

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA



**“DISEÑO DE METODO DE EXPLOTACION SUB LEVEL
STOPING EN ROCA DE MALA CALIDAD”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR
EDWARD MIGUEL MONAGO ALVAREZ**

**ASESORA
MSC. ING. CARMEN ROSALIA MATOS AVALOS**

**LIMA – PERU
2013**

DEDICATORIA

El presente trabajo lo consagro a la dedicación de mis padres quienes me acompañan en todo momento y al amor de mi esposa e hijos.

AGRADECIMIENTO

*A mis padres quienes siempre estuvieron respaldando
mis decisiones en todo momento.*

*Y de manera muy especial a Urfelinda mi madre,
quién día a día me brinda ejemplo de trabajo,
responsabilidad y perseverancia para lograr los objetivos.*

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con la finalidad de evaluar la aplicación del método de explotación de minado masivo en Roca Mala Tipo IV (Según la clasificación de *Bienanski*).

El análisis de minado masivo (*Sub Level Stopping*) es comparado con el método de minado *Cut and Fill* a través de parámetros de diseño, operativos y económicos con la finalidad de obtener mayor producción a corto plazo debido a que posteriormente todo el mineral no recuperado será explotado con el *Open Pit* que se encuentra en el flanco Norte de la Zona en estudio.

El Estudio Geomecánico y análisis del dimensionamiento de las excavaciones fueron realizados tomando como datos de entrada, los parámetros y características del Estudio Geomecánico, “EVALUACION GEOMECANICA DE LA ZONA DE BRECHAS Y ALTERNATIVAS DE METODOS DE MINADO” elaborado por DCR Ingenieros S.R. Ltda. En el cual precisa la necesidad de migrar al Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente (*Cut and Fill*).

Así mismo, la intención de dicho análisis es optimizar los recursos y el desempeño del ciclo de minado, para ello se procedió a analizar las aberturas máximas, los mismos que se detalla a continuación.

El dimensionamiento del ancho y altura de las excavaciones fue realizado mediante el *software Phase2*, así mismo la longitud de la excavación fue determinado mediante el Método Grafico de Estabilidad (MGE).

Finalmente, el análisis de los parámetros de diseño, operativos y económicos deducen ventajas significativas con el Método de *Sub Level Stoping* en comparación al Corte y Relleno planteado por el estudio de consultoría.

ABSTRACT

This work was carried out with the purpose of assessing the bulk mining method on Poor Rock, type IV (according to the Bieniawski classification).

The mass mining (Sublevel Stopping) analysis is compared with the Cut and Fill mining method through financial, operational and design parameters, in order to obtain higher production in a shorter term, since the non-recovered ore will be exploited later by the open pit mining in the north flank of the studied zone.

The Geomechanical Survey and excavations dimensioning analysis were performed considering as input data the parameters and characteristics of the Geomechanical Survey "EVALUACION GEOMECANICA DE LA ZONA DE BRECHAS Y ALTERNATIVAS DE METODOS DE MINADO" (GEOMECHANICAL EVALUATION OF THE BRECCIA ZONE AND ALTERNATIVES FOR MINING METHODS) prepared by DCR Ingenieros S.R. Ltda. It explains in detail the need to migrate to the Cut and Fill exploitation method.

Furthermore, such analysis aims at optimizing resources and performance in the mining cycle; thus, the maximum openings were analyzed, being detailed as follows.

The height and width dimensions of the excavations were obtained with the Phase 2 software, and the length of the excavation was determined by the Stability Graph Method (SGM).

Finally, with the analysis of the financial, operational and design parameters, it is deduced that there are significant advantages with the Sublevel Stoping method, compared to the Cut and Fill method proposed by the previously mentioned survey.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	13
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	15
1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA MINA.....	15
1.1.1. Ubicación y Acceso.....	15
1.1.2. Clima	16
1.1.3. Fauna y Vegetación.....	16
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.2.1. Antecedentes de la Aplicación del Sub Level Stoping.....	16
1.2.2. Antecedentes de la Aplicación de Corte y Relleno Ascendente.....	17
1.3. MARCO TEÓRICO.....	
1.3.1. Minado por Sub Level Stoping.....	17
1.3.2. Minado por Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.....	20
CAPÍTULO II: GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	25
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL Y DISTRITAL.....	25
2.2. ESTRATIGRAFIA.....	25
2.2.1. Grupo Mitu.....	25
2.2.2. Grupo Pucara.....	26
2.2.3. Formación Pocobamba.....	27
2.2.4. Formación Calera.....	28
2.3. COMPLEJO VOLCANICO DE MARCAPUNTA.....	30
2.4. TECTONICA.....	31

2.5.	LITOLOGIA	32
2.5.1.	Horizonte Prospectivo.....	32
2.5.2.	Depósitos Piroclásticos.....	33
2.5.3.	Dacita Porfírica.....	33
2.5.4.	Brechas.....	33
2.5.5.	Brechas Freatomagmáticas.....	34
2.5.6.	Tufisitas / Pebble Dikes.....	34
2.5.7.	Brechas Hidrotermales.....	34
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		41
3.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	42
CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOMECÁNICO.....		43
4.1.	REFERENCIAS DEL ESTUDIO.....	43
4.2.	CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	44
4.2.1.	Registro de Datos.....	44
4.2.2.	Aspectos Litológicos.....	45
4.2.3.	Distribución de Discontinuidades.....	45
4.2.4.	Aspectos Estructurales.....	47
4.2.5.	Clasificación del Macizo Rocoso.....	49
4.3.	ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	50
4.4.	RESISTENCIA DE LA ROCA.....	54
4.4.1.	Características Mecánicas De La Roca Intacta.....	54
4.4.2.	Resistencia de la Masa Rocosa.....	56
4.4.3.	Condiciones del Agua Subterránea.....	56

4.4.4. Esfuerzos In-Situ.....	59
CAPITULO V: DISEÑO GEOMECANICO.....	60
5.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	60
5.1.1. Diseño del Ancho, Altura y pilar.....	61
5.1.2. Método Grafico de Estabilidad (MGE).....	72
5.1.3. Estimación de Parámetros Análisis de Estabilidad del Hastial.....	81
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO	90
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFIA	103
ANEXO 1 PLANO GEOMECANICO	
ANEXO 2 MAPEO GEOTECNICO DE TALADROS DIAMANTINOS	
ANEXO 3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LMR	
ANEXO 4 ANALYSIS INFORMATION	
ANEXO 5 ANALISIS MGE – STOPESOFT	
LAMINAS	

LISTA DE CUADROS

CUADRO 4.1: SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES	
ESTRUCTURALES.....	46
CUADRO 4.2: CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	50
CUADRO 4.3: CALIDAD Y ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA	52
CUADRO 4.4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL....	54
CUADRO 4.5: ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.....	55
CUADRO 4.6: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	55
CUADRO 4.7: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA INTACTA.....	55
CUADRO 4.8: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN DE LAS	
DISCONTINUIDADES.....	56
CUADRO 4.9: PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA MASA	
ROCOSA.....	58
CUADRO 4.10: DATOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO.....	62
CUADRO 4.11: DETERMINA LA DIFERENCIA ENTRE LA JUNTA	
CRÍTICA Y LA PARED DEL TAJEO.....	84
CUADRO 4.12: MINADO PROYECTO BLOCK 9775.....	96
CUADRO 4.13: COMPARATIVO COSTOS DE MINADO BLOCK 9775.....	97
CUADRO 4.14: RESUMEN DE COSTOS DE EXCAVACIÓN DEL	
MINADO BLOCK 9775.....	99
CUADRO 4.15: INDICADORES DE MINADO BLOCK 9775.....	99

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: MÉTODO DE MINADO SUBLEVEVL STOPING (SLS)	20
FIGURA 1.2: PREPARACIÓN DEL MÉTODO DE MINADO CORTE Y RELLENO	23
FIGURA 1.3: VISTA EN SECCIONES DEL MÉTODO DE MINADO, CORTE Y RELLENO.....	24
FIGURA 2.1: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL DISTRITO MINERO COLQUIJIRCA	36
FIGURA 2.2: GEOLOGÍA GENERAL DEL DISTRITO DE COLQUIJIRCA.....	37
FIGURA 2.3: FOTOGRAFIA DE LOS AFLORAMIENTOS ROCOSOS PRINCIPALES DEL DISTRITO DE COLQUIJIRCA.....	38
FIGURA 2.4: SECCIONES DE LA MINERALIZACIÓN MARCAPUNTA.....	40
FIGURA 5.1: MODEL BLOCK 9775 – ZONA DE BRECHAS.....	63
FIGURA 5.2: INTERPRET BLOCK 9775 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	64
FIGURA 5.3: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO PARA EXPLOTACIÓN DEL BLOCK 9775 CON SLS.....	65
FIGURA 5.4: DIMENSIONAMIENTO FINAL DE LOS TAJEOS (ANCHO Y ALTURA).....	67
FIGURA 5.5: SECUENCIA DE MINADO ACTUAL	69

FIGURA 5.6: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECUENCIA DE MINADO PROPUESTO (MINADO INTERCALADO – PRIMERA PARTE)	70
FIGURA 5.7: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – SECUENCIA DE MINADO	71
FIGURA 5.8: ESQUEMA DE CÁLCULO DEL RADIO HIDRÁULICO	74
FIGURA 5.9: ABACO DE ESTABILIDAD	75
FIGURA 5.10: ABACO FACTOR DE ESFUERZO	78
FIGURA 5.11: AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS	79
FIGURA 5.12: ABACO FACTOR DE DESLIZAMIENTO O GRAVEDAD	80
FIGURA 5.13: ABACO FACTOR DE DESLIZAMIENTO O GRAVEDAD	80
FIGURA 5.14: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DEL BLOCK 9775.....	83
FIGURA 5.15: REPRESENTACIÓN DE LOS PLANOS PRINCIPALES DEL BLOCK 9775.....	84

INTRODUCCIÓN

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. es una empresa minera polimetálica, dedicada a la extracción, concentración y comercialización de minerales polimetálicos: zinc, plomo, cobre y plata. Actualmente La Empresa explota en su mina subterránea Marcapunta Norte minerales de cobre.

Como parte de la ampliación de sus operaciones Sociedad Minera el Brocal S.A.A tiene planeado establecer sus operaciones subterráneas de la siguiente manera, mantener la producción promedio de 6,500 t/día llegando a picos altos de producción de 8,000 t/día, esto dependiendo de la exigencia y necesidad de producción de concentrado. Para afrontar los objetivos trazados, es necesario mantener las preparaciones, y el volumen de producción a razón de 6,500 t/día ya que se cuenta con un *stock* de mineral que respalda la producción diaria a razón de 2,000 t/día cuando se requiere incrementar la producción.

Actualmente el yacimiento de Cobre Marcapunta Norte viene siendo explotado utilizando el método minado *Sub Level Stopping* en zonas donde la Calidad de Roca es Regular Tipo III-A y III-B, en gran porcentaje (Zona de Calizas mineralizadas y

Brechas mineralizadas). La información geológica hace conocer de la existencia de mineralización en el Block 9775 el mismo que se encuentra en la zona influencia del contacto entre la Zona de Brecha y el Material Volcánico, quien por su naturaleza en zonas de alteración, la calidad de roca disminuye. Por tanto se hace necesario realizar la evaluación de la posibilidad de continuar con el método de minado masivo ya que los asesoramientos realizados a La Compañía determinaron implementar el método de minado de Corte y Relleno Ascendente dejando pilares corridos o pilares cuadrados.

El método de minado *Sub Level Stoping* será evaluado siguiendo los criterios técnicos a través de los diseños geomecánicos, así mismo los métodos de minado posibles a aplicar serán evaluados también económicamente.

Para efectos de identificar operaciones económicas, holísticas y funcionales, se desarrolla el presente trabajo cuyo objeto es realizar la comparación del método de minado *Sub Level Stoping* y Corte y Relleno Ascendente Mecanizado.

Resulta necesario realizar la evaluación de los métodos de minado con la finalidad de mantener bajos costos operativos, e incrementar los niveles de producción establecidos en por la Compañía, manteniendo estándares aceptables de seguridad.

El alcance del presente trabajo es determinar el método de explotación factible del Block 9775 Zona de Brechas de la Mina Marcapunta Norte de Sociedad Minera El Brocal – Colquijirca.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA MINA

A. Ubicación y Acceso

El Proyecto Marcapunta cubre un área de 800 Has y se ubica entre los yacimientos de Colquijirca y San Gregorio; las coordenadas UTM que limitan el área de estudio son: 360,000 E a 362,500 E; 8'807,000 N a 8'810,200 N; se halla dentro de la hoja 22 k – Cerro de Pasco, de la Carta Geográfica Nacional. Políticamente pertenece al distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco; las cotas varían entre 4,180 y 4,500 m.s.n.m. Accesos:

- Lima – La Oroya – Colquijirca: 310 km (Carretera asfaltada)
- Lima – Canta – Huayllay– Colquijirca: 265 km (Carretera afirmada)

B. Clima

Según la división climática de *W. Koppen* (1984), el área de estudio presenta clima frío, cuyas temperaturas mínimas se producen entre Mayo y Agosto oscilando entre los -4°C y 20°C . Las precipitaciones pluviales caen entre los meses de Diciembre y Marzo.

C. Fauna y Vegetación

La fauna en la zona está representada por el ganado vacuno, ovino, porcino y caballar; así mismo la vizcacha y algunas aves silvestres.

La vegetación mayormente está compuesta por ichu, y en los alrededores de las lagunas y bofedales crecen plantas variadas, como las totoras.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Antecedentes de la Aplicación del *Sub Level Stopping*

Actualmente se viene aplicando a nivel nacional, tal es el caso de Iscaycruz, Milpo – Cerro Lindo, Minsur, Volcan; en el cual se realizan muy buenas practicas y resultados en el minado masivo.

Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular verticales o sub verticales de gran potencia, por lo general superior a 10 m, pero se han visto casos en los que se aplica *Sub Level Stopping* en vetas sub verticales, para ello es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean de Roca Regulares (de acuerdo a la clasificación de *Bieniawski*).

También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en cámaras separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar condiciones geomecánicas de estabilidad.

1.2.2. Antecedentes de la Aplicación de Corte y Relleno Ascendente

El Método de Minado por Corte y Relleno Ascendente, se está aplicando en minas importantes del país, como: Raura, Atacocha, San Cristóbal, Andaychagua, Uchucchacua.

Este método es altamente selectivo y flexible, permitiendo explotar cuerpos y vetas muy irregulares. En cuerpos o vetas de baja potencia pero alta ley se usan variantes que mantienen los principios del método pero permiten acceder al mineral logrando la mínima dilución posible.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Minado por *Sub Level Stoping*

Este método es conocido también como Minado por Subniveles con Taladros Largos (SLS), es una aplicación de los principios de la voladura de banco a Cielo Abierto a las explotaciones subterráneas, consiste en la recuperación del puente entre dos niveles de preparación, superior e inferior.

La perforación de los taladros de producción se desarrolla en sentido descendente y ascendente para el caso de esquema de perforación de taladros

en abanico; y únicamente en sentido descendente vertical y paralelo cuando la perforación sobrepasa del nivel superior al inferior. El sistema establece un único nivel base (nivel de extracción) para varios subniveles superiores.

El mineral disparado cae por gravedad, siendo depositado en el nivel inferior, preparada para éste efecto con sostenimiento adecuado y refugios, para la extracción mediante equipos operados a control remoto.

Generalmente cuando los cuerpos mineralizados presentan grandes dimensiones (mantos o cuerpos), éstos se dividen en dos o más tajeos para evitar el colapso o desprendimiento de las cajas y/o la corona, de estas formas se dejan pilares de mineral in situ, el que sirve de soporte para las cajas. Estos pilares pueden ser recuperados, parciales o totalmente al final de la explotación mediante la utilización de relleno.

A. Características:

- Alta producción y productividad
- Aplicable a cuerpos, mantos y vetas, (idealmente sub-verticales)
- Cada tajeo puede producir más de 25.000 ton / mes
- Intensivo en desarrollos, pero todos son hechos en mineral
- El método no es selectivo
- Uno de los métodos subterráneos de más bajo costo

B. Ventajas

- Muy favorable para mecanización
- Altamente eficiente
- Tasa de producción moderada a alta (25.000 ton / mes - tajeo)
- Método seguro y fácil de ventilar
- Recuperación sobre 90%, implementando el relleno adecuado.
- Dilución baja: < 20%
- La perforación puede adelantarse, a fin de contar con tajos listos para la voladura.
- En operaciones grandes, voladuras semanales son frecuentes con turnos entrenados y eficientes
- El mineral está disponible de inmediato al iniciarse la voladura de producción.

C. Desventajas

- Demanda mucha inversión, alto metraje en desarrollos y preparación antes de iniciar la producción
- No selectivo

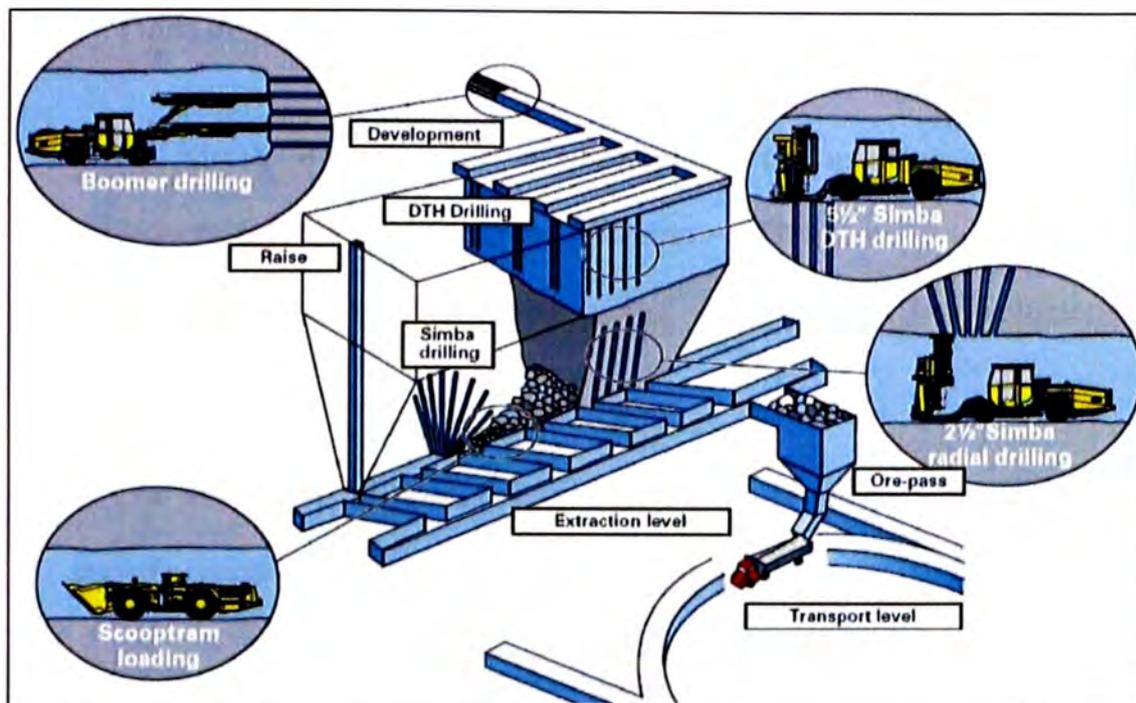


FIGURA 1.1: METODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING (SLS)

Fuente: Información vía web

1.3.2. Minado por Corte y Relleno Ascendente Mecanizado

Se aplica para yacimientos que poseen rocas encajonantes y mineral de Regular a Mala Calidad en los cuales es imposible construir un caserón de las dimensiones del típico SLS. Así mismo se caracteriza por ser un método altamente selectivo ya que permite lograr altas recuperaciones (>90%) y baja dilución (<2%)

El método consiste en avanzar con cortes horizontales ascendiendo en la veta, manto o cuerpo, una vez realizado el corte de arranque se realiza el relleno del caserón.

A. Tipos de Relleno

En virtud de que los requerimientos de material de relleno son considerablemente grandes, se deberán utilizar todas las fuentes de abastecimiento disponibles para poder proporcionar los volúmenes que demanda.

Los materiales utilizables como relleno, en la mayoría de las operaciones mineras, pueden ser categorizados de la siguiente manera:

- i. **Relleno de Roca:** Roca estéril fragmentada generalmente provienen de los avances de la preparación y desarrollo.
- ii. **Relleno Hidráulico:** Arenas clasificadas producto del desecho de molienda de plantas de tratamiento de minerales
- iii. **Relleno de Pastas:** Pastas formadas con Relleno Hidráulico, cemento y agua en proporciones muy densas
- iv. **Relleno Compuesto:** Material de aluvión proveniente de lechos de ríos y arroyos, material misceláneo (escorias granuladas de fundición, arenas secas, gravas).

B. Características:

- El método tiene como finalidad obtener mineral beneficiable y a su vez proporcionar soporte artificial a la roca encajonante, para evitar aberturas que ocasionen inestabilidad en los tajeos de producción.

- Este método es altamente selectivo y flexible, permitiendo explotar cuerpos muy irregulares.
- En general el método consiste en la explotación del mineral, ascendiendo usando como piso de trabajo un tipo de relleno.

C. Ventajas:

- El método presenta baja dilución ya que es un método selectivo.
- Es posible trabajar vetas de poca potencia pero alta ley.
- Puede alcanzar alto grado de mecanización, y su aplicación puede presentar una amplia flexibilidad.
- Se adecua a yacimientos con propiedades geomecánicas incompetentes.
- Aprovecha el material estéril generado por la preparación, desarrollo y del proceso de concentración.
- Permite una disponibilidad inmediata del mineral

D. Desventajas:

- A los costos de explotación se debe agregar el costo relleno.
- En el caso del empleo de relleno hidráulico es necesario clasificar la granulometría y de relleno para eliminar lamas, para lo cual es necesario implementar una planta de tratamientos de relleno.
- En el caso de relleno con pasta considerar el costo del cemento ya que este encarece el método y puede hacerlo inoperable.

- En el relleno hidráulico, se debe diseñar un sistema de bombeo, de manera que tenga capacidad de eliminar el agua contenida en el relleno.

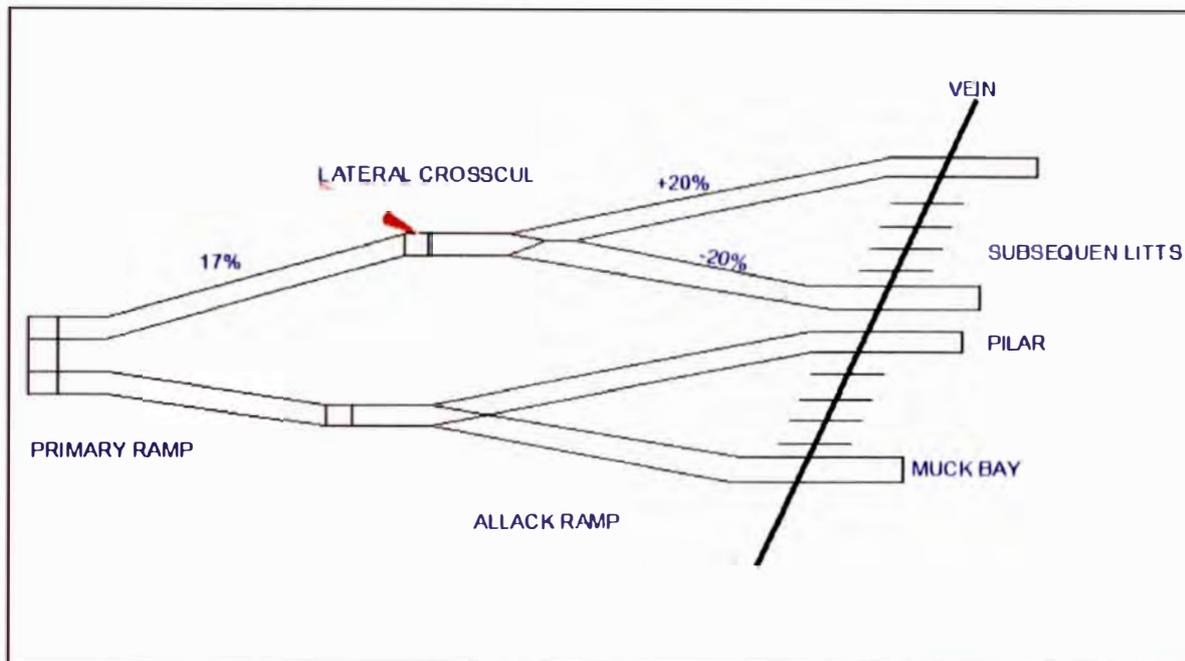


FIGURA 1.2: PREPARACION DEL METODO DE MINADO CORTE Y RELLENO

Fuente: Interpretación propia

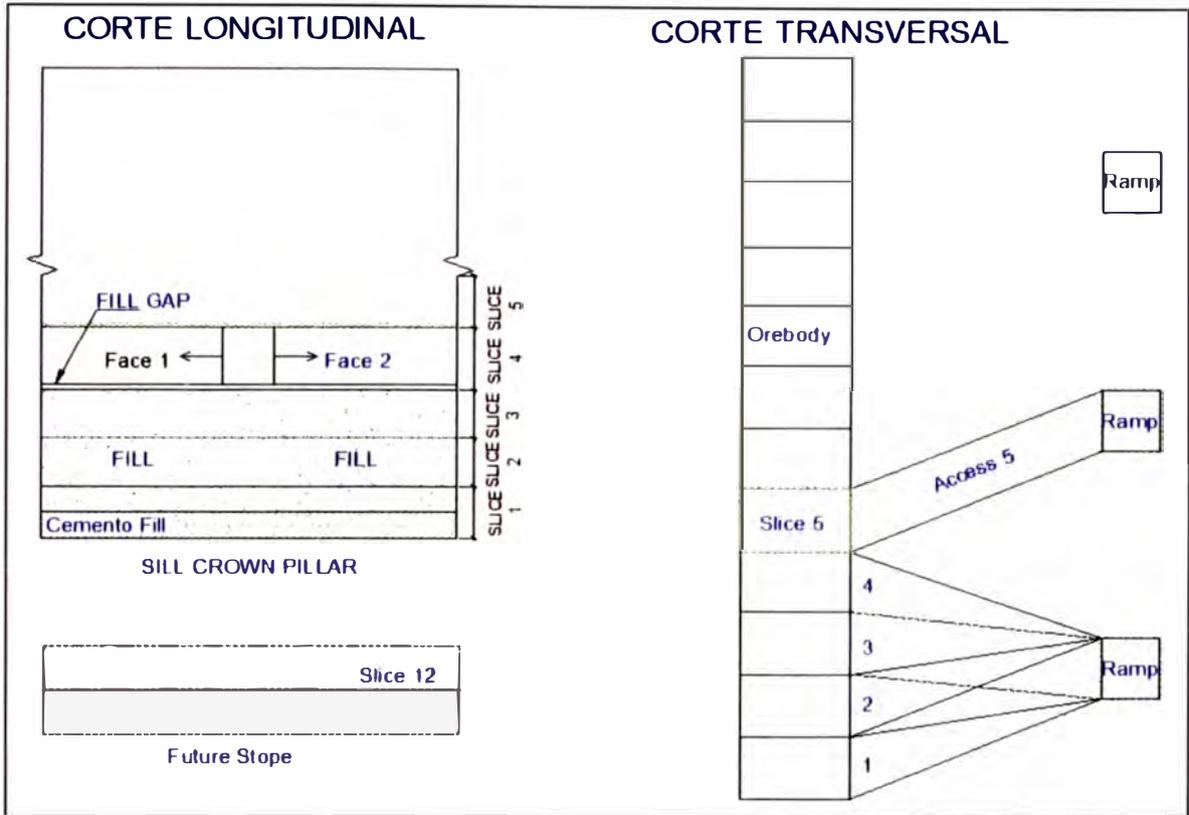


FIGURA 1.3: VISTA EN SECCIONES DEL METODO DE MINADO CORTE Y RELLENO

Fuente: Interpretación propia

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL Y DISTRITAL

La historia geológica en el Distrito Minero de Colquijirca se inicia en el Triásico y revela una sucesión de eventos de depósitos minerales, tectónicos y volcánicos controlados por una gran estructura de dirección Norte-Sur denominada Falla Longitudinal.

