no se presenta flujo de agua constante a través de las discontinuidades se puede concluir que las paredes del túnel presentan características de comportamiento estable, y las rocas de este tipo tienden a mantenerse inalteradas, aunque es recomendable hacer mantenimiento de las vías según se observe deterioro de juntas por oxidación o presencia de sobre presiones.

ANEXO 15

ABERTURA ENTRE PAREDES DE CONTACTO

Distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta, en la que el espacio intermedio tiene agua o aire.

Figura 1. Histograma de abertura



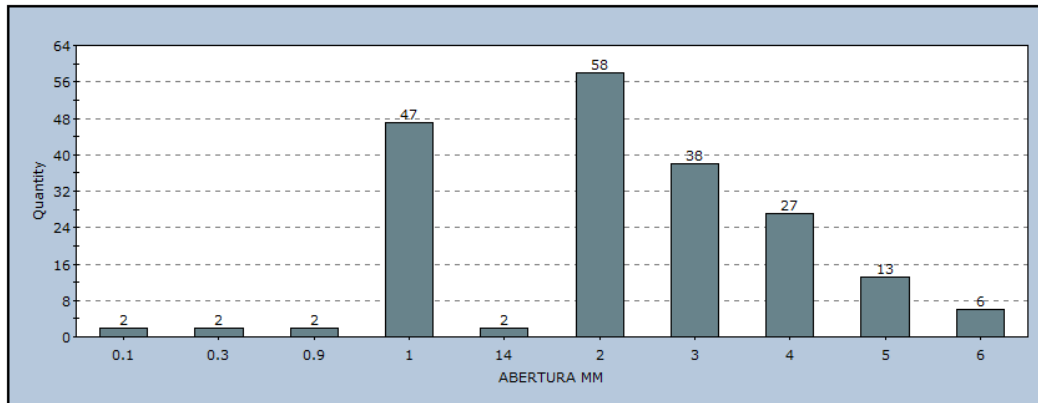
En este caso el histograma de abertura representa que el mayor número de datos corresponde a 2 milímetros lo que clasifica la discontinuidad como pequeña. Estas excavaciones representan características continuas y constantes respecto al espaciado por lo cual se muestra en forma homogénea sin alteraciones abruptas entre las familias de discontinuidades.

ANEXO 15

ABERTURA ENTRE PAREDES DE CONTACTO

Distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta, en la que el espacio intermedio tiene agua o aire.

Figura 1. Histograma de abertura



En este caso el histograma de abertura representa que el mayor número de datos corresponde a 2 milímetros lo que clasifica la discontinuidad como pequeña. Estas excavaciones representan características continuas y constantes respecto al espaciado por lo cual se muestra en forma homogénea sin alteraciones abruptas entre las familias de discontinuidades.

ANEXO 17

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA RQD

Tamaño del bloque

Este factor condiciona el comportamiento y las propiedades resistentes y de deformaciones. La descripción de los bloques presentes en las cruzadas de la mina Tauro.

Mediante el índice de tamaño de bloque I_b , que representa las dimensiones medidas de los bloques medidos.

$$I_b = (e_1 + e_2 + e_3)/3$$

Siendo e_1, e_2 y e_3 los valores medios del espaciado de las familias de discontinuidades.

$$e_1 = 0,1 \text{ m}$$

$$e_2 = 0,6 \text{ m}$$

$$I_b = (0,1 + 0,6)/2$$

$$I_b = 0,35 \text{ m}$$

Mediante el parámetro J_v , representa el número total de las discontinuidades que interceptan a una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso.

$$J_v = \sum \frac{\text{n}^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud medida}}$$
$$J_v = \frac{20}{5} + \frac{55}{5} = 15$$

Tabla 1. Determinación del tamaño del bloque

Descripción	Jv, juntas/m3
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 – 3
Bloques medios	3 –10

Bloques pequeños	10 –30
Bloques muy pequeños	> 30

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

$$RQD = 115 - 3,3 (15)$$

$$RQD = 65,5$$

De acuerdo a la clasificación de Hooke y Brown para dimensionamiento de bloques, estos se presentan como bloques de tamaño pequeño y pueden verse a simple vista en un perfil de la excavación.

Tabla 2. Clasificación del macizo según RQD.

CALIDAD RQD		RQD (%)
A	Muy mala	0 – 25
B	Mala	25 – 50
C	Media	50 – 75
D	Buena	75 – 90
E	Excelente	90 – 100

ANEXO 18

CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO INDICE Q

Desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituyen un sistema de clasificación de macizos rocosos que permiten estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice Q está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

J_n = Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

J_r = Índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

J_a = Índice que indica la alteración de las discontinuidades.

J_w = Coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF (stress reduction factor) = Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

Los tres factores de la expresión representan:

$(\frac{RQD}{J_n})$: El tamaño de los bloques

$(\frac{J_r}{J_a})$: La resistencia al corte entre los bloques

$(\frac{J_w}{SRF})$: La influencia del estado tensional

Los valores de los parámetros característicos del índice Q se indican a continuación:

Cuadro 1. Valores característicos para el índice Q.