2.2. ESTRATIGRAFIA

2.2.1. Grupo Mitu

Descansa en leve discordancia angular o erosional sobre el Grupo Excelsior; son areniscas, limos y conglomerados de color rojo que suprayacen en discordancia angular al Grupo Excelsior, su potencia se estima en 400 m.

En el área de trabajo, constituye el substrato sobre el cual se emplazan en discordancia erosional los depósitos terciarios de la Formación Calera en un contexto de pliegues y/o altos estructurales.

2.2.2. Grupo Pucara

En la región pueden distinguirse claramente dos conjuntos de faces pertenecientes al mismo grupo, separados por la Falla Longitudinal, denominados Pucará Occidental y Pucará Oriental, al Oeste y Este de la falla respectivamente. Su edad es Triásico–Liásico.

El Pucará Occidental, comienza con una leve discordancia angular sobre el Grupo Mitu, por una brecha basal de color gris verdoso con clastos de filita y cuarzo que suprayacen a las areniscas del Grupo Mitu; es seguido de dolomías con *chert* y niveles de cineritas, con figuras sedimentarias, fósiles, pseudomorfos de evaporitas, etc., que sugieren un ambiente muy somero, de baja energía en la parte interna de una plataforma carbonatada. Su espesor medido es de 360 m aproximadamente. En el límite Sur del área de trabajo, en el anticlinal Bohórquez y área de Yanque María, afloran abruptamente calizas y brechas calcáreas atribuidas al Pucará Occidental, descansando sobre areniscas del Grupo Mitu; pero no todas éstas pertenecen necesariamente al Pucará, es así que los afloramientos de Yanque María son microbrechas algo calcáreas con granos de cuarzo fragmental, sugiriendo ello un origen más bien vulcanoclástico, acaso del Calera inferior. Esta unidad es huésped de la mineralización en San Gregorio.

El Pucará Oriental o Formación Chambará, no tiene una base aflorante; se compone de más de 1,500 m de calizas con sílex e incluye masas estratiformes recristalizadas posteriormente; son depósitos de plataforma carbonatada externa.

No se ha encontrado unidades pertenecientes al Cretáceo, por consiguiente suprayaciendo al Grupo Pucará, tenemos el Terciario representado por la Formación Pocobamba con sus Miembros Cacuán y Shuco y la Formación Calera, que cubren en discordancia erosional a los Grupos Mitu o Pucará.

2.2.3. Formación Pocobamba

A. Miembro Cacuan

Son secuencias grano crecientes de 10 a 25 m de limolitas, areniscas y conglomerados de origen fluvial de más de 100 m de espesor que descansan sobre el Pucará Occidental; son un equivalente y en parte infra yacen al Conglomerado Shuco.

B. Conglomerado Shuco

Esta unidad se compone de conglomerados y brechas sedimentarias con escasos lentes de limolitas y areniscas; la mayor parte de los clastos son de caliza y sílex Chambará con tallas de 2 a 30 cm que varían en función a la distancia de la Falla Longitudinal. Es de origen aluvial y sintectónico, constituye un prisma con su espesor mayor de más de 150 m, adosado a la Falla Longitudinal. Las faces

Shuco no están restringidas exclusivamente al Bloque Occidental de la Falla Longitudinal. Su depósito es probablemente contemporáneo con la Fase Inca de deformación en la Cordillera Occidental, al pie de un sistema de fallas que delimitaban altos estructurales.

2.2.4. Formación Calera

Se caracteriza por una predominancia de depósitos vulcanoclásticos, conglomerados, margas, calizas, dolomías, *chert* con un mínimo de 250 m de espesor de ambiente lagunar. Una edad radiométrica de K/Ar sobre biotita en una toba ácida de la parte inferior dio entre 36 y 37 Ma (Noble et al, 1999). Esta unidad constituye la roca huésped para la mineralización en Colquijirca, así como en Marcapunta Norte y Oeste. Ángeles (1996, 1999), subdivide esta Formación en tres unidades: Calera inferior, medio y superior.

A. Calera Inferior

Con una predominancia de sedimentos detríticos, cuya granulometría varía desde brechas matriz sostenidas, microbrechas, limos y lutitas en su mayor parte de procedencia volcánica; niveles de conglomerados con guijarros Chambará y delgados niveles de tobas riolíticas; el intervalo termina con lutitas y calizas margosas; el espesor de esta fase es de 64 m aproximadamente.

B. Calera Medio

Contiene facies de calizas gris claras, en bancos prominentes; en la Calera, su localidad típica, la parte baja del intervalo es casi enteramente calcárea, la parte alta contiene además calizas margosas e intercalaciones de lutitas gris verdosas y verdes, probablemente derivadas de piroclastos; este intervalo supera los 55 m.

C. Calera Superior

Se compone de delgadas alternancias de lutitas, limolitas, arenitas, dolomías margosas, dolomías y *chert*; su grosor supera los 150 m.

En la zona de trabajo, se han registrado solamente el miembro inferior y medio, tal como lo atestiguan los numerosos sondajes que atraviesan esta Formación y los escasos afloramientos de superficie. La Formación Calera es la roca huésped de la mineralización en Colquijirca y Marcapunta.

En Marcapunta la mineralización se deposita entre las areniscas Mitu infrayacentes y las dacitas porfíricas o piroclastos del complejo volcánico suprayacentes. En Marcapunta Norte es posible subdividir dos unidades; unidad inferior, esencialmente detrítica, gruesa y la unidad superior esencialmente fina y calcárea; en Marcapunta Oeste, a la luz de nuestras perforaciones, se ha registrado escasas intersecciones de la unidad superior, en cambio, la unidad inferior fue interceptada ampliamente.

2.3. COMPLEJO VOLCANICO DE MARCAPUNTA

Su emplazamiento es controlado por la Falla Longitudinal al igual que el complejo de Cerro de Pasco. En este caso, se emplaza a manera de un conjunto de domos ácidos a intermedios de lava viscosa en forma de “hongos” o lacolitos sobre un paleorelieve Calera, Mitu y tal vez Pucará. Se constituye principalmente por piroclastos a la base que es instruido por múltiples domos de composición dacítica con textura porfirítica, riolitas brechadas; estas unidades son cortadas por una serie subordinada de tufisitas, *pebble dikes*, brechas freatomagmáticas y brechas hidrotermales.

Comparado con el complejo volcánico de Cerro de Pasco, la diatrema o cuello volcánico de Marcapunta es aparentemente más pequeño, tal vez de unos 600 m de diámetro, pero su sistema mineralizado es igual de grande; así, entre San Gregorio y Colquijirca hay aproximadamente 8 Km en eje Norte–Sur. Es de destacar que Marcapunta se encuentra preservado de la erosión, lo cual insinúa un gran potencial para mineralización en las rocas.

Circundantes a la diatrema o cuello volcánico bajo el lacolito; mientras que Cerro de Pasco, es una diatrema más grande, de 2.5 Km de diámetro aproximadamente, que ha sufrido una erosión más profunda, tanto que expone la diatrema misma.

Entre estos dos complejos volcánicos se emplaza la diatrema de Yanamate, modestamente expuesta algo más al Este de la traza de la Falla Longitudinal; se constituye de coladas piroclásticas, domos y diques de un pórfido aparentemente dacítico.

La Edad de Marcapunta fue fechada en 11.5 ± 0.4 Ma por K/Ar sobre biotita y la actividad hidrotermal en 10.8 ± 0.3 Ma por K/Ar en alunita (*Vidal et al, 1984*); recientemente, *Bendezú & Fontboté (2002)* aportan edades Ar/Ar de 12.9 a 12.4 ± 0.1 Ma sobre biotita para el complejo volcánico; 11.6 a 11.3 ± 0.1 Ma para la actividad hidrotermal asociada a los metales preciosos y 10.8 a 10.6 ± 0.1 Ma para los metales base. Estas edades K/Ar y Ar/Ar son más o menos consistentes entre sí.

2.4. TECTONICA

La Falla Longitudinal es la estructura más importante, controló la sedimentación del Terciario, los complejos volcánicos de Cerro de Pasco y Marcapunta presentan numerosas fallas y estructuras subordinadas de dirección NW-SE, E-W y NE-SW también han sido mapeadas en la región y en conjunto son importantes para el emplazamiento de la mineralización en Colquijirca y Cerro de Pasco.

En Marcapunta Norte, en interior Mina, también se ha mapeado gran cantidad de estructuras E-W, principalmente en forma de fallas con poco desplazamiento, diaclasas y zonas de cizallamiento que cortan al Manto Mineralizado, por lo tanto de edad post-mineral.

De igual modo en interior mina, adicional al manto mineralizado de Enargita-Pirita; Oro-Alunita, se ha identificado un control estructural secundario en la mineralización, el sistema de microfracturas verticales, E-W pre mineralización, en microvetillas.

2.5. LITOLOGIA

2.5.1. Horizonte Prospectivo

El Horizonte prospectivo como se ha dicho anteriormente, dentro del área de trabajo, lo constituyen rocas de la Formación Calera, enmarcadas entre las areniscas rojas del Grupo Mitu al piso y los volcánicos dacíticos y piroclastos del complejo Marcapunta al techo. En Marcapunta Norte el horizonte mineralizado se divide en dos unidades; Unidad inferior, esencialmente gruesa conglomerática o brechosa y la Unidad superior esencialmente fina y/o carbonatada.

A. Unidad Inferior

La base del Calera inferior es la roca huésped de la “Brecha Mineralizada” en Marcapunta Norte y Oeste, esta “Brecha Mineralizada”, no es otra cosa que los niveles de conglomerados mineralizados por pirita y enargita principalmente. Su espesor es de unos 100 m, donde predominan intercalaciones de brechas vulcanoclásticas polimícticas matriz-sostenidas que gradan a micro brechas, tobas y limolitas, conglomerados polimícticos clasto-sostenidos.

B. Unidad Superior

Se emplazan concordantemente sobre la Unidad inferior; Está constituida por calizas detríticas y limolitas calcáreas con fina estratificación, que equivale parcialmente al Calera medio y a la parte alta del Calera inferior de Ángeles (1996,1999), es la roca huésped de los “Mantos Mineralizados” trabajados en

minería subterránea por Cu arsenical en Marcapunta Norte, su espesor es variable, de 50 a más de 200 m, según la erosión a que fue sometida antes del vulcanismo que la cubre o la cobertura cuaternaria.

2.5.2. Depósitos Piroclásticos

En Marcapunta Norte, se han identificado dos niveles el primero, cubre el paleorelieve Calera aparentemente rellenando depresiones; el segundo, más delgado, se emplaza en medio de lavas dacíticas.

2.5.3. Dacita Porfirítica

En el complejo volcánico Marcapunta, configuran múltiples domos y diques; se disponen a manera de “hongo” o lacolito sobre sedimentos del Calera y Mitu principalmente. Los hay de edad pre-alteración, como por ejemplo los que afloran en la cumbre del Cerro Marcapunta y post-alteración, como es el caso de la Dacita Smelter, es frecuente diques o sills de dacita cerca al contacto con el Grupo Mitu.

2.5.4. Brechas

Como en todo complejo volcánico, existen numerosas ocurrencias de brecha relacionadas a las actividades magmática e hidrotermal que atraviesan a las demás unidades. Para efecto de este informe las agruparemos en tres tipos: freatomagmáticas, tufisitas / *pebble dike*, e hidrotermales; en muchos casos es difícil establecer diferencia entre ellas.

2.5.5. Brechas Freatomagmaticas

Denominadas también brechas de diatrema, cuyo origen se debe a erupciones violentas, son polimícticas, muy similares a las brechas piroclásticas, contienen elementos del basamento como areniscas, calizas, granos de cuarzo lechoso, dacita, pero tienen contactos y texturas de fluidización verticales a subverticales que las caracteriza.

2.5.6. Tufisitas / *Pebble Dikes*

Estructuras tabulares muy angostas, se componen de material molido, tufáceo, redondeado e intensamente alterado, formados en un ambiente similar a las brechas freatomagmáticas, de edades; pre y post-mineral, cuando la cantidad de elementos redondeados es superior a la matriz molida se denominan *pebble dikes*.

2.5.7. Brechas Hidrotermales

Se individualizan principalmente por su asociación con mineralización y alteración; pueden ser polimícticas o monomícticas, cementadas por matriz silícea, de alunita, pirita u óxidos de fierro, a veces con aspecto de craquelado; conforman cuerpos o estructuras tabulares, la mayoría de ellas se orientan con dirección E–W además de presentar valores altos de Au y elementos asociados. Resulta interesante, aunque de ocurrencia restringida, la brecha hidrotermal con clastos angulosos a subredondeados de dacita porfirítica cementado por alunita plumosa.

Brechas hidrotermales sub-horizontales es decir de 80 a 100 m de potencia. Su característica es que son clasto-soportados donde predominan fragmentos angulosos de *chert* negro y caliza de 2 a 5 cm de diámetro, poca cantidad de areniscas redondeadas y escasos clastos de cuarzo blanco. En algunos tramos se tiene fragmentos de dacita fuertemente alterados a cuarzo-alunita o *vuggy silica*; todos estos elementos son englobados en una matriz de pirita fina fluidizada masiva a semi masiva. Geoquímicamente las brechas hidrotermales arrojan los mejores valores de Au y Cu. También dentro de este tipo de brechas se incluyen aquellas de tipo *crackle* que aparecen cortando las areniscas decoloradas del Mitu, con fragmentos angulosos, apenas rotados en matriz de pirita fina fluidizada con enargita.

COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL DISTRITO MINERO DE COLQUIJRCA							
ERA	PERIODO	SERIE	GRUPO	LITOLOGIA GRAFICA	DESCRIPCION		
CENOZOICO	CUATERNARIO		MATERIAL FLUVIO GLACIAR			Material fluvio-glacial, alevial	
		TERCERARIO	MEDIO A SUPERIOR	CENTRO VOLCANICO	VOLCANICO MARCAPUNTA		Domos y lavas daciticas cuarzolitica.
	TUFO UNISH					Brechas piroclasticas, tobas y lavas.	
	INFERIOR		FORMACION POCOBAMBA	MIEMBRO CALERA	SUPERIOR		Dolomias margozas, dolomias intere, arcillitas, limolitas, areniscas chert y mantos de oxidos.
					MEDIO (MANTOS MINERALIZANDOS)		Al tope arcillitas, margas y calizas margozas con abundante chert A la base calizas con rizomorfos y arcillas verdes.
		INFERIOR				Intercalaciones arcillitas y calizas margozas nodulos micriticos, ostracoides, bioclastos y rizomorfos En la base caliza, mudstone margoza sedimentos volcanoclasticos y piroplasticos (tobas rioliticas).	
				CONGLOMERADO SHUCCO		Brecha sedimentaria de clastos calcereos sub redondeados a a sub angulosos de l chambara y arcillas verdes. Escasos niveles de areniscas, areniscas limosas.	
	MESOZOICO	CRETASICO		MIEMBRO CACUAN			Arcillitas limosas, limolite rojo areniscas cuarcitas y brechas conglomeradicas cuarcitas subredondeadas o subredondeadas, cemento calcarea.
		JURASICO	INFERIOR	GRUPO PUCARA			Pucara Occidental Dolomias beige, brechas intraformaciones y dolomias secundarias.
		TRIASICO	SUPERIOR		PUCARA OCCIDENTAL	FM CHAMBARA	
PALEOZOICO	PERMICO SUPERIOR	GRUPO MITU	ARENISCA MITU			Areniscas rojas con lentes de conglomerados.	
			CONGLOMERADO MITU			Conglomerados y brechas color gris oscuro.	
	DEVONICO		GRUPO EXCLISIOR			Pizarras, filitas y cuarcitas.	

FIGURA 2.1: COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL DISTRITO MINERO COLQUIJRCA

Fuente: departamento de Geología Sociedad Minera el Brocal

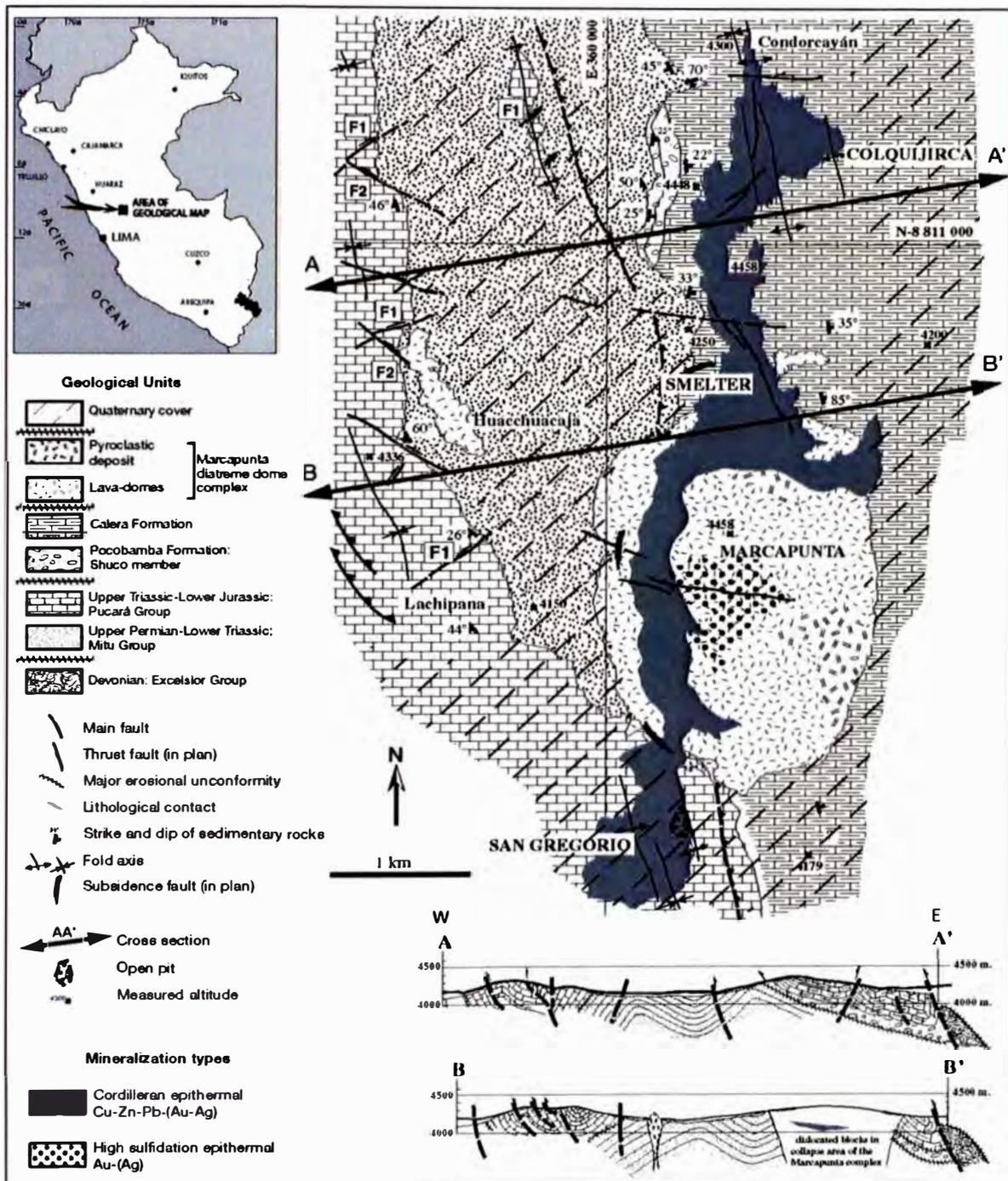


FIGURA 2.2: GEOLOGIA GENERAL DEL DISTRITO DE COLQUIJIRCA
Fuente: Jenks (1951), Ángeles (1999), el personal Brocal. También se muestran dos secciones geológicas transversales a través de la parte norte del distrito.

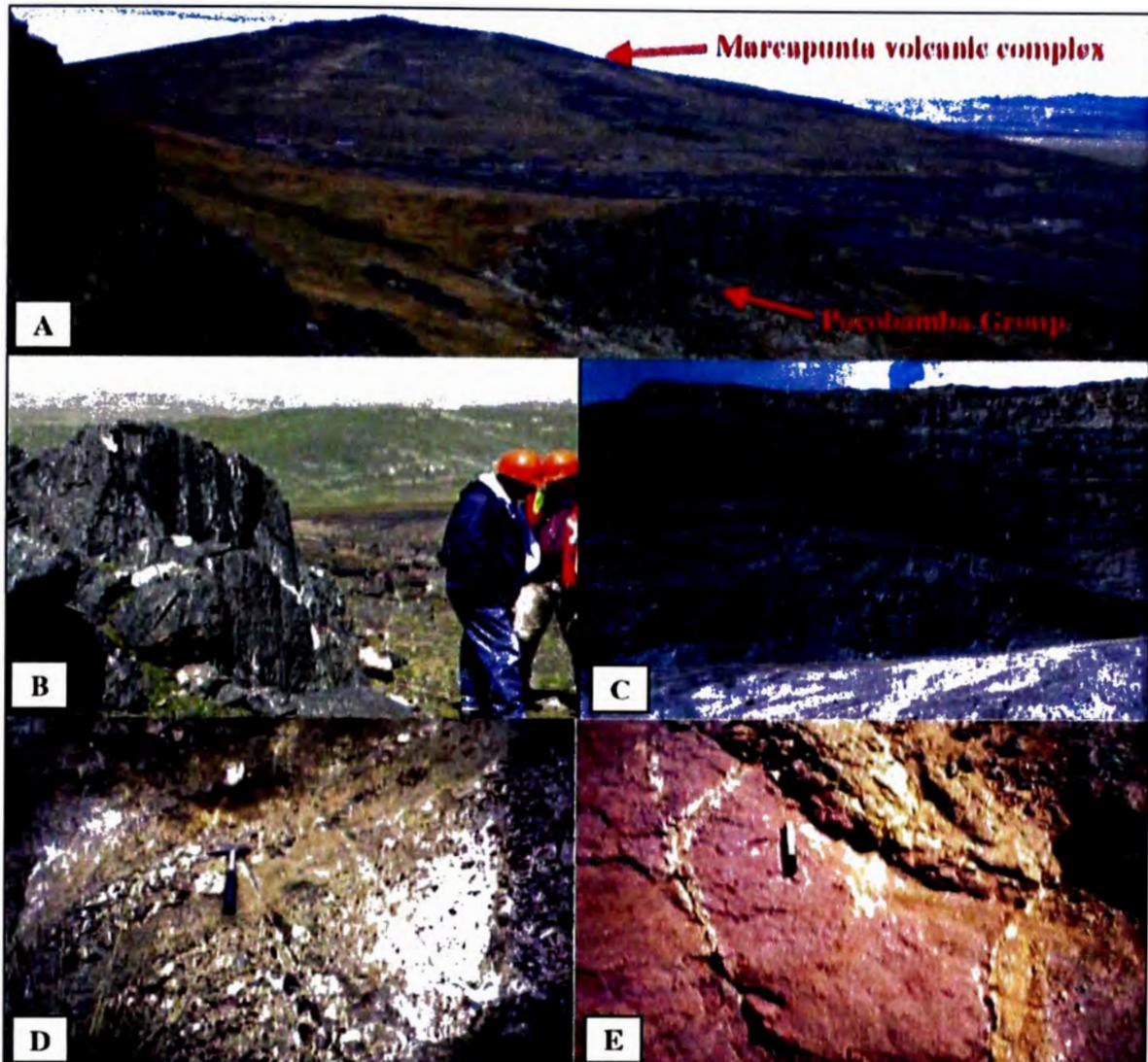


FIGURA 2.3: FOTOGRAFÍAS DE LOS AFLORAMIENTOS ROCOSOS PRINCIPALES DEL DISTRITO DE COLQUIJRCA.

- A. Vista general de la parte norte del distrito buzando hacia el sur. En este sector del complejo volcánico Marcapunta incluye formación Pocobamba.
- B. Erosionado y alterado la cúpula dacítica que muestra el flujo de bandas muy bien conservada.
- C. Intercalaciones de calizas, lutitas, margas y tobas de la Formación Calera Eoceno. Estas intercalaciones se exponen en la dirección del tajo de Colquijirca.
- D. Conglomerado calcáreo del miembro Shuco Cretácico Tardío de la Formación Pocobamba, al Oeste de Colquijirca.
- E. Arenisca Arcósicas de finales del Pérmico-Triásico capas grupo rojo Mitú, al sur de Smelter

En la Figura 2.4 se observa el emplazamiento de la mineralización al norte del distrito de Colquijirca, a lo largo del corredor mineralizado *Smelter-Colquijirca*.

- A. Sección A-A', vista del corredor mineralizado que muestra con los diferentes tipos de mineralización tal como se describe en la leyenda.
- B. Secciones transversales al corredor mineralizado y la sección transversal sección B-B' en el que se observa la mineralización de Marcapunta Norte.

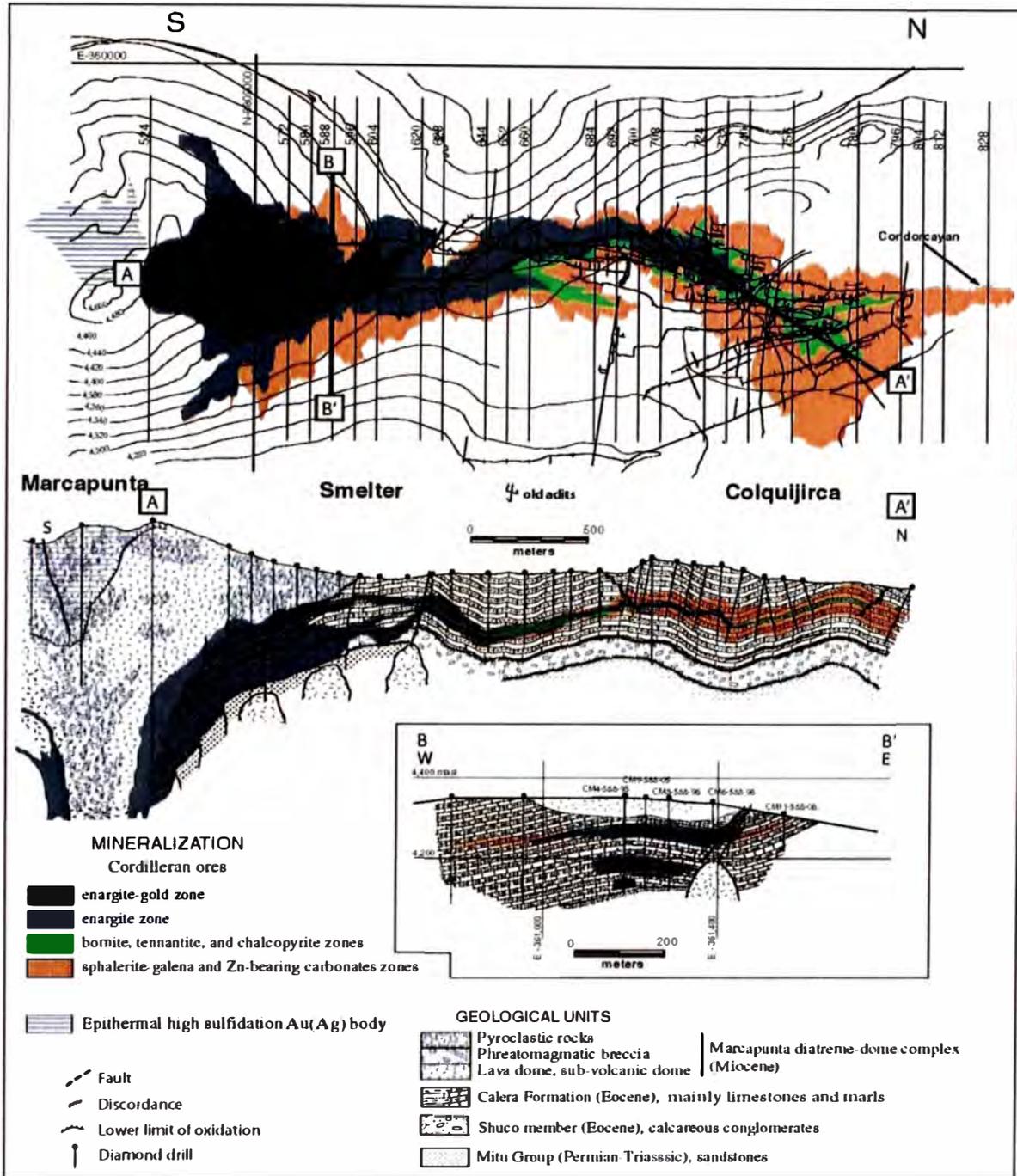


FIGURA 2.4: SECCIONES DE LA MINERALIZACION MARCAPUNTA

Fuente: Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Mineralization in the Colquijirca District, Central Peru: Deposit-Scale Mineralogical Patterns - Ronner Bendezú y Lluís Fontboté
 Notas: La escala vertical es de 15% mayor que la escala horizontal.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación a aplicar es el Método Analítico debido a que se distinguen los elementos o variables y se analizan convenientemente. En esta operación no existen variables independientes una de la otra; el análisis del método de minado realizado a partir de la relación que existe entre cada variable que conforman el yacimiento es tratado como un todo; y a su vez, se estudia la interrelación entre cada variables.

A su vez, es de Método Sintético, debido a que es un proceso mediante el cual se relacionan hechos o disciplinas aparentemente aislados y se formulan conclusiones que unifica los diversos elementos de análisis.

La Metodología Analítico - Sintético, busca realizar el análisis de la información obtenida, para sintetizarla y mostrar los resultados, a fin de determinar e implementar la mejor alternativa de extracción de mineral.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es metodológica y aplicada, tiene una orientación tecnológica, dado que busca generar conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo minero con el fin de mejorar y hacer eficientes los procesos de explotación.

Los valores obtenidos para el análisis de información son de características cuantitativas y objetivas, los cuales son tratado bajo marcos teóricos.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO GEOMECÁNICO

4.1. REFERENCIAS DEL ESTUDIO

El Estudio Geomecánico y análisis del dimensionamiento de las excavaciones fueron realizados tomando como datos de entrada, los parámetros y características del estudio geomecánico, “EVALUACION GEOMECANICA DE LA ZONA DE BRECHAS Y ALTERNATIVAS DE METODOS DE MINADO” elaborado por DCR Ingenieros S.R. Ltda.

Los datos obtenidos en el estudio en mención serán mostrados convenientemente según se requiera.

Así mismo, la intención de dicho estudio es optimizar los recursos y el desempeño del ciclo de minado, para ello se procedió a analizar las aberturas máximas, considerando un ciclo de minado adecuado para mantener la productividad de la empresa, el mismo que se detallara más adelante.

Para el análisis de estabilidad y dimensionamiento geométrico del minado se tuvieron las siguientes consideraciones, el ancho y altura de las excavaciones fueron

realizados mediante el *software Phase2*, y la longitud de la excavación (Tajeo) fue determinado mediante el Método Grafico de Estabilidad (MGE).

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

4.2.1. Registro de Datos

Para la Caracterización del Macizo Rocoso de la Zona en estudio (Zona de Brechas) de Mina Marcapunta Norte se realizó una campaña de mapeo geomecánico con forme se ejecutaba el avance de las excavaciones superiores e inferiores, así mismo dicha información fue correlacionado con la información geotécnica obtenida del mapeo geotécnico de testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados por la consultora antes mencionado.

El Mapeo Geomecánico realizado en las labores, con forme se ejecutaba el avance, fueron realizados mediante el “Método Directo de Celdas de Detalle” con el formato estandarizado por la empresa y cumpliendo las normas establecidas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Con la información obtenida se fue zonificando los planos geomecánicos, los mismos que fueron detallando el tipo de roca en el que se ubicaba el yacimiento (Anexo 1: Plano Geomecánico, fuente: Dpto. Geomecánica JRC Ingeniería y Construcción SAC)

Así mismo en el Mapeo Geotécnico de testigo diamantinos realizados por la consultora DCR Ingenieros estuvieron involucrados 615 m de longitud total de sondajes ejecutados como parte de la exploración del yacimiento, 3,028 m de longitud total de sondajes mapeados en estudios previos, y 1,512

m de longitud total de 13 sondajes geotécnicos con testigos orientados ejecutados como parte del presente estudio. En total se ha tenido disponible 5,155 m de longitud mapeada de testigos rocosos (Anexo 2: Mapeo de testigos diamantinos, fuente: DCR Ingenieros)

4.2.2. Aspectos Litológicos

La brecha mineralizada (Zona de Brechas) se ubica dentro de conglomerados y vulcanoclásticos de la Formación Pocobamba (Miembro Shuco-Secuencia Conglomerádica). En la parte inferior, debajo del vulcanoclástico, se encuentran areniscas, y en la parte superior, encima del vulcanoclástico, se encuentra la caliza silicificada de la Formación Calera, donde se ubican los mantos mineralizados (Zona de Mantos) en actual explotación. Encima de la caliza se encuentran limoarcillitas. Hacia el lado Este se presenta el intrusivo dacítico perteneciente al domo de diatrema. La Zona de Brechas se caracteriza por presentar en general alteración argílica moderada y en algunos tramos intensa, también existen tramos aislados con silicificación. Estas características de alteración crean una masa rocosa de condiciones geomecánicas heterogéneas.

4.2.3. Distribución de Discontinuidades

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades o arreglo estructural del macizo rocoso, se procesaron los datos orientacionales mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el software

DIPS Versión 5.103 de *Rocscience Inc.* (2004).

La data obtenida del mapeo geotécnico de los testigos rocosos orientados de los sondajes ejecutados como parte del presente estudio fue inicialmente procesada agrupándola por la cercanía de ubicación de éstas y posteriormente fueron asociadas por litología. Finalmente en el Cuadro 1 se presenta un resumen de los sistemas de discontinuidades de la Zona de Brechas y su entorno, según litología.

El análisis realizado en base a toda la información que se ha tenido disponible, ha indicado que el arreglo estructural de la masa rocosa asociada a la Zona de Brechas y alrededores tiene las siguientes características:

1. Se tienen 3 sistemas principales de discontinuidades estructurales que están presentes en toda el área de estudio: en orden de predominancia Sistema 1, Sistema 2 y Sistema 3. En cada litología se presenta adicionalmente un sistema secundario particular.

CUADRO 4.1 : SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES

Litología	Descripción	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4
Caliza	Rumbo / Buzamiento	N16°E/20°NW	N19°W/67°NE	N73°W/66°SW	N89°E/78°NW
	Dir. Buzam. / Buzam.	286°/20°	071°/67°	197°/66°	359°/78°
Vulcanoclasto (toba)	Rumbo / Buzamiento	N01°W/14°SW	N32°W/54°NE	N86°W/63°SW	N02°E/80°NW
	Dir. Buzam. / Buzam.	269°/14°	058°/54°	184°/63°	272°/80°
Brecha (conglomerado)	Rumbo / Buzamiento	N25°W/18°SW	N71°W/69°NE	N80°W/73°SW	N20°E/74°SE
	Dir. Buzam. / Buzam.	245°/18°	019°/69°	190°/73°	110°/74°

Fuente: DCR Ingenieros.

- ii. El Sistema 1 es la estratificación sub-horizontal que se presenta tanto en la caliza, como en la brecha y en el vulcanoclasto. Los estratos tienen rumbo aproximadamente NS y bajo buzamiento al W.
- iii. El Sistema 2 está formado por diaclasas, presentes también en la caliza, en la brecha y en el vulcanoclasto. Estas diaclasas tienen rumbo aproximadamente NW y buzamiento moderado a alto hacia el NE.
- iv. El Sistema 3 está formado también por diaclasas y están presentes en los tres tipos de rocas señalados en los párrafos precedentes. Estas diaclasas tienen rumbo NWW y buzamiento moderado a alto hacia el SW.

4.2.4. Aspectos Estructurales

Las características estructurales de las discontinuidades de la Zona de Brechas, se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada del mapeo geomecánico de algunas labores subterráneas, del mapeo geotécnico de los testigos rocosos de los sondajes diamantinos ejecutados para la exploración del yacimiento, y del mapeo geotécnico de los testigos rocosos orientados de los sondajes diamantinos ejecutados como parte del estudio. Según esto, las principales características estructurales generales de las discontinuidades son:

4.2.4.1. Fallas:

Las fallas tienen espaciamientos por lo general mayores a 10 m, la persistencia es de decenas de metros, la apertura es de 1 a 5 mm, las superficies de las caras son ligeramente rugosas a lisas y espejos de falla con ciertas ondulaciones. Estas estructuras están rellenas con materiales de panizo, brechas, materiales oxidados y arcillas, el espesor de estos rellenos varía entre 5 y 10 cm. Las fallas constituyen lugares por donde ocurren las filtraciones de agua. El área de influencia de las fallas no es significativa.

4.2.4.2. Estratos:

Sus características estructurales son: el espaciamiento varía entre 20 a 60 cm como promedio, pero hay espaciamientos tanto menores como mayores y poco frecuentes, la persistencia es alta, mayor de 20 m, la apertura es generalmente menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es predominantemente ligera con ciertas ondulaciones, el relleno es por lo general suave a medianamente duro por la presencia de arcillas y carbonatos, los espesores de estos son menores de 5 mm. Las paredes de los estratos por lo general están sanas a ligeramente alteradas, con presencia de humedad mayormente.

4.2.4.3. Diaclasas:

Las características estructurales de las discontinuidades observadas indican lo siguiente: los espaciamientos varían de 20 a 60 cm y de 6 a 20 cm, la persistencia de 3 a 10 m, la apertura es menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es ligeramente rugosa con ciertas ondulaciones, el relleno es suave a medianamente duro por la presencia de arcillas y carbonatos, los espesores de estos son menores a 2 mm. Las superficies de las diaclasas por lo general están sanas a ligeramente alteradas, con presencia de humedad mayormente y superficies mojadas localmente debido a las filtraciones de agua.

4.2.5. Clasificación del Macizo Rocosos:

Para la clasificación del macizo rocoso, se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de *Bieniawski* (RMR – *Rock Mass Rating* o Valoración del Macizo Rocosos –1989). Los valores de resistencia compresiva de la Roca Intacta, fueron obtenidos con ensayos de laboratorio el cual se presentara en el Anexo 3. Los valores del Índice de Calidad de la Roca (RQD), por un lado, fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal, por otro lado, se utilizó la data de RQD registrada en el mapeo geotécnico de los testigos rocosos de los sondajes diamantinos.

El criterio de Bieniawski (1989) modificado para esta evaluación a fin de clasificar a la masa rocosa, se presenta en el siguiente cuadro:

CUADRO 4.2: CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR
II	> 60	> 5.92	Buena
III-A	51 – 60	2.18 – 5.92	Regular A
III-B	41 – 50	0.72 – 1.95	Regular B
IV-A	31 – 40	0.24 – 0.64	Mala A
IV-B	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B
V	< 21	<0.08	Muy Mala

Fuente: Dpto. de Geomecánica JRC

4.3. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que el Macizo Rocosos bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro del Macizo Rocosos que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es importante realizar la zonificación geomecánica o lo que es lo mismo establecer los dominios estructurales (Anexo 1).

Para realizar una Zonificación Geomecánica completa se debe tomar en cuenta los aspectos litológicos, geoestructurales, el grado de alteración y la calidad de la masa rocosa. Para el caso de la Zona de Brechas, las características litológicas están bien definidas, el arreglo estructural también es similar en los tipos de rocas predominantes.

La zonificación Geomecánica se ha realizado utilizando principalmente la información de los mapeo geomecánicos de las labores superiores e inferiores realizadas en la zona de Estudio Geotécnico.

En el Cuadro 4.3 se aprecia los valores promedio de calidad de la masa rocosa en el área mineralizada, así como de su entorno. Según esto, se tiene las siguientes características de Zonificación Geomecánica:

- i. La calidad del Macizo Rocoso de la zona en estudio se presenta de manera variable, relacionado directamente al grado de alteración a la que ha sido sometida, puede observarse que en cortas distancias, la calidad del macizo rocoso varía de manera significativa.
- ii. El Macizo Rocoso de la zona mineralizada presenta calidades Mala B (DE-IVB), Mala A (DE-IVA), Regular B (DE-IIIB) y Regular A (DE-IIIA).

CUADRO 4.3 : CALIDAD Y ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Sección	Litología	Promedio RMR	Calidad RMR	Dominio Estructural
Sec-610 Sec-612	Limoarcillita	26	Mala B	DE-IVB
	Caliza	45	Regular B	DE-IIIB
	Vulcanoclasto	53	Regular A	DE-IIIA
	Vulcanoclasto	31	Mala A	DE-IVA
	Brecha (conglom.)	53	Regular A	DE-IIIA
	Brecha (conglom.)	42	Regular B	DE-IIIB
	Vulcanoclasto	35	Mala A	DE-IVA
	Arenisca	42	Regular B	DE-IIIB
	Dacita	50	Regular B	DE-IIIB
Sec-614	Limoarcillita	26	Mala B	DE-IVB
	Caliza	52	Regular A	DE-IIIA
	Caliza	42	Regular B	DE-IIIB
	Vulcanoclasto	42	Regular B	DE-IIIB
	Brecha (conglom.)	52	Regular A	DE-IIIA
	Brecha (conglom.)	35	Mala A	DE-IVA
	Vulcanoclasto	35	Mala A	DE-IVA
	Vulcanoclasto	45	Regular B	DE-IIIB
	Arenisca	45	Regular B	DE-IIIB
	Dacita	50	Regular B	DE-IIIB
Sec-618 Sec-620	Limoarcillita	26	Mala B	DE-IVB
	Caliza	52	Regular A	DE-IIIA
	Vulcanoclasto	53	Regular A	DE-IIIA
	Vulcanoclasto	47	Regular B	DE-IIIB
	Brecha (conglom.)	47	Regular B	DE-IIIB
	Brecha (conglom.)	27	Mala B	DE-IVB
	Vulcanoclasto	35	Mala A	DE-IVA
	Arenisca	35	Mala A	DE-IVA
	Dacita	50	Regular B	DE-IIIB
Sec-622 Sec-626	Limoarcillita	26	Mala B	DE-IVB
	Caliza	55	Regular A	DE-IIIA
	Caliza	45	Regular B	DE-IIIB
	Vulcanoclasto	45	Regular B	DE-IIIB
	Vulcanoclasto	53	Regular B	DE-IIIB
	Brecha (conglom.)	53	Regular A	DE-IIIA
	Brecha (conglom.)	35	Mala A	DE-IVA
	Vulcanoclasto	35	Mala A	DE-IVA
	Arenisca	45	Mala A	DE-IVA
	Dacita	50	Regular B	DE-IIIB

Fuente: DCR Ingenieros

- iii. Hacia el extremo Sur (Sec-610, Sec-612 y Sec-614) el mineral que se halla mayormente en vulcanoclasto presenta calidad Mala A (DE-IVA) a calidad Regular B (DE-IIIB) en los Nvs. 4203 y 4182 y calidad Regular A (DE-IIIA) en el Nv. 4162.
- iv. En la parte Central (Sec-618, Sec-620 y Sec-622) la calidad del Macizo Rocosó mineralizada varía de Regular B (DE-IIIB) a calidad Regular A (DE-IIIA) en el Nv. 4203 y Nv. 4182 y calidad Mala B (DE-IVB) a Mala A (DE-IVA) en el Nv. 4162.
- v. Hacia el extremo Norte (Sec-624 y Sec-626) la calidad del mineral en el Nv. 4203, Nv. 4182 y Nv. 4162 está variando de Regular B (DE-IIIB) a Regular A (DE-IIIA).
- vi. La calidad del Macizo Rocosó que se halla encima de la Zona de Brechas presenta calidad que varía de Regular B (DE-IIIB) a Regular A (DE-IIIA) para el caso de las calizas y Mala B (DE-IVB) en el caso de las limoarcilitas.
- vii. Debajo de la zona brechas, la calidad del Macizo Rocosó varía de Mala A (IVA) a calidad Regular B (DE-IIIB), ocurriendo este hecho para el caso del vulcanoclasto y las areniscas.

Los resultados señalados para la zonificación de la Zona de Brechas, también se presenta gráficamente en las secciones geológicas geomecánicas (Láminas adjuntas del 01 al 09). Así mismo se presenta la zonificación de las galerías superior e inferior del Block en estudio (Anexo I)

4.4. RESISTENCIA DE LA ROCA

4.4.1. Características Mecánicas De La Roca Intacta:

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta (σ_c). Durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, se ejecutaron ensayos de golpe con el martillo de geólogo, siguiendo las normas sugeridas por la ISRM, a fin de estimar la resistencia compresiva de la roca intacta.

A fin de verificar los resultados de los ensayos de campo, se llevaron a cabo en Laboratorio de Mecánica de Rocas Ensayos de Carga Puntual y Ensayos de Compresión Triaxial sobre muestras rocosas obtenidas de testigos de los sondajes diamantinos para las diferentes litologías presentes en el área de estudio. A través de estos ensayos realizados se obtuvieron valores de resistencia a la compresión, el parámetro constante de roca intacta (m_i), Cohesión (c), Angulo de fricción interna (ϕ), Resistencia a la tracción (T) y las propiedades físicas de la roca intacta. Los resultados de los ensayos realizados son presentados en el Anexo 3 (Resultados Ensayos LMR) y en los siguientes cuadros un resumen de los mismos.

CUADRO 4.4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Sondaje	Profundidad	Litología	σ_c (MPa)
TG03-11	110.26 – 110.56	Vulcanoclasto	21.31
TG03-4-11	19.62 – 20.00	Caliza	72.50
TG03-4-11	105.15 – 105.60	Brecha	85.01

Fuente: Resumen obtenido del Informe 192/11/LMR/UNI

CUADRO 4.5: ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Sondaje	Profundidad	Litología	"m _i "	σ_c (MPa)	Cohesión (MPa)	Angulo de fricción (°)
TG01-11	26.55 – 32.85	Vulcanoclasto	10.52	44.7	2.26	30.94
TG03-11	101.00 – 122.77	Vulcanoclasto	8.20	37.0	1.74	28.84
TG03-4-11	15.40 – 20.34	Caliza	16.46	76.7	4.78	36.31
TG03-4-11	95.00 – 101.33	Brecha	21.68	62.2	4.19	38.71

Fuente: Resumen obtenido del Informe N°192/11/LMR/UNI

Otro parámetro importante del comportamiento mecánico de la roca intacta, es la constante "m_i" de la roca intacta del criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2007). Este parámetro fue determinado a través de los ensayos de compresión triaxial.

CUADRO 4.6: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Sondaje	Profundidad	Litología	σ_t (MPa)
TG01-11	28.20 – 28.49	Vulcanoclasto	7.07
TG03-11	101.00 – 101.29	Vulcanoclasto	3.65
TG03-4-11	18.40 – 18.68	Caliza	7.38
TG03-4-11	96.84 – 97.20	Brecha	2.44
TG06-11	91.27 – 91.58	Limoarcilita	4.22

Fuente: Resumen obtenido del Informe N°192/11/LMR/UNI

CUADRO 4.7: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA INTACTA

Sondaje	Profundidad (m)	Litología	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Densidad seca (g/cm ³)
TG01-11	28.20 – 28.49	Vulcanoclasto	4.17	1.97	2.12
TG03-11	122.00 – 122.37	Vulcanoclasto	3.69	1.57	2.35
TG03-4-11	18.40 – 18.68	Caliza	1.67	0.64	2.62
TG03-4-11	101.00 – 101.33	Brecha	5.32	2.21	2.41
TG06-11	91.27 – 91.50	Limoarcilita	1.95	0.78	2.50

Fuente: Resumen obtenido del Informe N°192/11/LMR/UNI

CUADRO N° 4.8: COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sondaje	Profundidad (m)	Litología	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (MPa)
TG01-11	28.71 – 28.88	Vulcanoclasto	27.80	0.125
TG03-11	112.33 – 112.43	Vulcanoclasto	28.62	0.116
TG03-4-11	18.40 – 18.68	Caliza	26.47	0.112
TG03-4-11	96.84 – 97.20	Brecha	28.99	0.131
TG06-11	89.40 – 89.76	Limoarcilita	28.23	0.124

(Determinados por ensayos de corte directo)

Fuente: Resumen obtenido del Informe N°192/11/LMR/UNI

4.4.2. Resistencia del Macizo Rocos:

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown (2002, 2007), mediante el programa ROCLAB de Rocscience Inc. (2007). Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad del macizo rocoso como resultado de la zonificación geomecánica realizada, asimismo de la resistencia compresiva uniaxial y de la constante “mi” ambas de la roca intacta, desarrollados en este estudio. El valor de GSI (Índice de Resistencia Geológica) fue estimado a partir de los valores de RMR según el criterio de Hoek et.al. (1995). En el Cuadro 9 se presentan los parámetros de resistencia del macizo rocoso, para ser utilizados en los cálculos de diseño.

4.4.3. Condiciones del Agua Subterránea:

El efecto principal de la presencia del agua dentro del Macizo Rocos es la presión que ejerce en las discontinuidades estructurales, disminuyendo la

resistencia al corte y favoreciendo la inestabilidad, por lo que es importante evaluar las características de presencia del agua.

Las condiciones de existencia de agua subterránea dentro de la zona de estudio fue variando de goteo a humedad, y viceversa, a medida que se realizaban labores en el nivel inferior evidenciando de esta manera que se trataba de aguas del nivel freático los mismos que son drenados de forma continua, contribuyendo con la estabilidad de las labores mineras en zonas de calidad mala. Es necesario tomar en cuenta este hecho para la selección del método de minado y para el sostenimiento.