I. CALIDAD DEL TESTIGO RQD		RQD (%)
A	Muy mala	0 – 25
B	Mala	25 – 50
C	Media	50 – 75
D	Buena	75 – 90
E	Excelente	90 – 100

Notas:
Cuando se obtiene valores de RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q.

Los intervalos de 5 unidades para el RQD, es decir, 100, 95, 90, etc.; tienen suficiente precisión.

II. ÍNDICE DE DIACLASADO		Jn
A	Roca masiva, sin diaclasas con una figuración escasa.	0,5 – 1,0
B	Una familia de diaclasas.	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos familias de diaclasas.	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres familias de diaclasas.	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más familias, diaclasa aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada terrosa.	20
<p><i>Notas:</i> En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3Jn) En las bocas de los túneles se utiliza la expresión (2Jn)</p>		
III. ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		Jr
<p>➤ <i>Contacto entre las dos caras de la discontinuidad</i> ➤ <i>Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.</i></p>		
A	Diaclasas discontinuas.	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
C	Diaclasa ondulada, lisas	2
D	Diaclasa ondulada, perfectamente lisas	1,5
E	Diaclasa planas, rugosas o irregulares	1,5
F	Diaclasas planas, lisas	1,0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0,5
<p><i>Nota:</i> Las descripciones se refieren a caracterización a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.</p>		
<p>➤ <i>No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.</i></p>		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1,0
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad.	1,0

Notas:
 Si el espacio de la primera familia de discontinuidades es superior a 3m, se debe aumentar el índice Jr en una unidad.
 En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presentan lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor Jr = 0,5.

Fuente: Barton 2000

Cuadro 2. Valores característicos Índice Q

IV. ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		Ør	Ja
➤ <i>Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedios)</i>			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	—	0,75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25° - 35°	1,0
C	Planos de discontinuidad ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25°- 30°	2,0
D	Recubrimiento de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda).	20°- 25°	3,0
E	Recubrimientos de arcilla blanda o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc.; y pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8°- 16°	4,0
➤ <i>Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10cm (minerales de relleno en pequeños espesores)</i>			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25°-30°	4,0
G	Fuertemente sobre consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero de espesores inferiores a 5mm).	16°-24°	6,0
H	Sobre consolidación media baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm).	12°- 16°	8,0
J	Rellenos de arcilla expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a	6°-12°	8-12

	los de las arcillas expansivas.		
➤	<i>No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)</i>		
K L M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	6,8 ó 8-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecibles	—	5,0
O P R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	10,13 ó 13-20
<i>Nota: los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx G_n \operatorname{tg}^{-1}(J_n/J_a)$)</i>			
V. FACTOR DE REDUCCIÓN POR LA PRESENCIA DE AGUA		Presión de agua (Kg/cm²)	Jw
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5l/min, de forma localizada.	< 1	1,0
B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades.	1 – 2,5	0,66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno.	2,5- 10	0,5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas.	2,5 - 10	0,33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo.	>10	0,2 – 0,1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable.	>10	0,1– 0,05
<i>Notas: Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor Jw. No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo.</i>			
VI. CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA		SRF	

➤ <i>Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando</i>				
A	Múltiples zonas débiles, contenido arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10		
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≤ 50m)	5		
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación >50m)	2,5		
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcilla), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7,5		
E	Zonas de fractura aislada en roca competente (libre de arcilla) (profundidad de excavación ≤ 50m)	5,0		
F	Zonas de fracturas aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación >50m)	2,5		
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5,0		
<i>Nota:</i>				
<i>Se reduce los valores expresados del SRF entre un 20-50% si las zonas de fracturas solo ejercen cierta influencia, pero no intersectan a la excavación.</i>				
➤ <i>Roca competente, problemas tensionales de las rocas.</i>		σ_c/σ_1	σ_o/σ_c	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasa abiertas	>200	< 0,01	2,5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200-100	0,01-0,3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0,5-0,65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0,65-1	50-200

N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	<2	>1	200-400
➤	Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas.		σ_{θ}/σ_c	SRF
O	Presión de deformación baja		1-5	5-10
P	Presión de deformación alta		>5	10-20
<i>Nota:</i> Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas deben ocurrir a profundidades: $H > 350 Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992). La resistencia a compresión de macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(\text{MPa}) \approx 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993).				
➤	Rocas expansivas: actividad expansiva químicamente dependiendo de la presencia de agua			SRF
R	Presión de expansión baja			5-10
S	Presión de expansión alta			10-15
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$				

Fuente: Barton 2000

Cuadro 3. Estimación de la calidad Índice Q.

Índice Q	VALORACIÓN
0.001 – 0.01	Roca excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Roca extremadamente mala
0.1 – 1.0	Roca muy mala
1.0 – 4	Roca mala

4 – 10	Roca media
10 – 40	Roca buena
40 – 100	Roca muy buena
100 – 400	Roca extremadamente buena
400 – 1000	Roca excepcionalmente buena

Fuente: Barton 2000

Análisis de resultados índice Q.