CUADRO 4.9: PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA

itología	GSI	σ_c (MPa)	γ (g/cm ³)	Mi	mr	Sr	σ_{mr} (MPa)	E_{mr} (MPa)	'v'
Sec-610 Sec-612									
Limoardllita	26	15	2.4	5	0.184	0.0001	0.72	182	0.29
Caliza	45	60	2.6	11	0.944	0.0009	7.59	5177	0.26
Vulcanoclasto	53	40	2.4	8	0.981	0.0024	5.36	2493	0.25
Vulcanoclasto	31	20	2.4	8	0.36S	0.0001	1.45	311	0.28
Brecha (conglom.)	53	50	2.5	20	2,454	0.0024	10.41	3117	0.25
Brecha (conglom.)	42	40	2.5	20	1,501	0.0006	6.31	1213	0.27
Vulcanoclasto	35	20	2.4	8	0.439	0.0002	2.05	390	0.2S
Arenisca	42	30	2.5	15	1,126	0.0006	4.1	758	0.27
Dacita	50	40	2.5	10	1,073	0.0016	5.51	2400	0.26
Sec-614									
Limoardllita	26	15	2.4	5	0.184	0.0001	0.72	182	0.29
Caliza	52	SO	2.6	11	1,291	0.0021	12.14	10922	0.25
Caliza	42	60	2.6	11	0.826	0.0006	7.01	4247	0.26
Vulcanoclasto	42	30	2.4	8	0.601	0.0006	2.99	910	0.27
Brecha (conglom.)	53	50	2.5	20	2,454	0.0024	10.41	3117	0.25
Brecha (conglom.)	35	20	2.5	20	1,099	0.0002	2.62	390	0.28
Vulcanoclasto	35	20	2.4	8	0.439	0.0002	2.05	390	0.28
Vulcanoclasto	45	30	2.4	8	0.687	0.0009	3.25	1109	0.26
Arenisca	42	30	2.5	15	1,126	0.0006	4.1	758	0.27
Dacita	50	40	2.5	10	1,073	0.0016	5.51	2400	0.26
Sec-618 y Sec-620									
Limoarcillita	26	15	2.4	5	0.184	0.0001	0.72	182	0.29
Caliza	52	80	2.6	11	1,291	0.0021	12.14	10922	0.25
Vulcanoclasto	53	40	2.4	8	0.981	0.0024	5.36	2493	0.25
Vulcanoclasto	47	30	2.4	8	0.751	0.0011	3.42	1267	0.27
Brecha (conglom.)	47	40	2.5	20	1,877	0.0011	7.17	1689	0.27
Brecha (conglom.)	27	15	2.5	20	0.769	0.0001	1.54	191	0.29
Vulcanoclasto	35	20	2.4	8	0.439	0.0002	2.05	390	0.28
Arenisca	35	20	2.5	15	0.824	0.0002	2.26	325	0.28
Dacita	50	40	2.5	10	1,073	0.0016	5.51	2400	0.26
Sec-622 y Sec-626									
Limoarcillita	26	15	2.4	5	0.184	0.0001	0.72	182	0.29
Caliza	55	80	2.6	11	1,475	0.0031	13.13	13169	0.25
Caliza	45	60	2.6	11	0.944	0.0009	7.59	5177	0.26
Vulcanoclasto	45	30	2.4	8	0.687	0.0009	3.25	1109	0.26
Vulcanoclasto	53	40	2.4	8	0.981	0.0024	5.36	2493	0.25
Brecha (conglom.)	53	50	2.5	20	2,454	0.0024	10.41	3117	0.25
Brecha (conglom.)	35	20	2.5	20	1,099	0.0002	2.62	390	0.28
Vulcanoclasto	35	20	2.4	8	0.439	0.0002	2.05	390	0.28
Arenisca	42	30	2.5	15	1,126	0.0006	4.1	758	0.27
Dacita	50	40	2.5	10	1,073	0.0016	5.51	2400	0.26

Fuente: DCR Ingenieros

4.4.4. Esfuerzos In-Situ:

El tope del área en estudio está a una profundidad promedio de 110 m y la base a 170 m, la zona de la presente evaluación está relativamente a poca profundidad respecto a la superficie del terreno, por lo que se esperaría que los esfuerzos sean de magnitud baja a moderada. Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática (*Hoek & Brown*, 1978), considerando las profundidades señaladas; según este criterio el esfuerzo vertical in-situ variará desde 2.8 MPa hasta 4.4 MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal, fue estimada utilizando el criterio de *Sheorey* (1994), según esto k sería del orden de 1.0, con lo cual, el esfuerzo in-situ horizontal sería similar al vertical.

CAPITULO V

DISEÑO GEOMECANICO

5.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO:

El procedimiento de diseño del Método de Explotación del Block 9775 fue enfocado a determinar la geometría de los tajeos; ancho, altura y longitud; asegurando la estabilidad de las excavaciones. Así mismo se proyectó las dimensiones de las excavaciones de preparación (Galerías inferiores y superiores) fue enfocados a minimizar el daño por voladura de los pilares corridos, en el proceso de minado por SLS, finalmente se procedió a determinar el ciclo de minado a fin de mantener la estabilidad integral de la zona de trabajo.

Debido a la experiencia del minado con *Sub Level Stopping* en las zonas superiores y aledaños, se considera que la perforación de los taladros de producción tendría que ser paralelos, para conservar las dimensiones de los pilares de acuerdo a diseño, debido a que en la perforación de forma radial se evidencio daño a los pilares.

El diseño de la geometría de los tajos inicio determinando la sección final de la excavación, luego de la explotación con *Sub Level Stopping* (Ancho y altura final de la

excavación) y la dimensión de los pilares corridos, manteniendo la estabilidad de la zona, para ello se utilizó el criterio de análisis numérico con el *Software Phases2* del paquete de *RocScience*.

Determinando la altura final de la excavación se procedió a dimensionar la longitud del tajeo mediante el criterio del Método Grafico de Estabilidad (MGE).

5.1.1. Diseño del Ancho, Altura y pilar

El diseño del ancho, altura y pilar se desarrolló mediante el análisis numérico utilizando el *Software Phases2* de la galería *RocScience*. Mediante el Modelamiento Numérico de Elementos Finitos Plásticos en dos dimensiones.

Se procede a simular de manera progresiva el comportamiento de los pilares y la distribución de los esfuerzos dentro de ellos, de acuerdo a las dimensiones y ciclo de minado.

El *software Phase2* consta de 3 módulos: *Model*, *Compute* e *Interpret*.

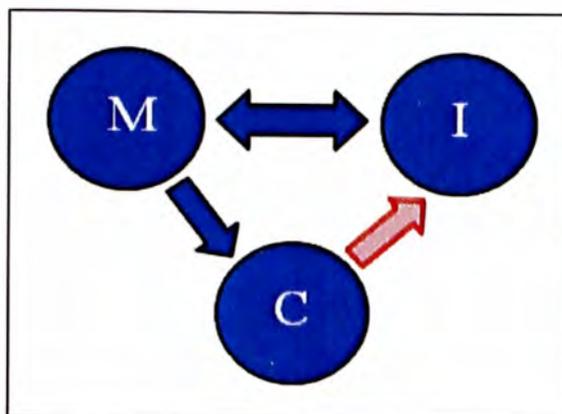


GRAFICO 5.1 : FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE PHASES

Fuente: elaboración propia

Para iniciar con el análisis usamos el módulo *Model* debido a que es un pre procesador usado para introducir y editar: los límites del modelo, el soporte, los esfuerzos in situ, condiciones de demarcación, propiedades del material, y la creación de la malla de elementos finitos.

CUADRO 5.1: DATOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO

Material	Color	Unit weight (MN/m ³)	Young's	Poisson's	Failure criterion	Compressive strength (Mpa)	mb	sb
Limoarcillita	Green	0.024	182	0.29	Hock-Brown	15	0.184	0.001
Caliza	Light Blue	0.026	5,177	0.26	Hock-Brown	40	0.944	0.0009
Conglomerado	Dark Blue	0.025	3,117	0.25	Hock-Brown	50	2.454	0.0024
Depos. Vulcanoclasto	Yellow	0.024	2,493	0.25	Hock-Brown	40	0.981	0.0024
Arenisca	Black	0.025	758	0.27	Hock-Brown	30	1.126	0.006

Fuente: Dpto. Geomecánica JRC.

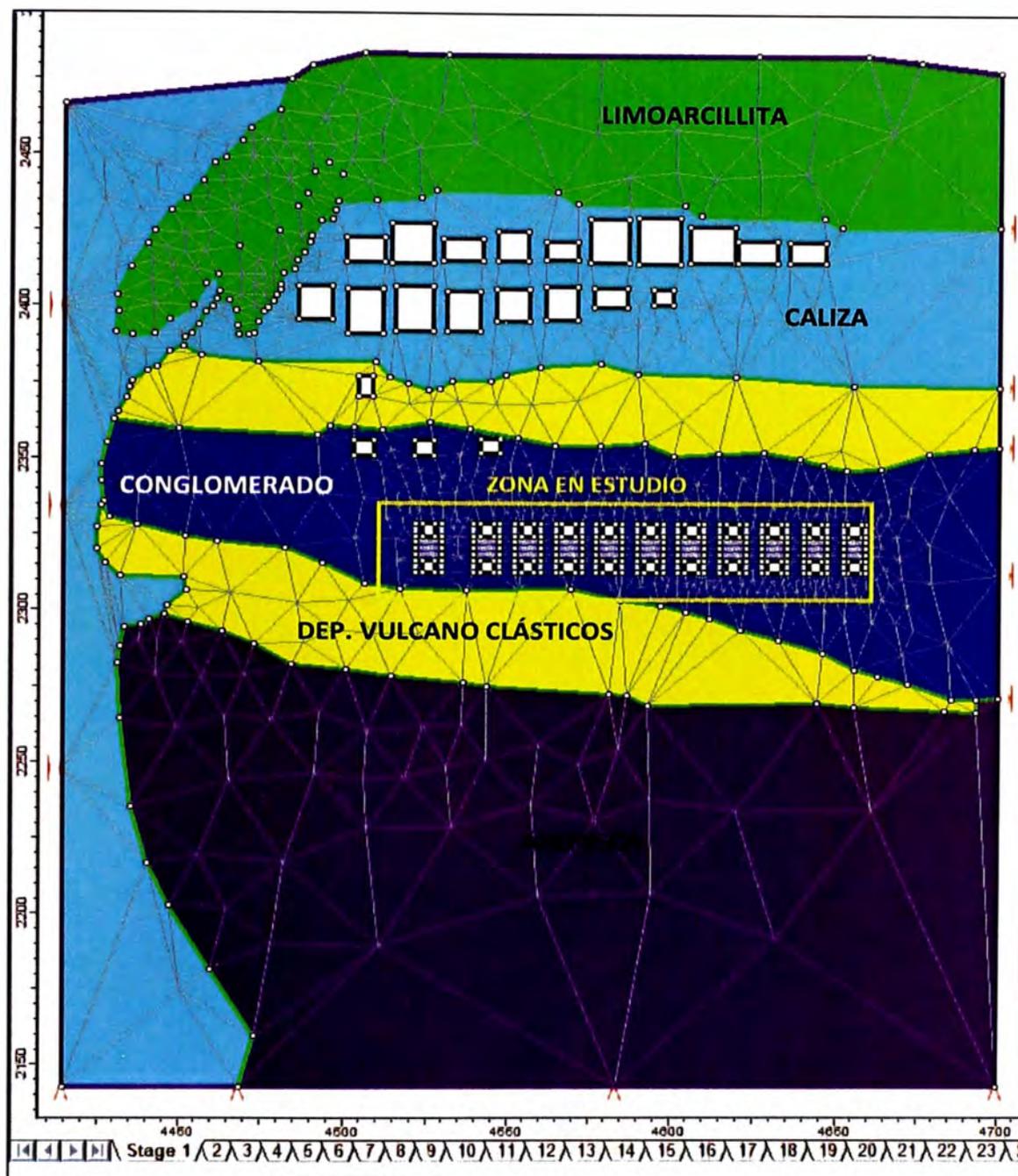
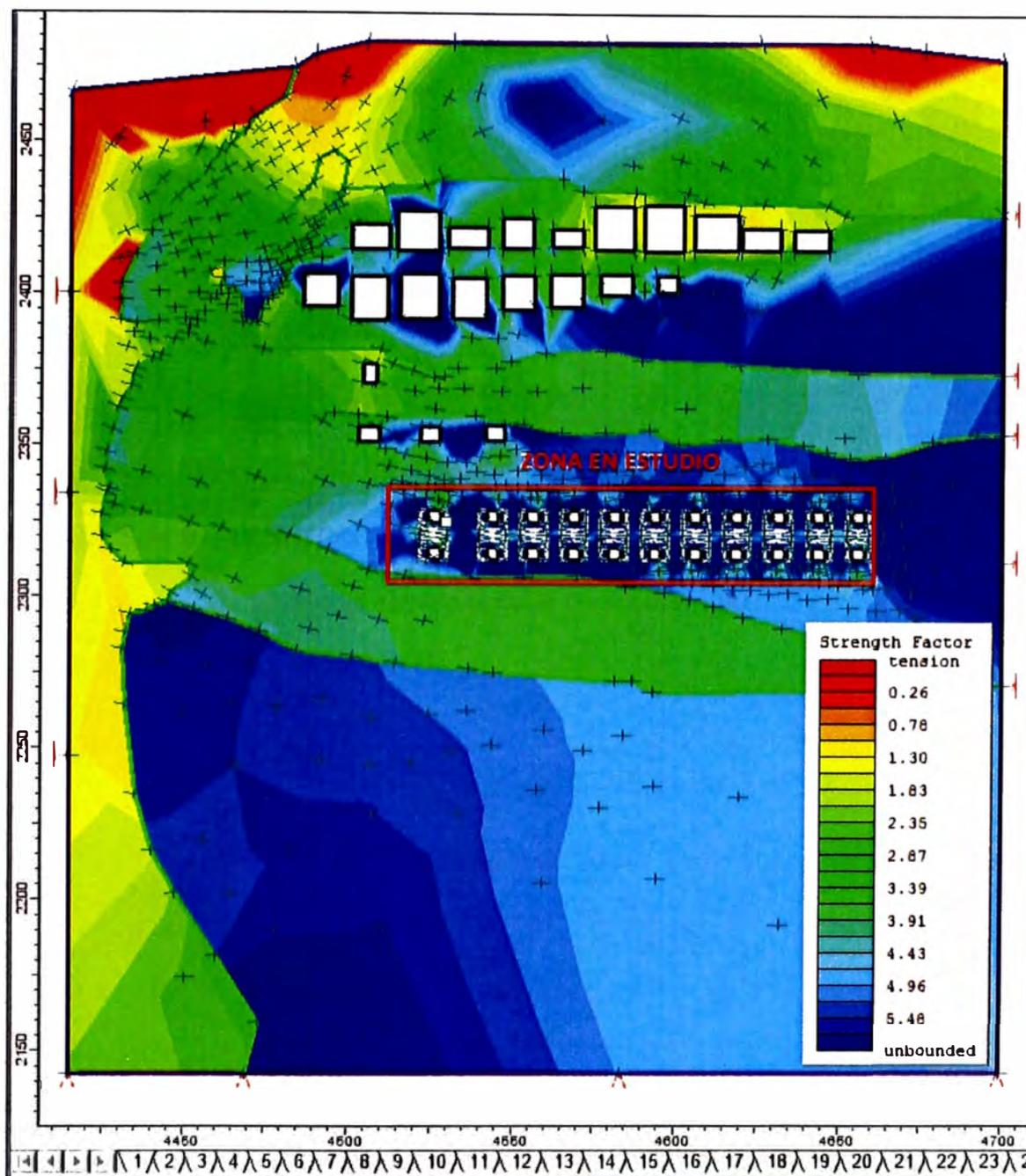


FIGURA 5.1: MODEL BLOCK 9775 – ZONA DE BRECHAS

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC

El Modulo *Interpret*, permite realizar diversos análisis tales como esfuerzos inducidos, deformación, factor de seguridad, desplazamiento, zonas de influencia, etc.



**FIGURA 5.2: INTERPRET BLOCK 9775
ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD**

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC

A continuación presento los análisis realizados con el Modulo *Interpret* en la zona en estudio.

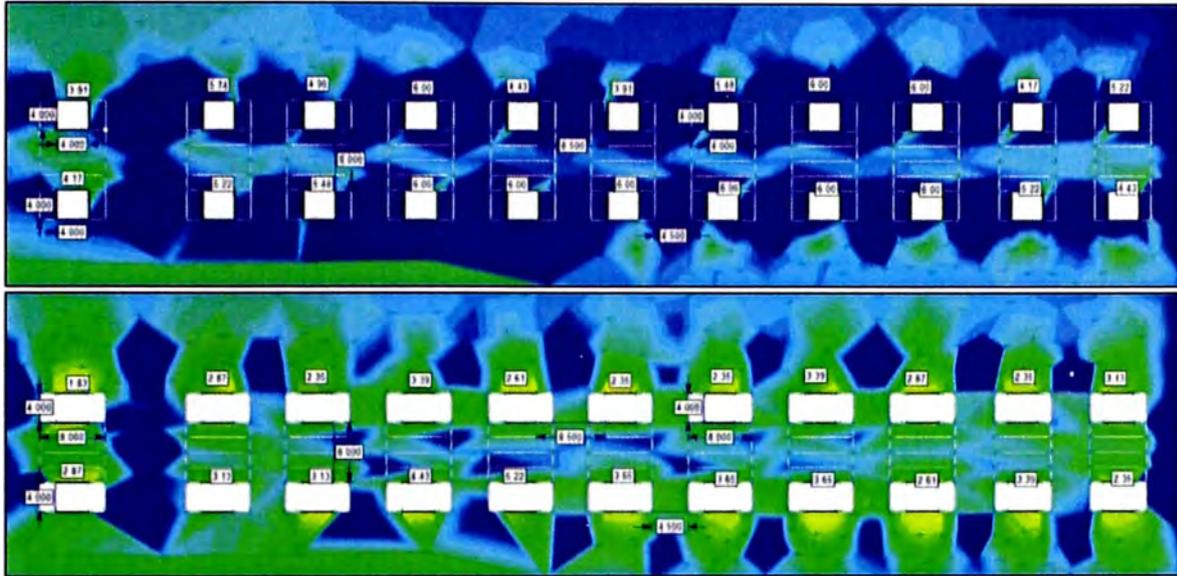


FIGURA 5.3: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO PARA EXPLOTACIÓN DEL BLOCK 975 CON SLS

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC

En la figura 09, se presenta el modelamiento de las secciones 4.0 m x 4.0 m y 8.0 m x 4.0 m, observando que se mantiene factores de seguridad mayores a 2.

La sección de 8.0 m x 4.0 m tiene como objetivo proponer perforaciones verticales paralelos para reducir el daño a los pilares corrido.

En la figura 11, observamos el comportamiento de los pilares a medida que se inicia el minado de manera secuencial tal como se lleva a cabo actualmente.

En la figura 12, observamos la secuencia de minado propuesto, con la finalidad de mantener la estabilidad del núcleo del pilar (pilar de minado en la primera etapa: 15 m).

En la figura 13, observamos la secuencia de minado propuesto, con la finalidad de mantener la estabilidad del núcleo del pilar (pilar de minado en la segunda etapa: 15 m.), considerando que esta segunda etapa se realizara la explotación en retirada, evitando la exposición del personal y equipos.

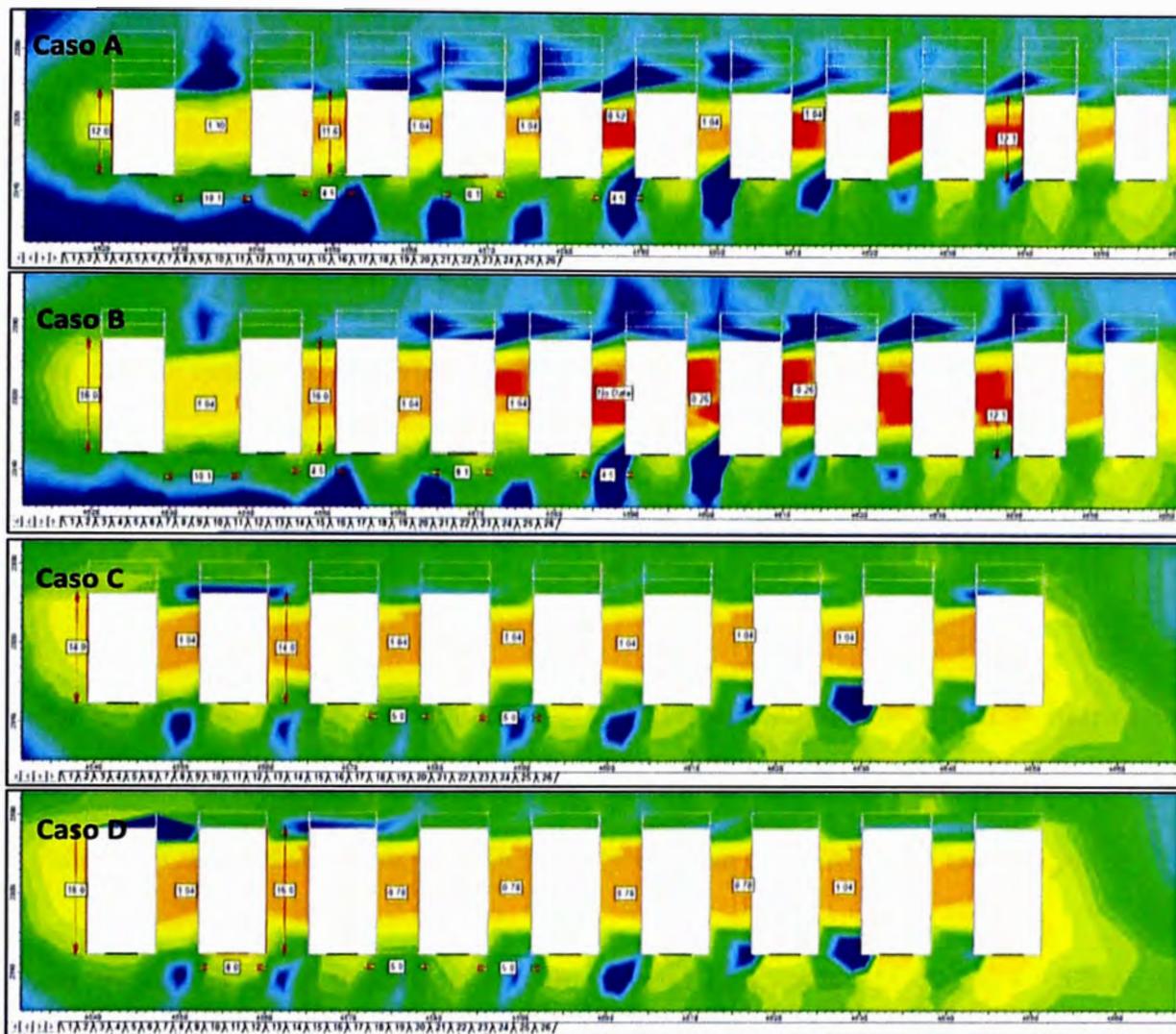


FIGURA 5.4: DIMENSIONAMIENTO FINAL DE LOS TAJEOS (ANCHO Y ALTURA)

Fuente: Área Geomecánica JRC

Caso A: Se realizó el modelamiento de galerías con ancho de 8.0 m y 12.0 m de altura de banco con pilares corridos de 4.5 m, se observa factor de seguridad de 0.26 a 1.04 las condiciones de estabilidad de los pilares no son satisfactorios, no recomendable.

Caso B: Se realizó el modelamiento de galerías con ancho de 8.0 m y 16.0 m de altura de banco con pilar corrido de 4.5 m, se observa factor de seguridad de 0.26 a 1.04 las condiciones de estabilidad de los pilares no son satisfactorios, no recomendable.

Caso C: Se realizó el modelamiento de galerías con ancho de 8.0 m y 14.0 m de altura de banco con pilar corrido de 5.0 m obteniendo factor de seguridad de 1.04 las condiciones de estabilidad de los pilares se presentan al límite de la estabilidad.

Caso D: Se realizó el modelamiento de galerías con ancho de 8.0 m y 16.0 m de altura de banco con pilar corrido de 5.0 m obteniendo factor de seguridad de 1.04 las condiciones de estabilidad de los pilares se presentan al límite de la estabilidad.

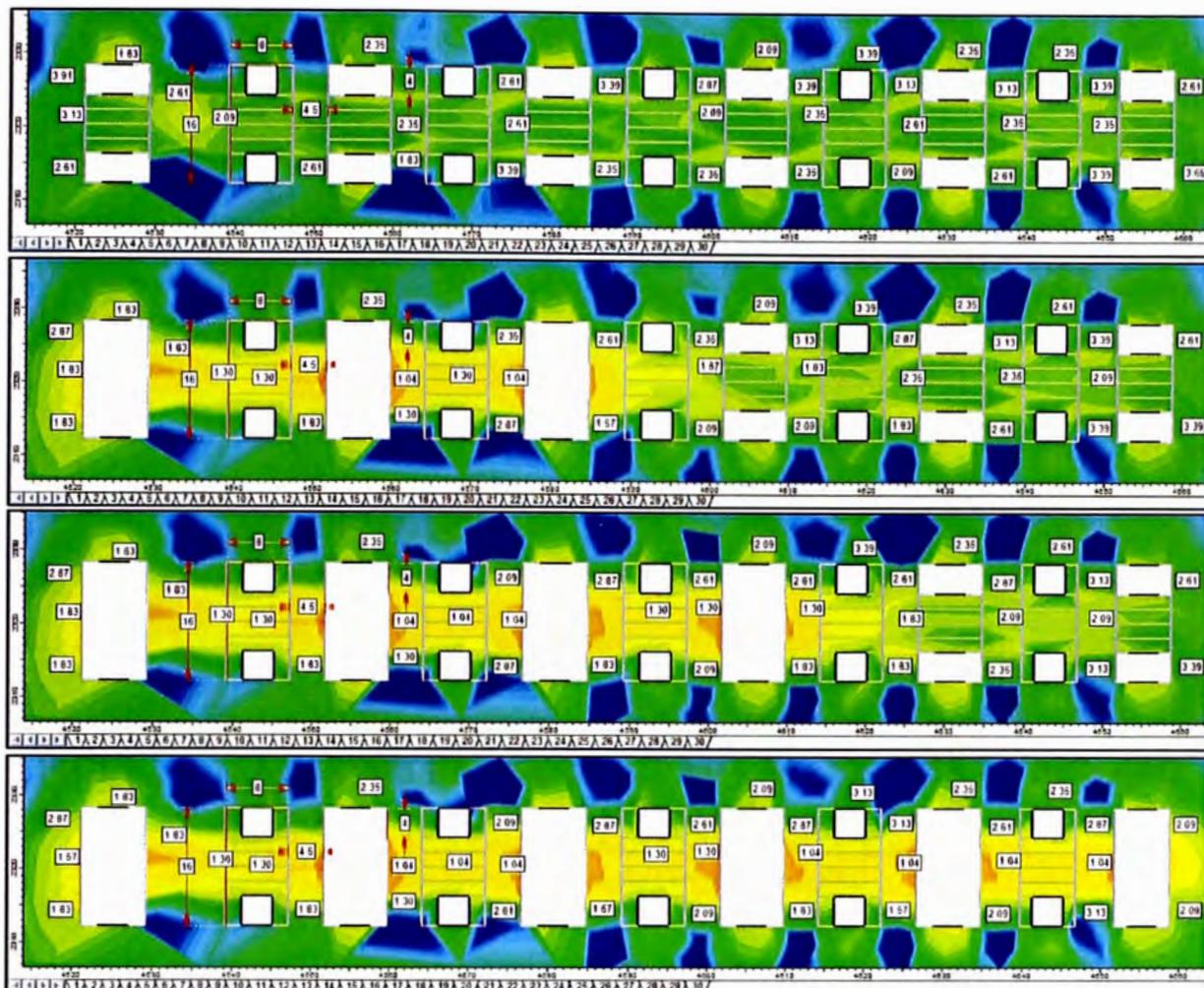


FIGURA 5.6: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD-SECUENCIA DE MINADO PROPUESTO (MINADO INTERCALADO-PRIMERA ETAPA)

Fuente: Departamento de Geomecánica JRC

5.1.2. Método Grafico de Estabilidad (MGE):

El método Grafico de Estabilidad fue desarrollado por *Potvin* (1,988), *Potvin y Milne* (1992) y *Nickson* (1992), siendo los trabajos iniciados por *Mathews et. Al.* (1980).

Este método empírico ha sido desarrollado en base a la experiencia de varias minas subterráneas canadienses (más de 350 casos históricos recolectados). El procedimiento de diseño en este método está basada en el cálculo de dos factores, N' que es un numero de estabilidad modificado la cual representa la resistencia del macizo rocoso y S que es el radio hidráulico, que calcula la dimensión y la forma de la labor.

El primer Grafico de Estabilidad empírico fue presentado por el Dr. *Ke Mathews* en 1980. Este sistema de estabilidad está basado en la experiencia práctica en minería combinado con observaciones y principios básicos del comportamiento mecánico de las rocas.

Mathews baso su gráfico de estabilidad en el índice de calidad de la roca Q del Instituto Noruego con una secundaria modificación añadida en un factor geométrico. El índice de calidad de la roca Q , fue ideado con el principio de que la estabilidad de la roca se analiza en tres factores principales:

El tamaño de bloques	RQD/J_n
La condición de las juntas	J_r/J_a
Factores externos que afectan la estabilidad	J_w/SRF

Este método empírico inicial fue modificado por *Yves Potvinen* 1988.

Definición de términos:

N' Numero de Estabilidad Modificado = $Q' \times A \times B \times C$

S Radio hidráulico.

$S = \text{Área de Sección Transversal de superficie/perímetro}$

Q índice de Calidad de la Roca RQD/JnxJr/JaxJw/SRF

Q' Modificado RQD/JnxJr/JaxJw

A Factor de Esfuerzo = Esfuerzo Compresivo Uniaxial/Esfuerzo Compresivo Inducido

B Factor de Orientación de Juntas = Angulo de la junta menos estable hacia la superficie siendo evaluada.

C Factor de Deslizamiento o Gravedad Efecto de la Gravedad sobre la estabilidad, basada en la inclinación de la superficie por gravedad.

Algo muy importante de recordar es que cada punto ploteado en el gráfico está referido solamente a una cara del tajeo o superficie y los cálculos deben ser realizados por todas las caras. En algunos casos las paredes límites pueden ser tratadas como pares, como Caja Techo y Caja Piso bajo circunstancias especiales.

A. Calculo de Radio Hidráulico (S)

Está basado en la relación entre el área y el perímetro de la cara siendo estudiada. A un bajo número para S se le puede oponer un débil factor de estabilidad de roca y aun así permanecer en la zona de estabilidad.

Obviamente, mientras más pequeña sea la abertura creada, más estable será esta. La configuración menos estable para un tajeo es un cuadrado.

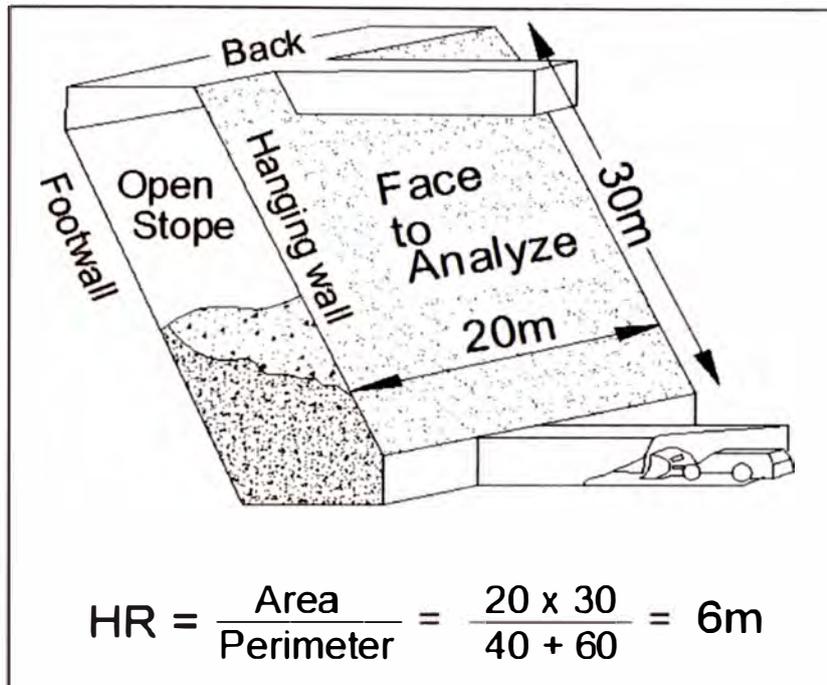


FIGURA 5.8: ESQUEMA DE CÁLCULO DEL RADIO HIDRÁULICO

Fuente: interpretación propia

B. Cálculo del Numero de Estabilidad Modificado N'

El índice de calidad de tunelero modificado Q' es calculado de los resultados del mapeo estructural del macizo rocoso, exactamente el mismo que fue desarrollado por el Instituto Geotécnico Noruego (NGI) (Q de *Barton* exceptuando el factor de reducción de los esfuerzos (SRF), además puesto que este método no se había aplicado en condiciones con significativas aguas subterráneas conlleva entonces a que el factor de reducción por aguas en las fracturas (jw) sea comúnmente 1.00.

Este número es más complicado y requiere un conocimiento básico del macizo rocoso y una base de datos de las caracterizaciones geomecánicas para proporcionar los valores necesarios para calcular: Q' , A, B y C. La información requerida es RQD, J_n (Nº de Juntas), J_r (Rugosidad juntas), J_a (Alteración de juntas), J_w (condiciones de agua, que es generalmente ignorado en minas secas), esfuerzo compresivo uniaxial, esfuerzos in situ, esfuerzos inducidos en el piso o en el techo y el rumbo y buzamiento de las juntas y otras estructuras.

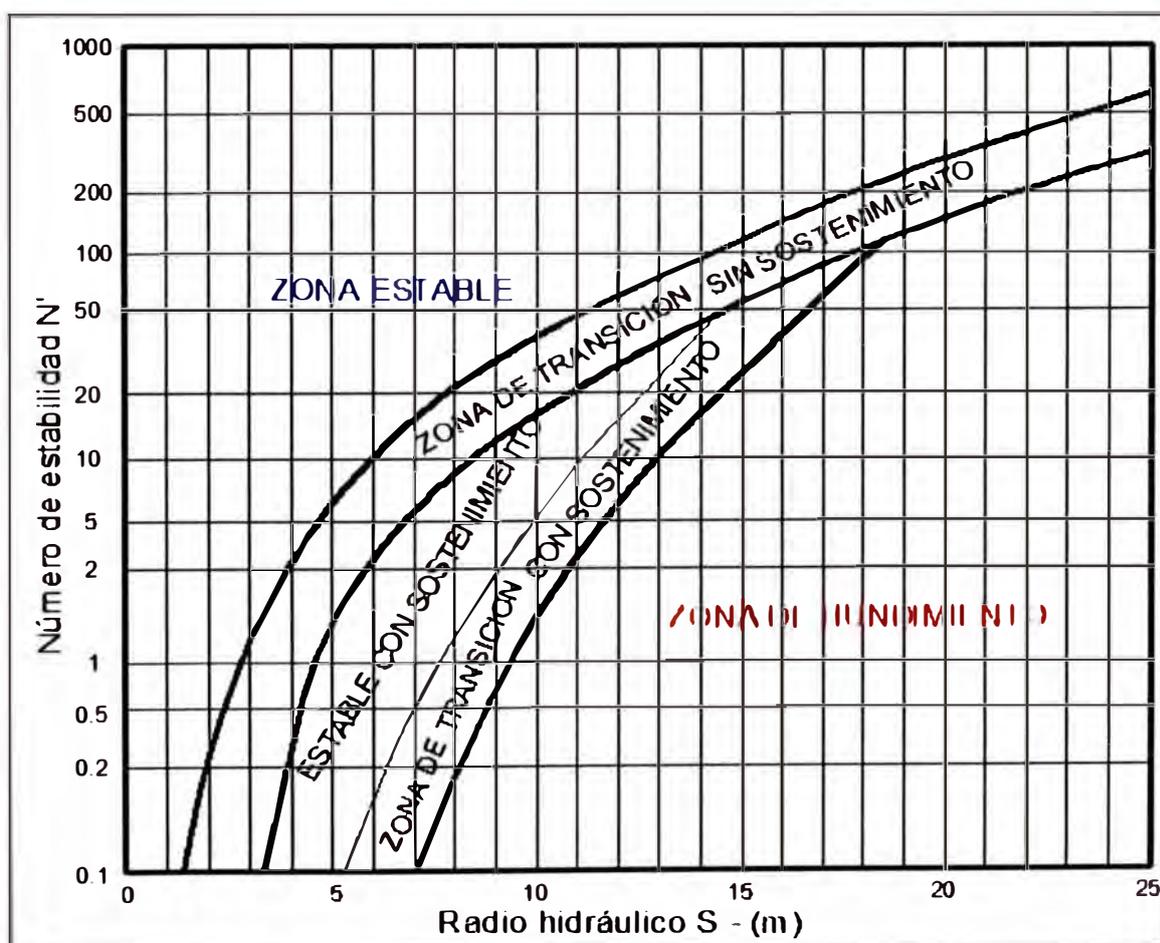


FIGURA 5.9: ABACO DE ESTABILIDAD

Fuente: Potvin (1988) y Nickson (1992)

C. Índice de Calidad de Roca Modificado Q'

El símbolo Q, representa un valor de la calidad de roca en términos de lo bloqueado que se encuentre el macizo rocoso, la condición de las familias de discontinuidades, efectos de los esfuerzos y la influencia de las infiltraciones de agua. Calcular Q no es difícil una vez que la información necesaria ha sido recolectada. Debido a que puede haber una variabilidad en el valor Q, aun cuando se ha tomado el mínimo cuidado.

Q' es una versión modificada original aplicado a los gráficos de estabilidad y reduce el factor de reducción de esfuerzos (SRF) a 1, ya que los efectos de los esfuerzos son contados en el factor A, y además le da a Jw el valor de 1 por que la mayoría de las rocas de las minas están secas. Los valores de Q están en rangos de 0.001 (excepcionalmente pobre) hasta 1000 (excepcionalmente bueno), pero los valores normales en minería subterránea están en el rango de 0.1 a 40

$$Q = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SRF)$$

$$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a)$$

Donde SRF=1, Jw=1.

D. Factor de Esfuerzo de la Roca A:

El factor de esfuerzo en la roca A, representa a los esfuerzos que están actuando sobre las caras libres del tajeo abierto en profundidad. Este factor es determinado a partir de las resistencia compresiva no confinada de la roca

intacta, denominado " σ_c " y el esfuerzo actuante paralelo a la cara expuesta del tajeo en estudio denominado σ_1 ". El valor "del factor de esfuerzos en la roca A, es por lo tanto determinado a partir de la relación σ_c/σ_1 (resistencia de la roca intacta/esfuerzo compresivo inducido) sobre el borde de la abertura.

$$A = 0.1$$

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_1} < 2$$

$$A = 0.1125\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_1}\right) - 0.125$$

$$2 < \frac{\sigma_c}{\sigma_1} < 10$$

$$A = 1.0$$

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_1} > 10$$

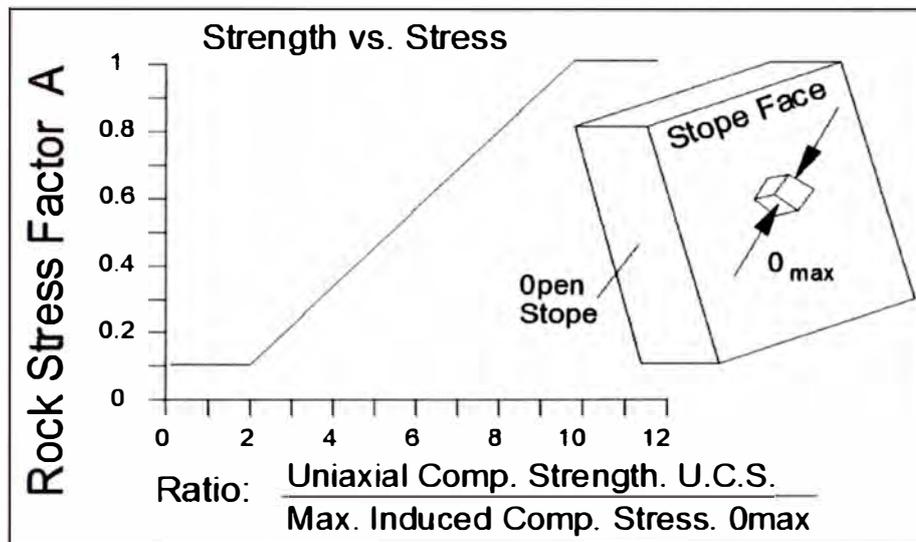


FIGURA 5.10: ABACO FACTOR DE ESFUERZO

Fuente: *Potvin* (1988) y *Nickson* (1992)

E. Factor de Ajuste por Orientación de Juntas B:

Muchos casos de fallas estructurales controladas ocurren a lo largo de discontinuidades críticas, las cuales forman un pequeño Angulo con la superficie libre. Mientras el Angulo entre las discontinuidades y la superficie sea más pequeño, más fácil será que el puente de roca intacta, se rompa por efecto de la voladura, esfuerzos o por otro sistema de discontinuidades.

Cuando el Angulo se aprox. a cero, aumenta ligeramente la resistencia, pues los bloques de roca actúan como una viga o losa. La influencia de

las discontinuidades críticas sobre la estabilidad de la superficie de excavación es mayor cuando el rumbo es paralelo a la superficie libre y es menor cuando los planos son perpendiculares entre sí.

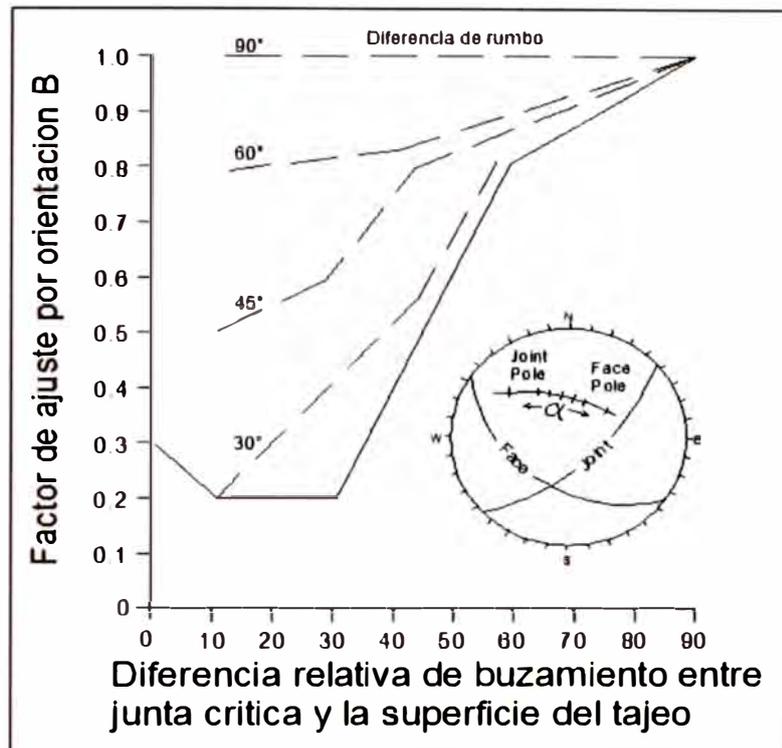


FIGURA 5.11: AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS
Fuente: Potvin (1988) y Nickson (1992)

F. Factor de Deslizamiento o Gravedad C:

El factor C es un ajuste por el efecto de la gravedad. La falla del terreno puede ocurrir desde el techo debido a caídas inducidas por la gravedad o desde las paredes del tajeo, debido a lajamientos o deslizamientos.

Potvin sugirió que tanto las fallas inducidas por la gravedad como las de lajamiento, dependen de la inclinación de la superficie del tajeo α . El factor C para estos casos es calculado a partir de la relación:

Para caídas por gravedad y lajamientos

$$C = 8 - 6 \cos \alpha$$

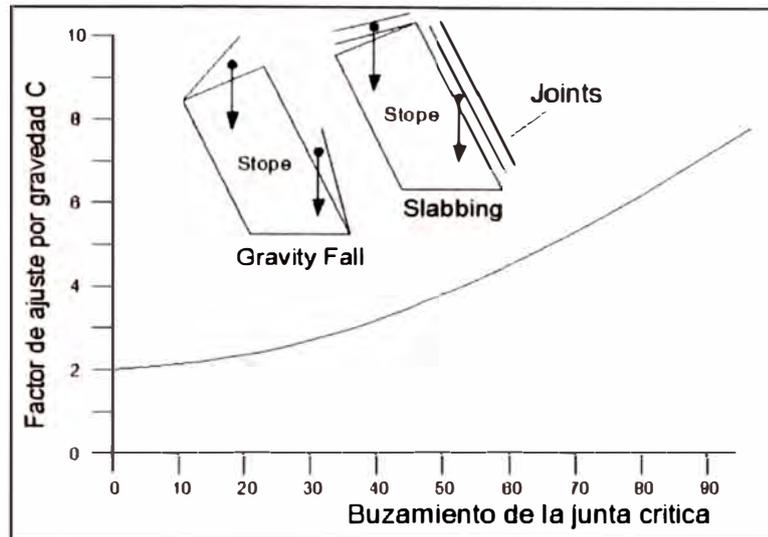


FIGURA 5.12: ABACO FACTOR DE DESLIZAMIENTO O GRAVEDAD

Fuente: Potvin (1988) y Nickson (1992)

Para modos de falla por deslizamiento.

$$C = 8 \quad \text{para } 0 \leq \beta < 30$$

$$C = 11 - \beta/10 \quad \text{para } 30 \leq \beta < 90$$

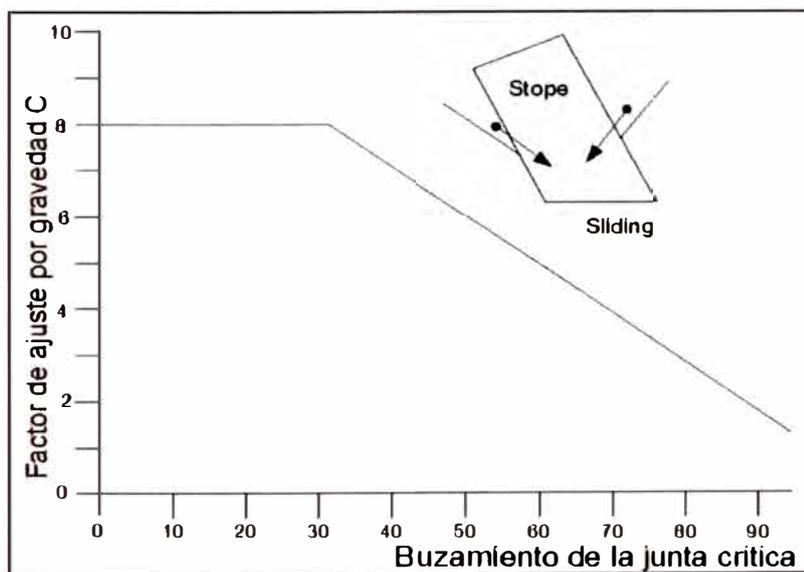
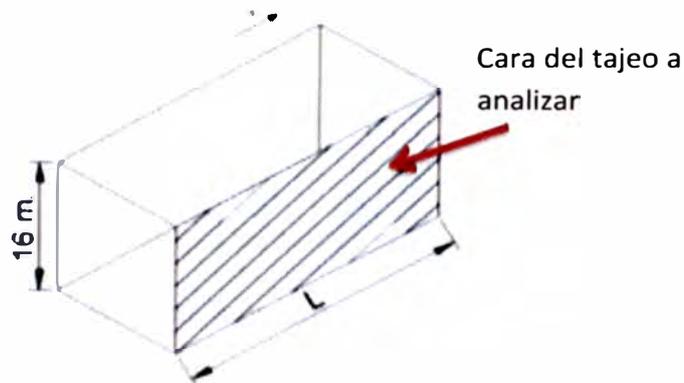


FIGURA 5.13: ABACO FACTOR DE DESLIZAMIENTO O GRAVEDAD

Fuente: Potvin (1988) y Nickson (1992)

5.1.3. Estimación de Parámetros Análisis de Estabilidad del Hastial

La variable objetivo a determinar es la longitud de los tajeos que permitan garantizar su estabilidad teniendo la altura determinada anteriormente, altura calculada del tajeo 16m esto significa 8m de banco por que en la preparación de realizaran labores inferiores y superiores de 8m x 4m.



A continuación se determinara el parámetro N' para posteriormente hallar el radio hidráulico (HR) correspondiente a las zonas estables sin sostenimiento, con sostenimiento, etc. y determinar la geometría del tajeo.

A. Cálculo del Q'

Se tiene caracterizado la zona de estudio como una Roca Mala IV A con un RMR promedio de 36.

Además teniendo en consideración que para nuestro caso el factor de reducción de esfuerzos SRF es fijado en 1 y el sistema no ha sido aplicado en condiciones con agua subterránea significativa, de tal manera que el factor de reducción por agua en

juntas J_w es 1. Por lo tanto el índice de calidad tunelera modificado Q' numéricamente será igual al Q estándar

Utilizaremos la siguiente ecuación para determinar el Q'

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene un valor para el Índice de Calidad Tunelera igual a 0.41

B. Factor A

Las labores se desarrollan en una zona de brechas mineralizadas, en donde la resistencia a la compresión de la roca intacta es de aproximadamente 80 MPa, además el encampane es de 170 m aprox. Lo que genera, utilizando el criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978) un esfuerzo vertical de 4.5 MPa a 4.8 MPa de esfuerzo inducido alrededor de la excavación determinada para los tajeos finales de sección 8m x 16m.

El factor A se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$A = 0.1125(\sigma_c/\sigma_1) - 0.125$$

Dónde:

σ_c : Resistencia a la compresión de la roca intacta

σ_1 : Esfuerzo inducido

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene el valor de $A = 1.75$

C. Factor B

La influencia de las juntas críticas sobre la estabilidad de la superficie de la excavación, es más alto cuando el rumbo es paralelo a la superficie libre, y es más pequeño cuando los planos son perpendiculares entre sí. El factor B, que depende de la diferencia entre la orientación de la junta crítica y cada cara del tajeo, puede ser determinado a partir del ábaco mostrado en la Figura N° 17.

La distribución de discontinuidades de la zona de brechas se pueden observar en los siguientes gráficos. (Información tomada del Estudio realizado por DCR para la zona de brechas)

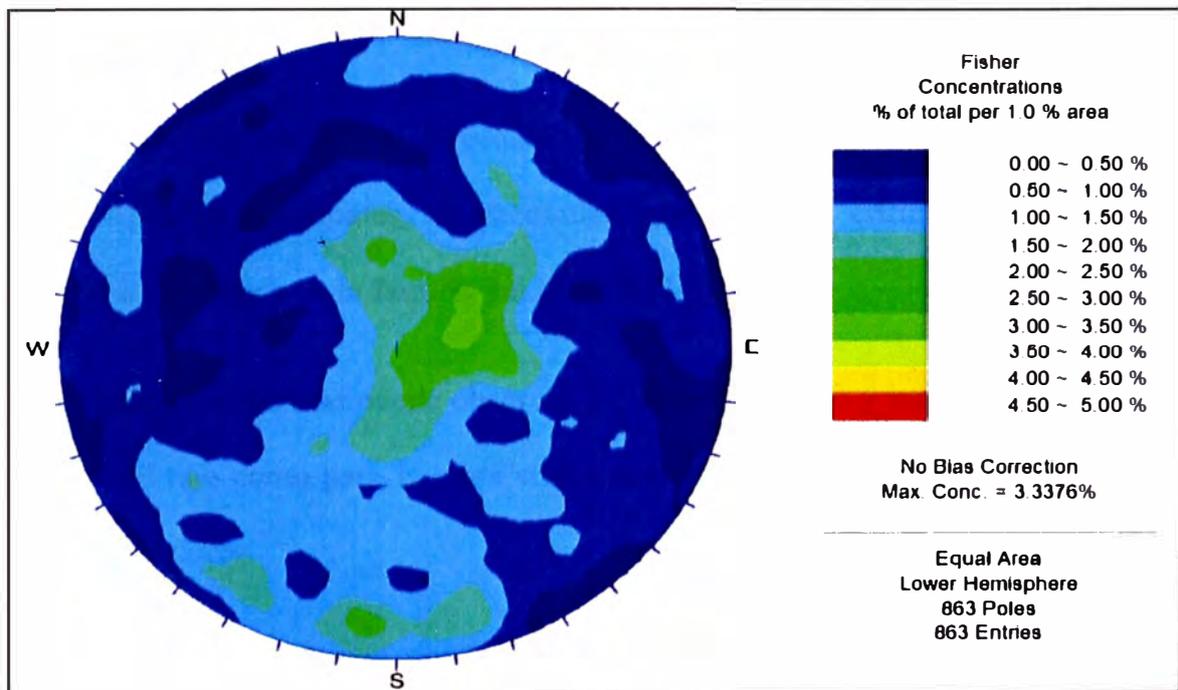


FIGURA 5.14: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DEL BLOCK 9775

Fuente: DCR Ingenieros

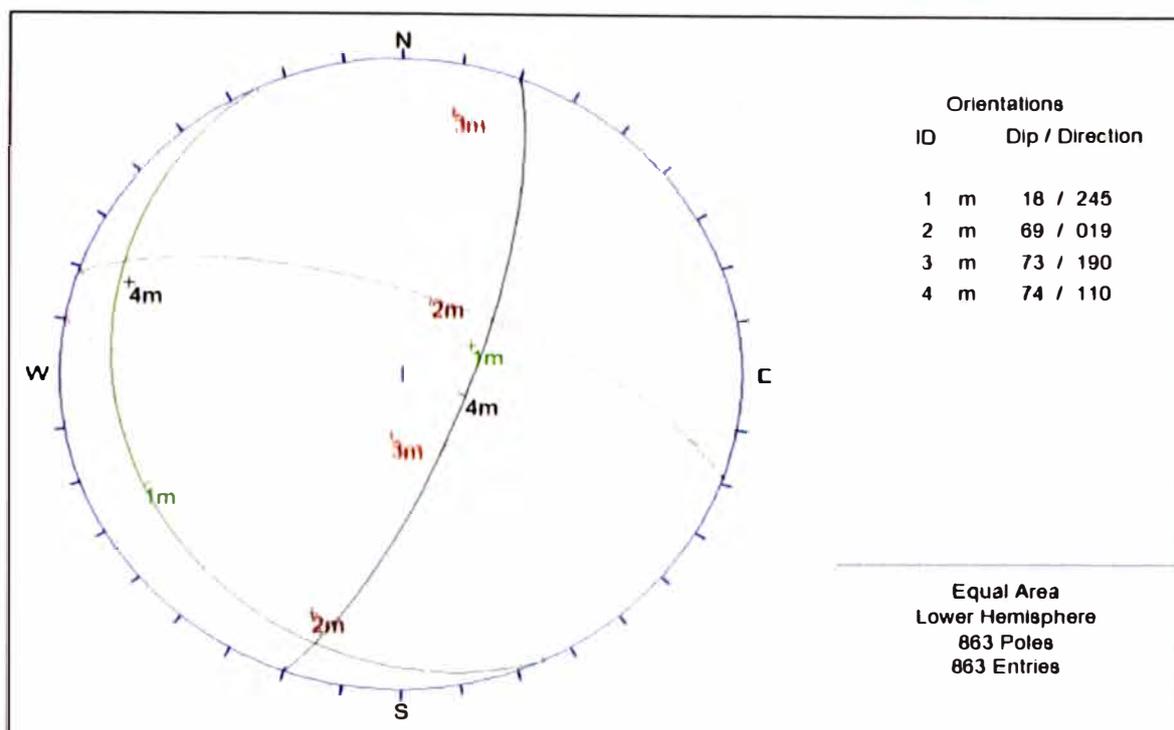


FIGURA 5.15: REPRESENTACIÓN DE LOS PLANOS PRINCIPALES DEL BLOCK 9775

Fuente: DCR Ingenieros

Teniendo en cuenta la dirección de los tajos NS y la orientación de las discontinuidades principales, se determina que la junta crítica para las paredes laterales de los tajos es la familia 4m (S20°E, 74°).