➤ **CALIDAD DEL TESTIGO (RQD)**

RQD (%) = 65

Se clasifica como Roca de calidad Media.

➤ **ÍNDICE DE DIACLASADO (Jn)**

Dos Familias de diaclasas con algunas diaclasas aleatorias. Puntuación: 6

➤ **ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES (Jr)**

Diaclasa plana, rugosa o irregulares. Puntuación: 1,5

➤ **ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (Ja)**

Planos de discontinuidad inalterados, superficie ligeramente manchada. Puntuación: 1

➤ **FACTOR DE REDUCCIÓN POR LA PRESENCIA DE AGUA (Jw)**

Excavaciones secas o pequeñas afluencias inferiores a 5l/min de forma localizada. Puntuación: 1

➤ **CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA (SRF)**

Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad de los hastiales: 0,5

Entonces:

RQD (%)= 55%; Jn= 6; Jr= 1,5; Ja= 1; Jw= 1; SRF= 0,5

$$Q = \frac{65}{6} * \frac{1,5}{1} * \frac{1}{0,5} = 32,5$$

Según los criterios de valoración para la clasificación Q corresponde a **Roca Buena** perteneciente al intervalo entre 10-40.

ANEXO 19

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (BIENAWSKI, 1989).

La clasificación geo mecánica RMR, también conocida como clasificación geo mecánica de Bieniawski, fue presentada por el Ingeniero Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones.

El RMR se obtiene estimando cinco parámetros: la resistencia a compresión simple de la roca, el RQD (Rock Quality Designation), la separación entre las diaclasas, su estado y la presencia de agua freática.

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
	Estado de las discontinuidades	Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		

		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litro/m ³	10-25 litros/m ³	25-125 litros/m ³	>125 litros/m ³
		Relación: presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación	15	10	7	4	0

Cuadro 1. Parámetros de Clasificación de Bieniawski.

Fuente. Hooke, Brown. Excavaciones subterráneas en Roca.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-60	3-4 kg/cm²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Cuadro 2. Calidad del macizo Rocosos en relación al índice RMR.

Fuente. Hooke, Brown. Excavaciones subterráneas en Roca.

Cuadro3. Calidad y Tiempo de soporte del Macizo rocoso según índice RMR.

Clase (R.M.R.)	c [Kpa]	φ °	t sin soporte
I (81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m

Fuente. Hooke, Brown. Excavaciones subterráneas en Roca.

Análisis de Resultado RMR Bieniawski.

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA

- **Ensayo de la resistencia a la compresión simple.**
 $\sigma_{ci} = 31,09$ Mpa. Puntuación: 4
- **RQD**
RQD = 55% Puntuación: 13
- **SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS**
La separación entre diaclasas 0,2-0,6 m. Puntuación: 10
- **ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES**
 - LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD: < 1m. Puntuación: 6
 - ABERTURA: 1-5mm. Puntuación: 1
 - RUGOSIDAD: Ligeramente Rugosa. Puntuación: 3

- RELLENO: nulo. Puntuación: 6
- ALTERACIÓN: inalterada. Puntuación: 6
- **AGUA FREÁTICA**

Nulo. Puntuación: 15

La sumatoria de cada uno de los parámetros para el cálculo del RMR (σ_{ci} , RQD, separación entre diaclasas, longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno, alteración y agua freática) es igual a 63 puntos, lo que clasifica como un macizo rocoso Clase II, con Calidad Media, que está ubicada en una valoración RMR de 60 a 80 puntos, Cohesión entre 3 a 4 kg/cm² y un Angulo de rozamiento de 35° a 45° aproximadamente.

ANEXO 20

CLASIFICACION DEL INDICE GEOLOGICO GSI.

El índice GSI se puede obtener a partir de la estimación del RMR, esta clasificación permitirá un cálculo más preciso de la cohesión y del ángulo de fricción interna de la roca de respaldos.

$$\mathbf{GSI = RMR - 5}$$

$$\mathbf{GSI = 64 - 5}$$







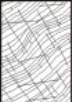

$$\mathbf{GSI = 59}$$

Cuadro 1. Clasificación macizo rocoso según GSI.

CALIDAD DEL MACIZO	CLASE	GSI
MUY MALO	V	0-20
MALO	IV	21-40
REGULAR	III	41-60
BUENO	II	61-80
MUY BUENO	I	81-100

Fuente: datos de estudio.

Cuadro 2. Clasificación GSI para Túneles.

COMPOSITION AND STRUCTURE		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	A			
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		50	B		
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts			C		
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers			D		
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers		40		E	
C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.				30		
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure				F	
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					G
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					H 10

→ : Means deformation after tectonic disturbance

Fuente: RockLab.

De acuerdo a la ilustración de la apariencia superficial que presentan las discontinuidades se puede observar que aunque es una roca que generalmente es maciza y estable, puede presentar desprendimientos y planos de falla, también es de destacar que según esta clasificación GSI arroja un puntaje de 59/100 que caracteriza la roca como regular de clase III para casos de construcción de Túneles sobre la misma.