En el siguiente cuadro se puede observar el valor del rumbo y buzamiento tanto para la pared del tajo como para la junta crítica correspondiente; además de la diferencia entre estos valores.

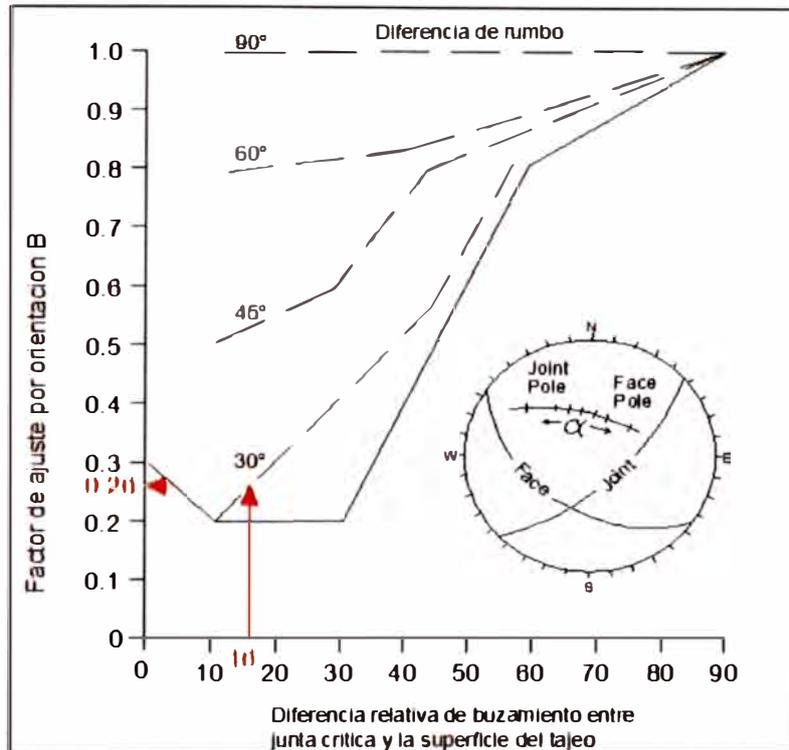
CUADRO 5.2: DETERMINA LA DIFERENCIA ENTRE LA JUNTA CRÍTICA Y LA PARED DEL TAJEO

	Rumbo	Buzamiento
Pared del tajo	0	90
Junta crítica	20	74
Diferencia	20	16

Fuente: Dpto. de Geomecánica JRC

Teniendo en cuenta la diferencia del rumbo y el buzamiento entre la pared del tajeo y la junta critica se procede a plotear esta información en el gráfico de doble entrada correspondiente, hallándose de esta manera el valor del factor B igual a 0.26 como se muestra en la imagen siguiente.

FACTOR B: AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE FRACTURAS

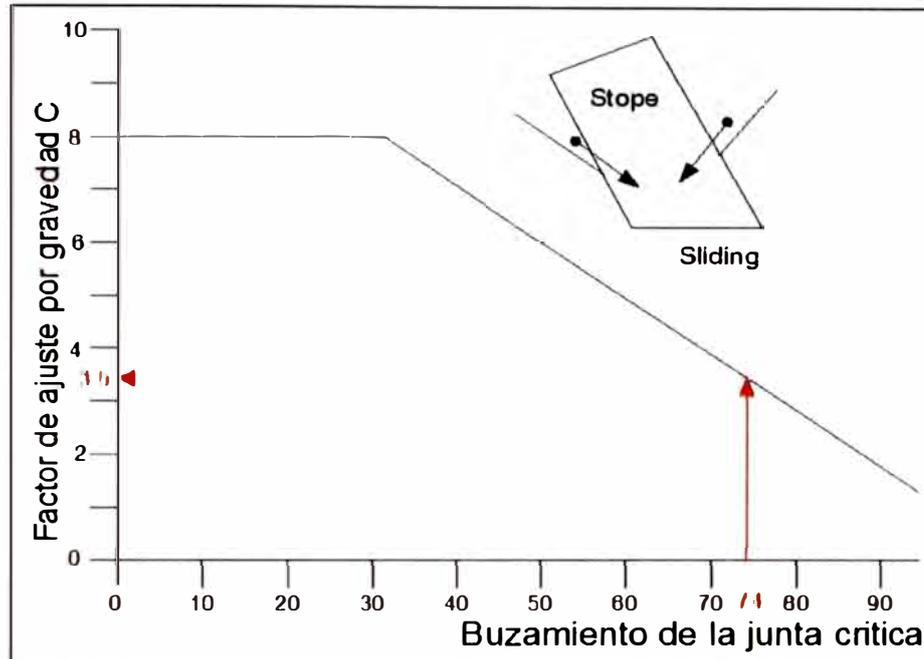


D. Factor C

El factor C, es un ajuste por el efecto de la gravedad. La falla puede ocurrir desde el techo debido a caídas inducidas por la gravedad o, desde las paredes del tajeo, debido a lajamientos o deslizamientos. *Potvin* (1988) sugirió que tanto las fallas inducidas por gravedad y como las fallas por deslizamiento, dependen de la inclinación de la superficie del tajeo α .

El factor C para estos casos puede ser calculado a partir del siguiente abaco.

FACTOR C: FACTOR DE DESLIZAMIENTO POR GRAVEDAD



Siendo la inclinación de la junta crítica igual a 74 se obtiene un valor del factor C igual a 3.5.

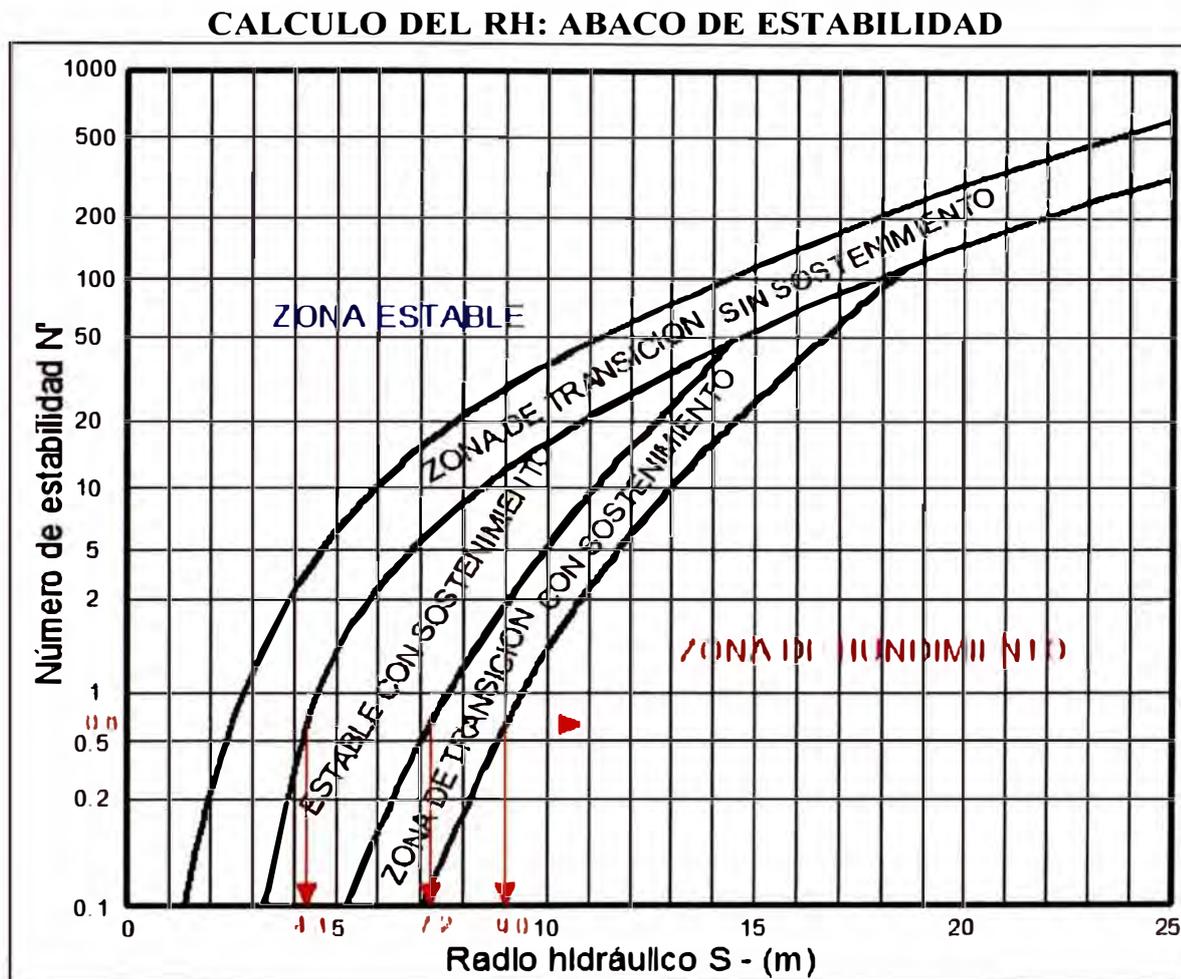
E. Cálculo del número de estabilidad N'

Con todos los datos calculados anteriormente procedemos a calcular el número de estabilidad mediante la siguiente ecuación:

$$N' = Q' \times A \times B \times C$$

Q	0.41
A	1.75
B	0.26
C	3.50
N'	0.65

Con el número de estabilidad determinado se procede a determinar el radio hidráulico para cada zona de estabilidad como se muestra en el siguiente gráfico:



F. Cálculo de la longitud del tajeo.

Con los valores de Radio Hidráulico (S) obtenidos y con la altura del tajeo propuesta, procedemos a calcular las longitudes de los tajeos de cada zona, despejando la variable “ L ” considerando las diferentes zonas de estabilidad.

Numero de estabilidad N´	0.69	0.69	0.69
Radio hidráulico	4.35	7.22	9.03
longitud del tajeo (m)	19.07	-23.89	-17.94
Condición de estabilidad	ESS	ESO	ECS

Dónde:

ESS: Estable sin sostenimiento

ESO: Estable con sostenimiento opcional

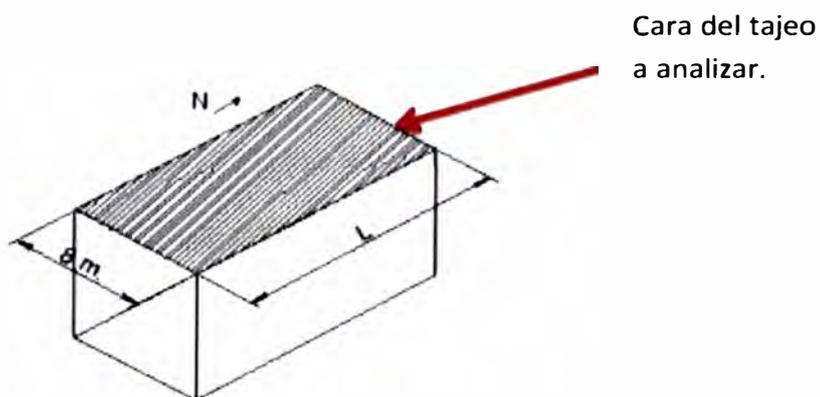
ECS: Estable con sostenimiento

Por lo tanto la longitud del tajeo recomendado de acuerdo al análisis del MGE es de 19.06 metros para trabajar con un tajeo estable sin sostenimiento no encontrándose referencia con el Método gráfico de estabilidad para las zonas estables con sostenimiento opcional y demás zonas según el método.

A continuación se muestra las longitudes de minado correspondientes para diferentes alturas de tajeo.

5.1.4. SECCIÓN ANALIZADA: TECHO DEL TAJEO

Continuando con la evaluación procedemos a evaluar el techo del tajeo, cara que colinda con el hastial y comparte la longitud del tajeo que necesitamos determinar.



Realizando los cálculos correspondientes:

Q	0.41
A	1.75
B	0.26
C	2
N	0.37

Ploteando el valor del Numero de Estabilidad en el ábaco correspondiente determinamos los valores del radio hidráulico para cada zona de estabilidad y consecuentemente la longitud de minado.

Numero de estabilidad N'	0.37	0.37	0.37
Radio Hidráulico	3.5	6.81	8.49
Longitud del tajeo (m)	56	-26.53	-19.15
Condición de estabilidad	ESS	ESO	ECS

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico está orientado en demostrar, cuál de los métodos en cuestión conviene aplicar de acuerdo a los requerimientos de producción y los programas a largo plazo con la que cuenta la Sociedad Minera El Brocal.

Por tanto se muestra los siguientes cuadros comparativos:

- A. CUADRO 12: MINADO PROYECTO BLOCK 9775
- B. CUADRO 13: COMPARATIVO DE COSTOS DE MINADO BLOCK 9775
- C. CUADRO 14: COSTOS DE MINADO BLOCK 9775:
- D. CUADRO 15: INDICADORES DE MINADO BLOCK 9775

Los mismos que se definen y analizan continuación:

A. CUADRO 12: MINADO PROYECTO BLOCK 9775:

La mineralización del Block 9775, es tipo manto de 171 m de ancho, 204 m de largo y 44 m de potencia; haciendo un total de 4,939,601 t de mineral.

Para la extracción del mineral cubicado se consideran dos métodos de explotación probables a aplica, Corte y Relleno y *Sub Level Stopping*, cabe mencionar que dependiendo del método de explotación se deberá considerar un programa de desarrollo, preparación y recuperación.

De acuerdo a la situación actual de la mina se determina el laboreo necesario a realizar de acuerdo al método de explotación:

- i. Desarrollo: 123 m en *Sub Level Stopping* y cero meros en Corte y Relleno.
- ii. Preparación: 9,471 m en *Sub Level Stopping* y 6,642 m en Corte y Relleno.
- iii. Tonelaje extraído: 3,266,351 t en *Sub Level Stopping* y 3,479,356 t en Corte y Relleno.
- iv. Recuperación (%): 66% en *Sub Level Stopping* y 70% en Corte y Relleno.

B. CUADRO 13: COMPARATIVO DE COSTOS DE MINADO BLOCK 9775

Para el cálculo de los costos y su posterior análisis, se toma como base el detalle del Cuadro 12.

Para el cálculo total de los costos por método de explotación se consideran los siguientes aspectos:

1. Costos de Excavación, Corresponde al tipo y a la longitud de labores avanzadas haciendo un total de US\$. 5,579,020.95 en *Sub Level Stoping* y US\$. 3,891,397.19 en Corte y Relleno.
- ii. Costos de Sostenimiento, Corresponde en gran porcentaje al sostenimiento con shotcrete y pernos de fricción, haciendo un total de US\$. 4,395,577.0 en *Sub Level Stoping* y US\$. 10,076,918.1 en Corte y Relleno.
- iii. Costos de Servicios, Detalla los costos de drenaje de agua, aire comprimido, agua, ventilación, instalaciones eléctricas, mantenimiento de vías, mantenimiento de sub estaciones, haciendo un total de 258,068.84 en *Sub Level Stoping* y US\$. 232,210.04 en Corte y Relleno.
- iv. Costo de Transportes, Está definido por el costo del transporte de mineral que se va a extraer por método de explotación, siendo, US\$. 6,173,403 en *Sub Level Stoping* y US\$. 8,002,519 en Corte y Relleno.

- v. Costos de Explotación, Definido como el costo de la perforación y voladura de del mineral, siendo US\$. 17,311,660 en Sub *Level Stoping* y US\$. 44,466,171 en Corte y Relleno
- vi. Costos de Relleno, Se expresa en el remplazo del volumen extraído de mineral, expresado en m³, por Relleno Hidráulico; siendo US\$. 5,614,041 en Sub *Level Stoping* y US\$. 5,980,143 en Corte y Relleno.

C. CUADRO 14: COSTOS DE MINADO BLOCK 9775:

Para el cálculo del costo de minado se resume el Cuadro 13 y a cada ítem valorizado en dólares se divide por la cantidad de mineral, en toneladas, que será recuperado por cada método de explotación, obteniendo un ratio de análisis expresado en US\$./t el cual significa una expresión fundamental para la toma de decisión del método de explotación a aplicar.

Siendo finalmente los ratios, 12.91 US\$./t en *Sub Level Stoping* y 21.81 US\$./t en Corte y Relleno.

D. INDICADORES DE MINADO BLOCK 9775:

El cálculo del tiempo de minado del Block 9975 está fundamentado en las variables antes expuestas, en el presente capítulo, considerando:

- 1. 25 días de trabajo al mes, a fin de cubrir paradas de operación por inspecciones programadas de equipos y seguridad, imprevistos tales como ausencia de personal por imprevistos, etc.

- ii. Numero de tajeos a disparar por día, 03 en cada caso, esta cantidad limitada de tajeos es programado debido a la cercanía de la población (200 m) ya que se deberá mantener un límite de vibraciones de 5 mm/segundo para evitar daños estructurales en las construcciones.
- iii. Rotura por disparo, 614.4 t *Sub Level Stopping* y 358.4 t Corte y Relleno, significa que:
 - a. En *Sub Level Stopping* se realizara disparos de 03 filas, perforación de taladros con 1.0 m de *Burden*. Por tanto se considera 8 m de ancho del tajeo, 8 m de altura de perforación, 3 m de longitud a disparar y 3.2 t/m³ de densidad del mineral.
 - b. En Corte y Relleno Ascendente, el minado se llevara a cabo mediante el *Bresting* con 8.0 m de ancho de labor, 4.0 metros de altura, 3.5 m de avance por disparo y 3.2 t/m³ de densidad del mineral.
- iv. Numero de disparos por día por tajeo, en cada caso se realizaran 02 disparos.
- v. Toneladas rotas por día, expresa la producción diaria por método de explotación para ello se toma en cuenta el punto ii, iii y iv, calculando 3,686.4 t/día en *Sub Level Stopping* y 2,150.4 t/día en Corte y Relleno.
- vi. Tonelaje roto por mes, Expresa la producción mensual, considerando 25 días de trabajo. Calculando una producción de 92,160.0 t/mes en *Sub Level Stopping* y 53,760.0 t/mes en Corte y Relleno.

- vii. Tiempo de minado, el tiempo de minado está calculado en función a la cantidad de mineral a extraer en todo el Block 9775 y la producción mensual que brinda el método de explotación, siendo 2.5 años para *Sub Level Stopping* y 4.5 años para Corte y Relleno.

CUADRO 5.3: MINADO – PROYECTO BLOCK 9775

MINADO - PROYECTO BLOCK 9775

SUB LEVEL STOPING

Dimensiones de Block			
Ancho:	171	m	
Largo:	204	m	
Altura:	44	m	
Toneladas:	4,939,601	t	

Desarrollo			
Rampa 1364			
Rampa (Gal 9775 Int.)	123	m	
Total metros	123	m	

Preparación			
Galería Principal 9775	4.5 x 4.5	680	m
Galerías Transversales	4.0 x 4.0	1,530	m
Galería Preparación	8.0 x 4.0	6,836	m
Camaras	4.0 x 4.0	51	m
Chimeneas	2.1 x 2.1	251	m
Total metros		9,471	m

Explotación inferior- Intermedio			
Nivel 1			
Dimension Tajeo	8m x 42m x 8m		
Tonelada Tajeo	9,462	t	
N° de Tajeos	56		
Tonelaje Galería	95,744	t	
Total Nivel 1	625,603	t	
Nivel 2			
Dimension Tajeo	8m x 42m x 8m		
Tonelada Tajeo	9,462	t	
N° de Tajeos	56		
Tonelaje Galería	95,744	t	
Total Nivel 2	625,603	t	
Nivel 3			
Dimension Tajeo	8m x 42m x 13m		
Tonelada Tajeo	16,558	t	
N° de Tajeos	56		
Tonelaje Galería	167,552	t	
Total Nivel 3	1,094,804	t	
Total Tonelaje Explotación	2,346,010		

Resumen Toneladas SLS			
Tonelada Cubicado	4,939,601	t	
Tonelada Tajeos	2,346,010	t	
Tonelada Avances	920,341	t	
Total Tonelaje extraído	3,266,351	t	
Tonelada Pilares	1,673,250	t	
Recuperacion (%)	66%		

CORTE Y RELLENO ASCENDENTE MECANIZADO

Dimensiones de Block			
Ancho:	171	m	
Largo:	204	m	
Altura:	44	m	
Toneladas:	4,939,601	t	

Desarrollo			
Rampa 1364			m
Rampa (Gal 9775 Int.)			m
Total metros			m

Preparación			
Galería Principal 9775	4.5 x 4.5	510	m
Galerías Transversales	4.0 x 4.0	630	m
Galería Preparación	8.0 x 4.0	5,200	m
Camaras	4.0 x 4.0	51	m
Chimeneas	2.1 x 2.1	251	m
Total metros		6,642	m

Explotación			
Tajeos (Gal 9775 Inf. al Gal 9775 Int. Sup)			
Altura de corte	4		
N° Cortes	11		
Tonelaje por corte	199,066		
Total Tonelaje	2,189,722		

Resumen Toneladas Corte y Relleno Ascendente			
Tonelada Cubicado	4,939,601	t	
Tonelada Tajeos	2,814,999	t	
Tonelada Avances	664,357	t	
Total tonelaje extraído	3,479,356	t	
Tonelada Pilares	1,460,244	t	
Recuperacion (%)	70%		

CUADRO 5.4: COMPARATIVO DE COSTOS DE MINADO BLOCK 9775

A. COSTO DE EXCAVACIONES - PROYECTO BLOCK 9775				
Labor	Sección	PU US\$	US\$ (S.L.S.)	US\$ (Cut and Fill)
Rampas	4,50 x 4,50	690.13	84,546.79	-
Galeria	4,0 x 4,0	592.32	5,358,126.72	3,755,308.80
Camaras	4,0 x 4,0	544.30	28,009.68	27,759.30
Chimenea	2,10 x 2,10	431.59	108,337.76	108,329.09
		Total US\$/m.	5,579,020.95	3,891,397.19

B. COSTO DE SOSTENIMIENTO - PROYECTO BLOCK 9775					
Shotcrete	P.U.	Cantidad (S.L.S.)	UU\$ (S.L.S.)	Cantidad (Cut and Fill)	UU\$ (Cut and Fill)
Shotcrete Rampas	30.44	1,984.64	60,412.4	-	-
Shotcrete Galeria	30.44	130,262.40	3,965,187.5	304,320.00	9,263,500.8
Shotcrete Camaras	30.44	741.02	22,556.8	734.40	22,355.1
Pernos hydrobolt	11.91	28,413	338,398.4	66,420.00	791,062.2
Cimbras	360.88	25.00	9,022.0	-	-
		Total US\$	4,395,577.0		10,076,918.1

C. COSTO DE SERVICIOS - PROYECTO BLOCK 9775

SERVICIOS SUB LEVEL STOPING

Costo de Servicios - Rampa			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	346.46	346.46
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	346.46	692.92
Ventilación - MS	3.00	346.46	1,039.38
Suministro agua - MS	7.07	346.46	2,449.48
Suministro aire comprimido - MS	8.00	346.46	2,771.69
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	1.00	346.46	346.46
Mantenimiento de TDF Subestaciones	1.00	346.46	346.46
Estandarizacion	1.00	346.46	346.46
Total US\$			8,339.33

Costo de Servicios - Galería			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	7,456.29	7,456.29
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	7,456.29	14,912.58
Ventilación - MS	7.07	7,456.29	52,715.97
Suministro agua - MS	7.07	7,456.29	52,715.97
Suministro aire comprimido - MS	8.00	7,456.29	59,650.32
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	2.00	7,456.29	14,912.58
Mantenimiento de TDF Subestaciones	5.00	7,456.29	37,281.45
Estandarizacion	1.00	7,456.29	7,456.29
Total US\$			247,101.45

Costo de Servicios - Cámaras			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	51.46	51.46
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	51.46	102.92
Ventilación - MS	7.07	51.46	363.82
Suministro agua - MS	30.00	51.46	1,543.80
Suministro aire comprimido - MS	8.00	51.46	411.68
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	1.00	51.46	51.46
Mantenimiento de TDF Subestaciones	1.00	51.46	51.46
Estandarizacion	1.00	51.46	51.46
Total US\$			2,628.06
Total US\$ Servicios - SUB LEVEL STOPING			258,068.84

SERVICIOS CUT AND FILL

Costo de Servicios - Rampa			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	224.00	224.00
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	224.00	448.00
Ventilación - MS	3.00	224.00	672.00
Suministro agua - MS	7.07	224.00	1,583.68
Suministro aire comprimido - MS	8.00	224.00	1,792.00
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	1.00	224.00	224.00
Mantenimiento de TDF Subestaciones	1.00	224.00	224.00
Estandarizacion	1.00	224.00	224.00
Total US\$			5,167.68

Costo de Servicios - Galería			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	6,984.00	6,984.00
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	6,984.00	13,968.00
Ventilación - MS	7.07	6,984.00	49,376.88
Suministro agua - MS	7.07	6,984.00	49,376.88
Suministro aire comprimido - MS	8.00	6,984.00	55,872.00
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	2.00	6,984.00	13,968.00
Mantenimiento de TDF Subestaciones	5.00	6,984.00	34,920.00
Estandarizacion	1.00	6,984.00	6,984.00
Total US\$			224,465.76

Costo de Servicios - Cámaras			
Item	Costo/ml	ml	Costo Total US\$
Drenaje de agua y Sumideros - MS	1.00	51.46	51.46
Mantenimiento Vías y Accesos - MS	2.00	51.46	102.92
Ventilación - MS	7.07	51.46	363.82
Suministro agua - MS	30.00	51.46	1,543.80
Suministro aire comprimido - MS	8.00	51.46	411.68
Mantenimiento de Instalaciones eléctricas - MS	1.00	51.46	51.46
Mantenimiento de TDF Subestaciones	1.00	51.46	51.46
Estandarizacion	1.00	51.46	51.46
Total US\$			2,576.60
Total US\$ Servicios - CUT AND FILL			232,210.04

D. COSTO TRANSPORTE			
Labor	Tonelaje	PU US\$	Total (US\$)
S.L.S.	3,266,351	1.89	6,173,403
Corte y Relleno	3,479,356	2.30	8,002,519

E. COSTO EXPLOTACION			
Labor	Tonelaje	PU US\$	Total (US\$)
S.L.S.	3,266,351	5.30	17,311,660
Corte y Relleno	3,479,356	12.78	44,466,171

F. COSTO RELLENO			
Labor	m3 Relleno	PU US\$	Total (US\$)
S.L.S.	1,020,735	5.50	5,614,041
Corte y Relleno	1,087,299	5.50	5,980,143

CUADRO 5.5: COSTOS DE MINADO BLOCK 9775

COSTO MINADO BLOCK 9775					
		Tonelaje S.L.S.	3,266,350.907	Tonelaje C y R	3,479,356.112
Item	Labor	Sub Level Stopping		Corte y Relleno	
		Costo Total US\$	US\$/t	Costo Total US\$	US\$/t
A	Preparación y Desarrollo	5,579,020.95	1.71	3,891,397.19	1.12
B	Explotación	17,311,659.81	5.30	44,466,171.11	12.78
C	Transporte	6,173,403.21	1.89	8,002,519.06	2.30
D	Sostenimiento	4,395,577.02	1.35	10,076,918.14	2.90
E	Servicios auxiliares	3,096,826.09	0.95	3,483,150.63	1.00
F	Costo relleno	5,614,040.62	1.72	5,980,143.32	1.72
Total US\$		42,170,527.71	12.91	75,900,299.45	21.81

CUADRO 5.6: INDICADORES DE MINADO BLOCK 9775

Item	Unidad	Minado S.L.S.	Minado corte y relleno
Producción :			
Dias Trabajados	Dias	25	25
Nº tajeos a disparar x día	tajeos	3	3
Rotura por Disparo	t	614.4	358.4
Nº Disparo por día x Tajeo	Disp.	2	2
Tonelaje Roto por día	t/Día	3,686.4	2,150.4
Tonelaje Roto por Mes	t/Mes	92,160.0	53,760.0
Tiempo de Minado	Años	2.5	4.5

CONCLUSIONES

1. De acuerdo al Estudio Geomecánico es posible continuar con el Método de Explotación de Sub *Level Stopping*, con especiales consideraciones en el ciclo de minado, esto debido a las características del Macizo Rocoso en el cual se encuentra emplazado la mineralización.
2. De acuerdo a los Análisis Económicos el Método de SLS cuesta 12.91 US\$/t y el método de Corte y Relleno cuesta 21.81 US\$/t.
3. La diferencia al aplicar el método SLS es 8.9 US\$/t, generando un ahorro de US\$ 43,962,448.
4. Los tiempos requeridos para la explotación del Block 9775 con SLS y Corte y Relleno son 2.5 años y 4.5 años respectivamente.
5. Por lo expuesto en los puntos anteriores es posible continuar con el Método de explotación de Sub *Level Stopping* con Roca de Mala Calidad en Sociedad Minera El Brocal.

RECOMENDACIONES

1. Los estudios fueron realizados en Roca de Mala Calidad (de acuerdo a la clasificación de Bieniawski) con un rango de RMR entre 31 a 40.
2. El método de SLS a aplicar, será establecida con las siguientes consideraciones, de acuerdo al diseño geomecánico:
 - a. Las preparaciones serán de secciones 8.0 m x 4.0 m (a sección completa) a fin de estandarizar la perforación vertical en paralelo para conservar la integridad de los pilares corridos establecidos por diseño geomecánico.
 - b. El ancho de los pilares corridos serán de 4.5 m.
 - c. La longitud del banco para el minado será de 8.0 m (puente de nivel superior e inferior). Logrando finalmente luego del minado paredes expuestas de 16.0 m de altura.
6. Como especial consideración para el minado, la explotación de un panel deberá ser siempre que tenga paneles (a ambos extremos) in-situ o relleno

a fin de lograr pilares de 17.0 m. Es importante mantener esta recomendación ya que este involucra la estabilidad integral del Block 9775.

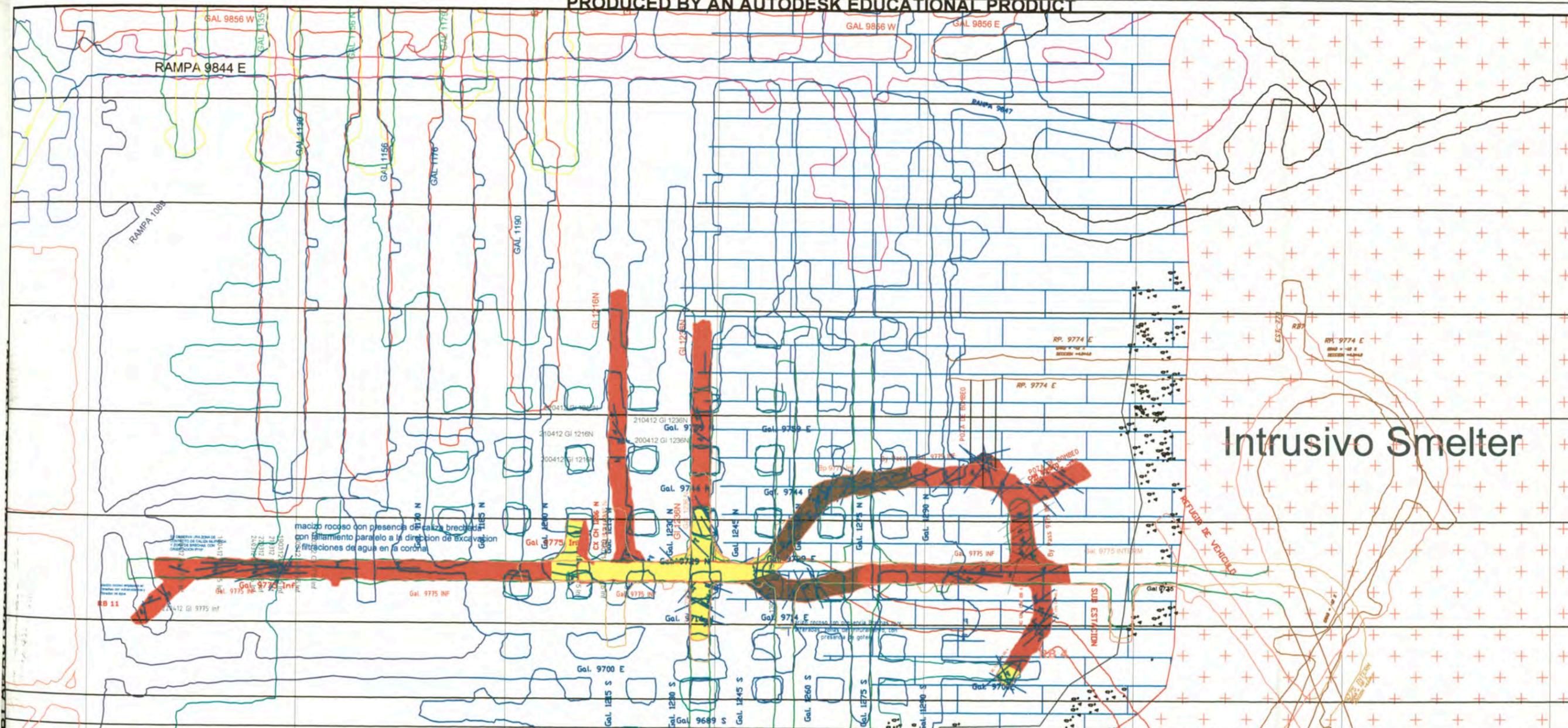
7. La longitud de los tajos, de acuerdo a diseño, serán de 19.0 m.

BIBLIOGRAFIA

1. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1998, "SME Mining Engineering Handbook.
2. Hugo Rivera Mantilla 2001, "Geología General
3. UNA 2001, "Explotación Subterránea Métodos y Casos Prácticos.
4. Revista del capítulo de Ingenieros de Minas del Perú, Año XV-Nº 59 Abril 2009.
5. Bendezu_2010_SEG_Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Colquijirca District.
6. B.H.G.Brady, E.T.Brown - Rock Mechanics For Undergound.

ANEXO 1

PLANO GEOMECANICO



Intrusivo Smelter

macizo rocoso con presencia de caliza brechada con fallamiento paralelo a la dirección de excavación y filtraciones de agua en la corona

CARTILLA GEOMECANICA

TIPO DE MACIZO ROCOSO Y SOPORTE (SOSTENIMIENTO Y REFORZAMIENTO)

Versión 02

TIPO ROCA	CLASE	COLOR	R.M.R.	ESTRUCTURAS	ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO	TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA EXCAVACION PERMANENTES	TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA EXCAVACION TEMPORALES	TIEMPO DE AUTOSOPORTE
BUENA	II	Verde	Mayor a 61	[Icono]	Roca muy dura, levemente fracturada, húmeda en algunos casos	Sin soporte	Sin soporte	Mayor de 2 meses
REGULAR "A"	III-A	Naranja	51-60	[Icono]	Roca dura, levemente fracturada, sana o ligeramente intemperizada, húmeda o mojada	Pernos de 7 pies sistemáticos espaciados de 1.2 a 2.0 mt	Pernos de 7 o 5 pies puntuales de ser requeridos	2 meses
REGULAR "B"	III-B	Amarillo	41-50	[Icono]	Roca medianamente dura, moderadamente fracturada, con presencia de algunas fallas menores, ligeramente a moderadamente intemperizada, ligeros goteos	Percutar minuciosamente e aplicar Shotcrete de 2 pulgadas e inyectar Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud espaciados de 1.2-1.5 metros	Percutar minuciosamente e inyectar Pernos sistemáticos de 7 o 5 pies de longitud en la bóveda (Corona) espaciados de 1.2 a 1.5 metros. En zonas de mayor fracturamiento (presencia de fragmentos rocosos pequeños) utilizar malla electrosoldada o Shotcrete de	1 semana
MALA "A"	IV-A	Rojo	31-40	[Icono]	Roca suave, fracturada, con algunas fallas panzadas, moderadamente intemperizada, con goteo en fracturas y fallas	Shotcrete de 2 pulgadas mas pernos de 7 pies sistemáticos	Shotcrete de 2-3 pulgadas mas Pernos sistemáticos de 7 pies de longitud espaciados de 1.0 a 1.5 metros	2 dias
MALA "B"	IV-B	Marrón	21-30	[Icono]	Roca muy suave, muy fracturada, fallada, panzada, arcillosa, muy intemperizada con goteos o ligeros flujos de agua	Pernos sistemáticos de 10 pies de longitud en bóveda y 7 pies en hastiales, espaciados cada 1 metro + una capa de Shotcrete de 3" de espesor + Arcos horizontales espaciados de 1.0 a 1.5 metro	Pernos sistemáticos de 10 pies de longitud en bóveda y 7 pies en hastiales, espaciados cada 1 metro + una capa de Shotcrete de 3" de espesor + Arcos horizontales espaciados de 1.0 a 1.5 metro	inmediato
MUY MALA	V	Naranja claro	Menor a 20	[Icono]	Roca muy suave, intensamente fracturada, descompuesta, con presencia de arcillas, con goteos y flujos de agua	Cerchas Tipo Omega espaciadas a 0.8 a 1.5 metros mas una capa de Shotcrete de espesor variable. De ser necesario (derrumbes) utilizar marchavantes	Cerchas Tipo Omega espaciadas a 0.8 a 1.5 metros mas una capa de Shotcrete de espesor variable. De ser necesario (derrumbes) utilizar marchavantes	inmediato

EL BROCAL Sociedad Minera "El Brocal" S.A.A.	
Diseñado :	Ing. Miguel Monago
Dibujado :	Ing. T. Gutierrez
Revisado :	Ing. Miguel Monago
Aprobado :	Ing. M. Tapia
Nombre Layout :	

Plano Geomecánico Block 9775 - Inferior Marcapunta Norte	
Departamento :	Geomecanica
Sección de desarrollo :	Geomecanica JRC

JRC
INGENIERIA
CONSTRUCCION S.A.C.

Escala : 1/1

Código DWG : U

PLANO 02

SONDAJE	COORDENADA S	N :	8'809,736.00	E :	361,095.00	Cota :	4,259.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página
CM6-618-09	ORIENTACION	Azmut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	123.10 m	Fecha:	Jun-2011	1 de 2	1

Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción	
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de Juntas (4)					Agua (5)	RMR Total		
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt							
0.00	13.60	CLZA	San	R4	90	7	17	10	2	5	3	2	5	10	61	II	Buena
13.60	17.40	VULC	Lig	R4	75	7	13	8	2	5	3	1	4	10	53	IIIA	Regular A
17.40	17.60	Falla	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	2	10	21	IVB	Mala B
17.60	18.70	CLZA	Lig	R4	75	7	13	8	2	5	3	1	4	10	53	IIIA	Regular A
18.70	18.85	CLZA	Muy	R1	<25	1	3	5	1	1	1	1	2	10	25	IVB	Mala B
18.85	20.95	CLZA	Lig	R4	65	7	13	8	2	5	3	1	5	10	54	IIIA	Regular A
20.95	31.50	CLZA - BX	San	R4	80	7	17	9	2	5	3	1	5	10	59	IIIA	Regular A
31.50	36.25	CLZA	Mod	R3	65	4	13	8	2	4	2	1	3	10	47	IIIB	Regular B
36.25	42.15	VULC - CLZA	Lig	R3	90	4	17	10	2	5	3	1	4	10	56	IIIA	Regular A
42.15	42.50	TOBA	San	R4	90	7	17	10	2	5	3	1	5	10	80	IIIA	Regular A
42.50	42.55	TOBA	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
42.55	44.50	VULC	San	R4	90	7	17	10	2	5	3	1	5	10	60	IIIA	Regular A
44.50	44.75	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
44.75	53.80	VULC	Lig	R3	80	4	17	8	2	4	2	1	3	10	51	IIIA	Regular A
53.80	59.00	VULC	Lig	R3	70	4	13	8	2	2	3	1	3	10	46	IIIB	Regular B
59.00	61.00	BX	San	R4	80	7	17	8	2	4	3	1	4	10	56	IIIA	Regular A
61.00	73.15	VULC	San	R4	85	7	17	10	2	4	3	1	5	10	59	IIIA	Regular A
73.15	84.75	BX	Lig	R3	80	4	17	10	2	4	3	1	4	10	55	IIIA	Regular A
84.75	88.00	VULC	San	R4	90	7	17	10	2	5	3	1	5	10	60	IIIA	Regular A
88.00	90.10	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	1	1	1	1	10	25	IVB	Mala B

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO													
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAX.		>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2)	<5(1)	<1(0)	1
TOBA	Toba				R Q D (%)		90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	<25	(3)	2	
MIN	Mineral	R2	Se desconcha con difícil. c/ cuchilla. Marcas no profundas con la picota.	5 - 25 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)		>2	(20)	0.8-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
CONG	Conglomerado				R3	No se raya ni desconcha c/ cuchillo. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (MPa)	COND. DE		Persistencia	<1m long.	(6)	1-3 m Lon.	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)
VULC	Vulcanoclasto	Apertura	Cerrada	(6)				<1mm aper.	(5)	0.1-1. mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B		
CLZA	Caliza	Rugosidad	Muy rugosa	(6)				Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo falla	(0)	4C		
Abrev. grado de alteración		R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (MPa)	JUNTAS		Relleno	Limpia	(6)	Duro<5mm	(4)	Duro> 5mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave>5 mm	(0)	4D
San	Sano				Alteración	Sana	(6)	Lig. Altera	(5)	Mod. Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E		
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA		Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	
Mod	Moderado				RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - C					
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 MPa	DESCRIPCION		I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IV A Mala A	IV B Mala B	V Muy Mala					



EL BROCAL
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

LOGUEO GEOTECNICO DE TESTIGOS ROCOSOS

Proyecto: **Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado**

DCR Ingenieros S.R.Ltda.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

SONDAJE		COORDENADAS	N :	8'809,738.00	E :	381,095.00	Cota :	4,259.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página				
CM6-618-09		ORIENTACION	Azmut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	123.10 m	Fecha:	Jun-2011	2 de 2	2				
Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)					Agua (5)	RMR Total	
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt						
90.10	94.05	VULC - BX	Lig	R3	85	4	17	8	2	3	3	1	3	10	51	IIIA Regular A
94.05	95.70	BX	Muy	R2	<25	2	3	5	1	1	2	1	2	10	27	IVB Mala B
95.70	99.20	VULC	Lig	R3	85	4	17	8	2	3	3	1	3	10	51	IIIA Regular A
99.20	101.20	BX	Lig	R3	85	4	13	8	2	3	3	1	3	10	47	IIIB Regular B
101.20	101.30	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	0	0	1	10	22	IVB Mala B
101.30	102.35	VULC	Lig	R3	90	4	17	9	2	4	3	2	3	10	54	IIIA Regular A
102.35	105.45	BX	Lig	R3	95	4	20	10	2	5	3	4	5	10	63	II Buena
105.45	108.50	VULC	Lig	R3	85	4	17	8	2	3	3	3	4	10	54	IIIA Regular A
108.50	108.80	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	1	1	1	1	10	25	IVB Mala B
108.80	111.40	BX	Lig	R3	90	4	17	9	2	4	4	2	4	10	58	IIIA Regular A
111.40	111.70	BX	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	0	0	1	10	22	IVB Mala B
111.70	115.35	BX	Lig	R3	85	4	17	9	2	3	4	2	3	10	54	IIIA Regular A
115.35	115.60	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	0	0	1	10	22	IVB Mala B
115.60	118.60	VULC	Mod	R2	65	2	13	9	2	4	2	1	3	10	46	IIIB Regular B
118.60	118.70	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V Muy Mala
118.70	122.40	VULC	Mod	R2	60	2	13	8	2	3	2	1	3	10	44	IIIB Regular B
122.40	122.70	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V Muy Mala
122.70	123.10	VULC	Mod	R2	<25	2	3	5	1	1	1	1	2	10	26	IVB Mala B

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO									
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desoncha con una cuchilla	1 - 5 (M Pa)	R. COM PRESIVAUNIAIX.	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1			
TOBA	Toba				R Q D (%)	90-100 (20)	75- 90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2			
M IN	M ineral	R2	Se desoncha con dificul. c/ cuchilla. M arcas nprofundas con la picota.	5 - 25 (M Pa)	ESPACIAM IENTO(m)	>2 (20)	0. 6-2 (15)	0.2-0.8 (10)	0.08-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3			
CONG	Conglomerado				COND.	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Lon. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A		
VULC	Vulcanoclasto	R3	No se raya ni desoncha c/ cuchillo. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (M Pa)	Apertura	Cerrada (6)	<1mm aper. (5)	0.1-1 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B			
CLZA	Caliza				DE	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo falla (0)	4C		
Abrev. grado de alteración		R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (M Pa)	JUNTAS	Relleno	Limpia (6)	Duro<5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 m (1)	Suave>5 mm (0)	4D		
San	Sano				Alteración	Sana (6)	Lig. Altera (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada (2)	Descomp uesta (0)	4E			
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (M Pa)	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Gotao (4)	Flujo (0)	5			
Mod	M oderado				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
Muy	M ualterado	R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 M Pa	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		

SONDAJE	COORDENADAS	N :	8'809,738.00	E :	381,188.00	Cota :	4,248.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página
CM7A-618-09	ORIENTACION	Azmut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	95.85 m	Fecha:	Jun-2011	1 de 1	3

Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción	
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)					Agua (5)	RMR Total		
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt							
0.00	7.35	CLZA	San	R4	75	7	13	9	2	4	3	2	5	10	55	IIIA	Regular A
7.35	17.05	CLZA	Lig	R4	50	7	8	8	2	2	2	1	3	10	43	IIIB	Regular B
17.05	23.75	CLZA	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	1	0	1	10	23	IVB	Mala B
23.75	31.35	CLZA	Mod	R3	30	4	8	6	2	2	2	1	3	10	38	IVA	Mala A
31.35	36.35	CLZA - VULC	Mod	R3	45	4	8	8	2	3	3	2	4	10	44	IIIB	Regular B
36.35	40.60	CLZA	San	R4	90	7	17	10	2	5	3	2	5	10	61	II	Buena
40.60	41.35	BX	San	R4	90	7	17	10	2	6	3	5	5	10	65	II	Buena
41.35	42.50	TOBA	Lig	R3	75	4	13	8	2	5	3	2	4	10	51	IIIA	Regular A
42.50	58.45	VULC	Lig	R4	70	7	13	8	2	4	3	2	5	10	54	IIIA	Regular A
58.45	64.70	VULC - BX	San	R4	75	7	13	8	2	4	3	4	1	10	52	IIIA	Regular A
64.70	67.60	BX - VULC	San	R3	75	4	13	8	2	4	4	4	5	10	54	IIIA	Regular A
67.60	67.90	VULC	Mod	R2	<25	2	3	5	1	1	2	1	3	10	28	IVB	Mala B
67.90	70.15	VULC - BX	Lig	R3	75	4	13	10	2	4	4	2	4	10	53	IIIA	Regular A
70.15	70.35	BX	Muy	R2	<25	2	3	5	1	2	2	1	2	10	28	IVB	Mala B
70.35	75.50	BX	Lig	R3	75	4	13	8	2	4	5	1	4	10	51	IIIA	Regular A
75.50	77.15	BX	Lig	R3	85	4	17	10	2	5	4	1	4	10	57	IIIA	Regular A
77.15	93.30	BX	Lig	R3	85	4	17	10	2	4	4	1	4	10	56	IIIA	Regular A
93.30	95.65	VULC	Mod	R2	30	2	8	5	1	2	2	1	2	10	33	IVA	Mala A
95.65	95.80	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
95.80	95.85	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	2	2	1	2	10	28	IVB	Mala B

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO									
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAX.	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1			
TOBA	Toba				R Q D (%)	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2			
MIN	Mineral	R2	Se desconcha con difícil. c/ cuchilla. Marcas no profundas con la picota.	5 - 25 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.8 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3			
CONG	Conglomerado				COND.	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Lon. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A		
VULC	Vulcanoclasto	R3	No se raya ni desconcha c/ cuchilla. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (MPa)	COND.	Apertura	Cerrada (6)	<1mm aper. (5)	0.1-1.mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B		
CLZA	Caliza				DE	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo falla (0)	4C		
Abrev. grado de alteración		R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (MPa)	JUNTAS	Relleno	Limpia (6)	Duro<5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 m (1)	Suave>5 mm (0)	4D		
San	Sano				Alteración	Sana (6)	Lig. Altera (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E			
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5			
Mod	Moderado				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquivarlas c/ la picota.	>250 MPe	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		

SONDAJE		COORDENADAS	N :	8'809,858.00	E :	361,063.00	Cota :	4,261.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página					
CM10-628-10		ORIENTACION	Azmut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	73.55 m	Fecha:	Jun-2011	1 de 2	5					
Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción	
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)					Agua (5)	RMR Total		
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt							
0.00	4.00	CLZA - ZOMI	San	R4	70	7	13	6	2	4	3	4	6	10	57	IIIA	Regular A
4.00	12.00	CLZA	San	R4	65	7	13	8	2	4	3	2	4	10	53	IIIA	Regular A
12.00	13.60	CLZA	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	0	0	2	10	23	IVB	Mala B
13.60	17.60	CLZA	Mod	R3	55	4	13	6	2	4	3	1	4	10	49	IIIB	Regular B
17.60	25.50	CLZA	Mod	R3	30	4	6	5	1	3	3	1	3	10	38	IVA	Mala A
25.50	25.90	CLZA	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
25.90	27.00	CLZA	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	0	0	2	10	23	IVB	Mala B
27.00	31.50	CLZA	Muy	R2	<25	2	3	5	2	1	1	1	2	10	27	IVB	Mala B
31.50	35.50	CLZA	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	0	10	19	V	Muy Mala
35.50	37.50	CLZA	Lig	R4	30	7	6	5	2	3	2	2	4	10	43	IIIB	Regular B
37.50	39.00	Vacio															
39.00	43.00	VULC	Muy	R2	30	2	6	8	1	2	1	1	1	10	34	IVA	Mala A
43.00	44.50	VULC	Lig	R3	90	4	17	10	2	4	3	1	4	10	55	IIIA	Regular A
44.50	44.60	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	0	0	1	0	1	10	22	IVB	Mala B
44.60	45.70	VULC	Lig	R3	90	4	17	8	2	4	3	2	5	10	55	IIIA	Regular A
45.70	45.75	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
45.75	46.50	VULC	Mod	R3	50	4	8	8	2	2	3	2	4	10	43	IIIB	Regular B
46.50	46.80	Falla	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	0	10	19	V	Muy Mala
46.80	53.45	BX - VULC - CLZA	Lig	R3	85	4	17	10	2	4	3	1	3	10	54	IIIA	Regular A
53.45	58.50	VULC	Mod	R3	55	4	8	8	2	2	3	1	2	10	40	IVA	Mala A
Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO												
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAX.	>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2)	<5(1)	<1(0)	1
TOBA	Toba				R. Q D (%)	90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	<25	(3)	2	
MIN	Mineral	R2	Se desconcha con dificul. c/ cuchilla. Marcas no profundas con la picota.	5 - 25 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)	>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	
CONG	Conglomerado				COND. Persistencia	<1m long.	(6)	1-3 m Lon.	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	
VULC	Vulcanoclasto	R3	No se raya ni desconcha c/ cuchillo. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (MPa)	COND. Apertura	Cerrada	(8)	<1mm aper.	(5)	0.1-1. mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	
CLZA	Caliza				DE Rugosidad	Muy rugosa	(8)	Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo falla	(0)	4C	
Abrev. grado de alteración		R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (MPa)	JUNTAS Relleno	Limpia	(8)	Duro<5mm	(4)	Duro> 5mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave>5 mm	(0)	4D	
San	Sano				Alteración	Sana	(8)	Lig. Altera	(5)	Mod.Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E	
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA	Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	
Mod	Moderado				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0					
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 MPa	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala					

SONDAJE	COORDENADAS	N :	8'809,858.00	E :	381,063.00	Cota :	4,261.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página
CM10-628-10	ORIENTACION	Azimut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	73.55 m	Fecha:	Jun-2011	2 de 2	6

Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción	
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)				Agua (5)	RMR Total			
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt							
58.50	58.70	Falla	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	0	10	19	V	Muy Mala
58.70	60.50	VULC	Mod	R3	50	4	8	8	1	2	2	1	3	10	39	IVA	Mala A
60.50	62.25	BX	Mod	R3	60	4	13	8	2	3	4	1	3	10	48	IIIB	Regular B
62.25	63.10	BX	Muy	R2	<25	2	3	5	0	0	1	0	1	10	22	IVB	Mala B
63.10	64.60	VULC	Mod	R3	30	4	8	5	2	4	2	1	3	10	39	IVA	Mala A
64.60	66.40	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
66.40	67.70	VULC	Mod	R3	50	4	8	8	2	3	2	1	4	10	42	IIIB	Regular B
67.70	67.85	VULC	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
67.85	68.90	VULC	Mod	R3	<25	4	3	5	2	2	2	1	3	10	32	IVA	Mala A
68.90	69.20	Falla	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	1	10	20	V	Muy Mala
69.20	70.60	VULC	Mod	R2	30	2	8	5	1	1	1	1	2	10	31	IVA	Mala A
70.60	72.00	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	1	1	1	2	10	26	IVB	Mala B
72.00	72.70	Falla	Muy	R1	<25	1	3	5	0	0	0	0	0	10	19	V	Muy Mala
72.70	73.55	VULC	Muy	R2	30	2	8	5	0	1	1	1	0	10	28	IVB	Mala B

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO									
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAX.	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1			
TOBA	Toba		Se desconcha con difícil. c/ cuchilla.	5 - 25 (MPa)	R Q D (%)	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2			
MIN	Mineral	R2	Marcas no profundas con la picota.	25 - 50 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.8-2 (15)	0.2-0.8 (10)	0.08-0.2 (8)	< 0,06 (5)	3			
CONG	Conglomerado		No se raya ni desconcha c/ cuchillo.	25 - 50 (MPa)	COND.	Persistencia	<1m long. (8)	1-3 m Lon. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A		
VULC	Vulcanoclasto	R3	Se rompe con golpe firme de picota.	50 - 100 (MPa)	DE	Apertura	Cerrada (8)	<1mm aper. (5)	0.1-1. mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B		
CLZA	Caliza		La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	100 - 250 (MPa)	Rugosidad	Muy rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo falla (0)	4C			
Abrev. grado de alteración		R4	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 MPa	JUNTAS	Relleno	Limpia (8)	Duro<5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 m (1)	Suave>5 mm (0)	4D		
San	Sano				Alteración	Sana (8)	Lig. Altera (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E			
Lig	Ligero	R5	Solo se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5			
Mod	Moderado				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
Muy	Muy alterado	R6			DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	III Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		

SONDAJE	COORDENADAS	N :	8'809,855.70	E :	381,116.33	Cota :	4,241.59	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página
CM15-628-10	ORIENTACION	Azmut :	087.7°	Inclinación :	-89.5°	Longitud:	61.50 m	Fecha:	Jun-2011	1 de 1	7

Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción	
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)				Agua (5)	RMR Total			
									Per	Ap	Rug	Rel	Alt				
0.00	1.90	CLZA	Mod	R3	35	4	8	6	2	3	3	1	3	10	40	IVA	Mala A
1.90	4.30	TOBA	San	R4	75	7	13	10	2	4	3	2	5	10	56	IIIA	Regular A
4.30	7.70	ZOMI	Lig	R3	80	4	17	10	2	2	3	4	5	10	57	IIIA	Regular A
7.70	23.80	CLZA	San	R4	75	7	13	10	2	3	3	3	5	10	56	IIIA	Regular A
23.80	31.30	CLZA	Mod	R3	40	4	6	8	2	2	3	1	4	10	42	IIIB	Regular B
31.30	34.50	CLZA	San	R4	60	7	17	9	2	4	3	4	5	10	61	II	Buena
34.50	36.50	VULC	Mod	R3	30	4	8	5	2	2	3	1	4	10	39	IVA	Mala A
36.50	61.50	VULC	Lig	R4	78	7	17	10	2	5	3	1	5	10	60	IIIA	Regular A

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO									
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAIX.	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1			
TOBA	Toba				R Q D (%)	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2			
MIN	Mineral	R2	Se desconcha con difícil. c/ cuchilla. Marcas no profundas con la picota.	5 - 25 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3			
CONG	Conglomerado				Persistencia	<1m long. (8)	1-3 m Lon. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A			
VULC	Vulcanoclasto	R3	No se raya ni desconcha c/ cuchillo. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (MPa)	COND. DE	Cerrada (8)	<1mm aper. (5)	0.1-1. mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B			
CLZA	Caliza				Rugosidad	Muy rugosa (8)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo falla (0)	4C			
Abrev. grado de alteración		R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (MPa)	JUNTAS	Relleno	Limpia (8)	Duro<5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 m (1)	Suave>5 mm (0)	4D		
San	Sano				Alteración	Sana (8)	Lig. Altere (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E			
Lig	Ligero	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5			
Mod	Moderado				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0		
Muy	Muy alterado	R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 MPa	DESCRIPCION	I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala		

SONDAJE		COORDENADAS	N :	8'809,855.00	E :	361,191.00	Cota :	4,241.00	Realiz:	JFF / EBR	Hoja	Página				
CM13-628-10		ORIENTACION	Azimut :	000°	Inclinación :	-90°	Longitud:	58.65 m	Fecha:	Jun-2011	1 de 1	8				
Intervalo de Profundidad		Tipo de Roca	Grado de Alteración	Resisten. Compre. (MPa)	RQD (%)	Parámetros del RMR										Descripción
Desde (m)	Hasta (m)					RC (1)	RQD (2)	Esp. (3)	Condición de juntas (4)					Agua (5)	RMR Total	
						Per	Ap	Rug	Rel	Alt						
0.00	4.50	CLZA	Lig	R4	75	7	13	8	2	4	3	4	5	10	56	IIIA Regular A
4.50	9.25	TOBA	Mod	R2	60	2	13	8	2	4	2	1	4	10	46	IIIB Regular B
9.25	11.85	ZOMI	San	R4	90	7	17	10	2	4	3	4	5	10	62	II Buena
11.85	25.50	CLZA	San	R4	65	7	17	6	2	4	3	4	5	10	60	IIIA Regular A
25.50	31.00	CLZA	Mod	R3	50	4	8	8	2	3	3	2	4	10	44	IIIB Regular B
31.00	34.50	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	1	1	1	2	10	26	IVB Mala B
34.50	38.55	VULC	Mod	R3	40	4	8	8	1	2	3	2	4	10	42	IIIB Regular B
38.55	39.70	BX	Mod	R2	50	2	8	8	2	3	3	1	3	10	40	IVA Mala A
39.70	42.40	VULC	Lig	R4	75	7	13	8	2	4	3	4	5	10	56	IIIA Regular A
42.40	48.45	VULC	Mod	R2	30	2	8	5	1	2	2	1	3	10	34	IVA Mala A
48.45	58.65	VULC	Muy	R2	<25	2	3	5	1	0	1	0	1	10	23	IVB Mala B

Abreviación tipo de roca		Resistencia de la roca intacta			VALORACION DEL MACIZO ROCOSO												
BX	Brecha	R1	Deleznable con golpes firmes, se desconcha con una cuchilla	1 - 5 (MPa)	R. COMPRESIVA UNIAX.		>250	(15)	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	
TOBA	Toba				R Q D (%)		90-100	(20)	75-90	(17)	50-75	(13)	25-50	(8)	<25	(3)	2
ZOMI	Zona kineralizada	R2	Se desconcha con dificul. c/ cuchilla. Mercas no profundas con la picota.	5 - 25 (MPa)	ESPACIAMIENTO (m)		>2	(20)	0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	0.06-0.2	(8)	< 0.06	(5)	3
CONG	Conglomerado				R3	No se raya ni desconcha c/ cuchillo. Se rompe con golpe firme de picota.	25 - 50 (MPa)	COND. DE	Persistencia	<1m long.	(8)	1-3 m Lon.	(4)	3-10 m	(2)	10-20 m	(1)
VULC	Vulcanoclasto	Apertura	Cerrada	(8)					<1mm aper.	(5)	0.1-1.mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B
CLZA	Caliza	R4	La muestra se rompe con más de un golpe de la picota.	50 - 100 (MPa)	JUNTAS	Rugosidad	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo falla	(0)	4C
Abrev. grado de alteración						Relleno	Limpie	(8)	Duro<5mm	(4)	Duro> 5mm	(2)	Suave < 5 m	(1)	Suave>5 mm	(0)	4D
San	Seno	R5	Se requiere varios golpes de la picota para romper la muestra.	100 - 250 (MPa)	AGUA SUBTERRANEA	Alteración	Sana	(8)	Lig. Altera	(5)	Mod.Alterada	(3)	Muy Alterada	(2)	Descompuesta	(0)	4E
Lig	Ligero					Seco	(15)	Húmedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	
Mod	Moderado	R6	Solo se rompe esquirlas c/ la picota.	>250 MPa	DESCRIPCION	RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 51	50 - 41	40 - 31	30 - 21	20 - 0				
Muy	Muy alterado					I Muy Buena	II Buena	IIIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala					

ANEXO 3

RESULTADOS DE ENSAYOS DE

LMR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

Lima, 15 de Noviembre del 2011

Carta N° 192/11/LMR/UNI

Señores
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.
Presente.-

De nuestra consideración

Sírvanse encontrar adjunto los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Rocas correspondientes al proyecto **“Zona de Brechas – Mina Marcapunta Norte”**, ubicado en el distrito Colquijirca, departamento Pasco.

Atentamente



Ing. Elvis Valencia Chavez
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas
Universidad Nacional de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

INFORME N° 192/11/LMR/UNI

***ENSAYOS DE CORTE DIRECTO
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL
ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS
ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL
ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA***

Solicitado por:
SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

Muestra:
Testigos rocosos

Fecha:
Noviembre-2011

ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Se ha ensayado 3 testigos por cada muestra entregada. Los testigos se realizaron según la norma ASTM 2664-95.

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra -Profundidad</i>	<i>Diámetro (cm.)</i>	<i>Altura (cm.)</i>	<i>Carga (Kg.)</i>	<i>Confin. (MPa)</i>	<i>Resistencia (MPa)</i>
<i>TG3-11 111.70</i>	<i>6.08</i>	<i>11.91</i>	<i>13841.6</i>	<i>2</i>	<i>46.60</i>
<i>TG3-11 102.35</i>	<i>6.08</i>	<i>12.06</i>	<i>13800.7</i>	<i>2</i>	<i>46.53</i>
<i>TG3-11 122.00</i>	<i>6.08</i>	<i>11.95</i>	<i>15538.5</i>	<i>4</i>	<i>52.33</i>
<i>TG3-11 102.60</i>	<i>6.08</i>	<i>11.90</i>	<i>16192.8</i>	<i>4</i>	<i>54.51</i>
<i>TG3-11 122.57</i>	<i>6.08</i>	<i>11.90</i>	<i>19740.1</i>	<i>6</i>	<i>66.45</i>
<i>TG3-11 101.00</i>	<i>6.08</i>	<i>11.94</i>	<i>18830.3</i>	<i>6</i>	<i>63.41</i>
<i>TG3-11 103.35</i>	<i>6.08</i>	<i>12.00</i>	<i>18687.1</i>	<i>8</i>	<i>62.97</i>
<i>TG3-11 112.57</i>	<i>6.08</i>	<i>11.98</i>	<i>22060.6</i>	<i>8</i>	<i>74.32</i>
<i>TG3-11 121.55</i>	<i>6.08</i>	<i>11.90</i>	<i>22541.1</i>	<i>10</i>	<i>75.88</i>
<i>TG3-11 111.03</i>	<i>6.08</i>	<i>11.92</i>	<i>20097.9</i>	<i>10</i>	<i>67.67</i>
<i>TG3-4-11B 96.84</i>	<i>6.11</i>	<i>12.04</i>	<i>15507.9</i>	<i>2</i>	<i>51.74</i>
<i>TG3-4-11B 96.84</i>	<i>6.11</i>	<i>11.97</i>	<i>18850.7</i>	<i>2</i>	<i>62.84</i>
<i>TG3-4-11B 100.24</i>	<i>6.11</i>	<i>11.88</i>	<i>26436.0</i>	<i>4</i>	<i>88.04</i>
<i>TG3-4-11B 100.24</i>	<i>6.11</i>	<i>12.08</i>	<i>25485.3</i>	<i>4</i>	<i>85.06</i>
<i>TG3-4-11B 101.00</i>	<i>6.11</i>	<i>11.87</i>	<i>38417.0</i>	<i>6</i>	<i>127.93</i>
<i>TG3-4-11B 100.24</i>	<i>6.11</i>	<i>11.98</i>	<i>35237.7</i>	<i>6</i>	<i>117.48</i>
<i>TG3-4-11B 101.00</i>	<i>6.11</i>	<i>11.92</i>	<i>41504.3</i>	<i>8</i>	<i>138.29</i>
<i>TG3-4-11B 100.24</i>	<i>6.11</i>	<i>12.01</i>	<i>34593.7</i>	<i>8</i>	<i>115.37</i>
<i>TG3-4-11B 95.00</i>	<i>6.11</i>	<i>11.86</i>	<i>43743.1</i>	<i>10</i>	<i>145.65</i>
<i>TG3-4-11B 96.66</i>	<i>6.11</i>	<i>11.96</i>	<i>42127.9</i>	<i>10</i>	<i>140.42</i>





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

Muestra -Profundidad	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (Kg.)	Confin. (MPa)	Resistencia (MPa)
TG1-11 26.55	5.96	12.10	22571.8	2	79.44
TG1-11 28.20	5.67	11.95	13913.1	2	54.35
TG1-11 29.04	5.96	12.13	11296.1	4	39.77
TG1-11 29.04	5.96	12.09	17777.3	4	62.56
TG1-11 29.93	5.96	11.96	18687.1	6	65.67
TG1-11 30.45	5.96	11.93	24043.9	6	84.47
TG1-11 30.45	5.97	11.87	19167.6	8	67.06
TG1-11 30.45	5.97	11.98	26599.5	8	93.16
TG1-11 32.12	5.96	11.97	37813.9	10	132.90
TG1-11 32.70	5.96	11.96	19147.2	10	67.29
TG3-4-11C 15.40	6.07	12.08	27795.6	2	94.07
TG3-4-11C 15.75	6.07	12.02	22510.4	2	76.14
TG3-4-11C 15.75	6.08	12.11	25475.0	4	85.94
TG3-4-11C 16.13	6.08	11.94	31056.6	4	104.59
TG3-4-11C 17.50	6.07	12.06	39889.1	6	134.97
TG3-4-11C 18.68	6.08	12.02	37261.8	6	125.59
TG3-4-11C 18.68	6.08	11.96	42649.2	8	143.66
TG3-4-11C 19.23	6.08	11.95	41402.0	8	139.44
TG3-4-11C 20.00	6.08	12.00	41933.6	10	141.31
TG3-4-11C 20.00	6.08	12.00	46288.5	10	155.98





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA (Brasileiro)

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D3967

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Diámetro (cm.)</i>	<i>Altura (cm.)</i>	<i>Carga (KN)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (MPa)</i>
TG-01-11	28.20-28.49	5.97	2.87	19.0	7.07
TG-03-11	101.00-101.29	6.08	3.05	10.6	3.65
TG-03-04-11	96.84-97.20	6.11	2.87	6.7	2.44
TG-06-11	91.27-91.58	6.05	2.92	11.7	4.22
TG-03-04-11	18.40-18.68	6.08	3.04	21.4	7.38

ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2216- 02

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Densidad Seca (gr./cm³)</i>	<i>Densidad Húmeda (gr./cm³)</i>	<i>Porosidad Aparente (%)</i>	<i>Absorción (%)</i>	<i>Peso Especifico Aparente (KN/m³)</i>
TG-01-11	28.20-28.49	2.12	2.16	4.17	1.97	20.77
TG-03-11	122.00-122.37	2.35	2.39	3.69	1.57	23.08
TG-03-04-11	101.00-101.33	2.41	2.46	5.32	2.21	23.60
TG-06-11	91.27-91.50	2.50	2.52	1.95	0.78	24.54
TG-03-04-11	18.40-18.68	2.62	2.64	1.67	0.64	25.69





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D5731

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Profundidad</i>	<i>D (cm)</i>	<i>Carga (KN)</i>	<i>I_s(50) (Kg/cm²)</i>	<i>Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)</i>
<i>TG-03-11</i>	<i>110.26-110.56</i>	<i>6.08</i>	<i>3</i>	<i>9.06</i>	<i>21.31</i>
<i>TG-03-04-11</i>	<i>105.15-105.60</i>	<i>6.09</i>	<i>12</i>	<i>36.15</i>	<i>85.01</i>
<i>TG-03-04-11</i>	<i>19.62-20.00</i>	<i>6.00</i>	<i>10</i>	<i>30.82</i>	<i>72.50</i>

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Los ensayos se realizaron sobre discontinuidad con caras paralelas a la dirección de corte, según norma ASTM D5607-95

Los resultados son los siguientes:

<i>Muestra</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Tipo de Discontinuidad</i>	<i>Ángulo de Fricción Residual (°)</i>	<i>Cohesión (MPa)</i>
<i>TG-01-11</i>	<i>28.71-28.88</i>	<i>Simulada</i>	<i>27.80</i>	<i>0.125</i>
<i>TG-03-11</i>	<i>112.33-112.43</i>	<i>Simulada</i>	<i>28.62</i>	<i>0.116</i>
<i>TG-03-04-11</i>	<i>96.84-97.20</i>	<i>Simulada</i>	<i>28.99</i>	<i>0.131</i>
<i>TG-06-11</i>	<i>89.40-89.76</i>	<i>Simulada</i>	<i>28.23</i>	<i>0.124</i>
<i>TG-03-04-11</i>	<i>18.40-18.68</i>	<i>Simulada</i>	<i>26.47</i>	<i>0.112</i>

Nota:

- La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.



Ing. Elvis Valencia Chávez
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas
Universidad Nacional de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

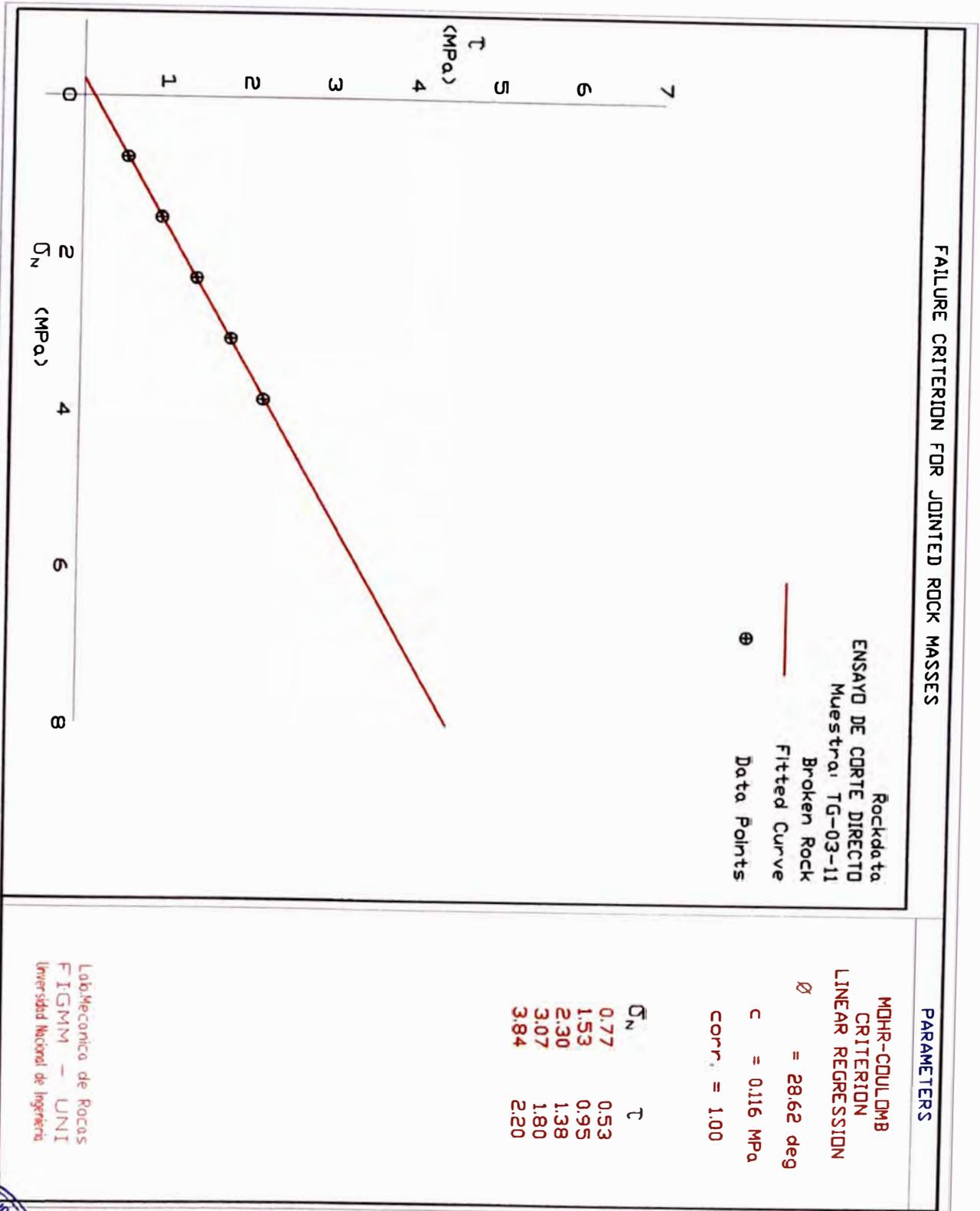
GRAFICOS

CORTE DIRECTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

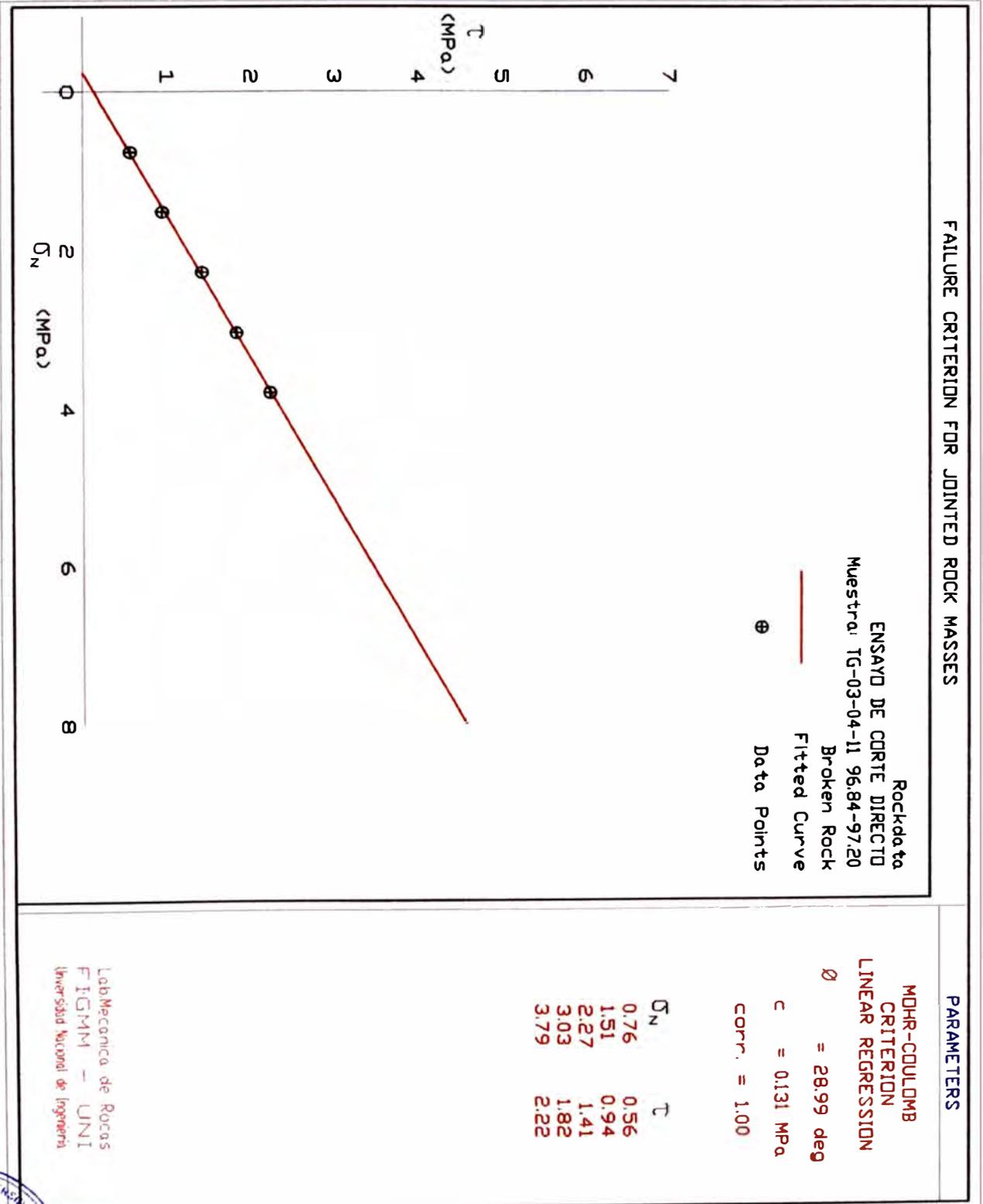
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

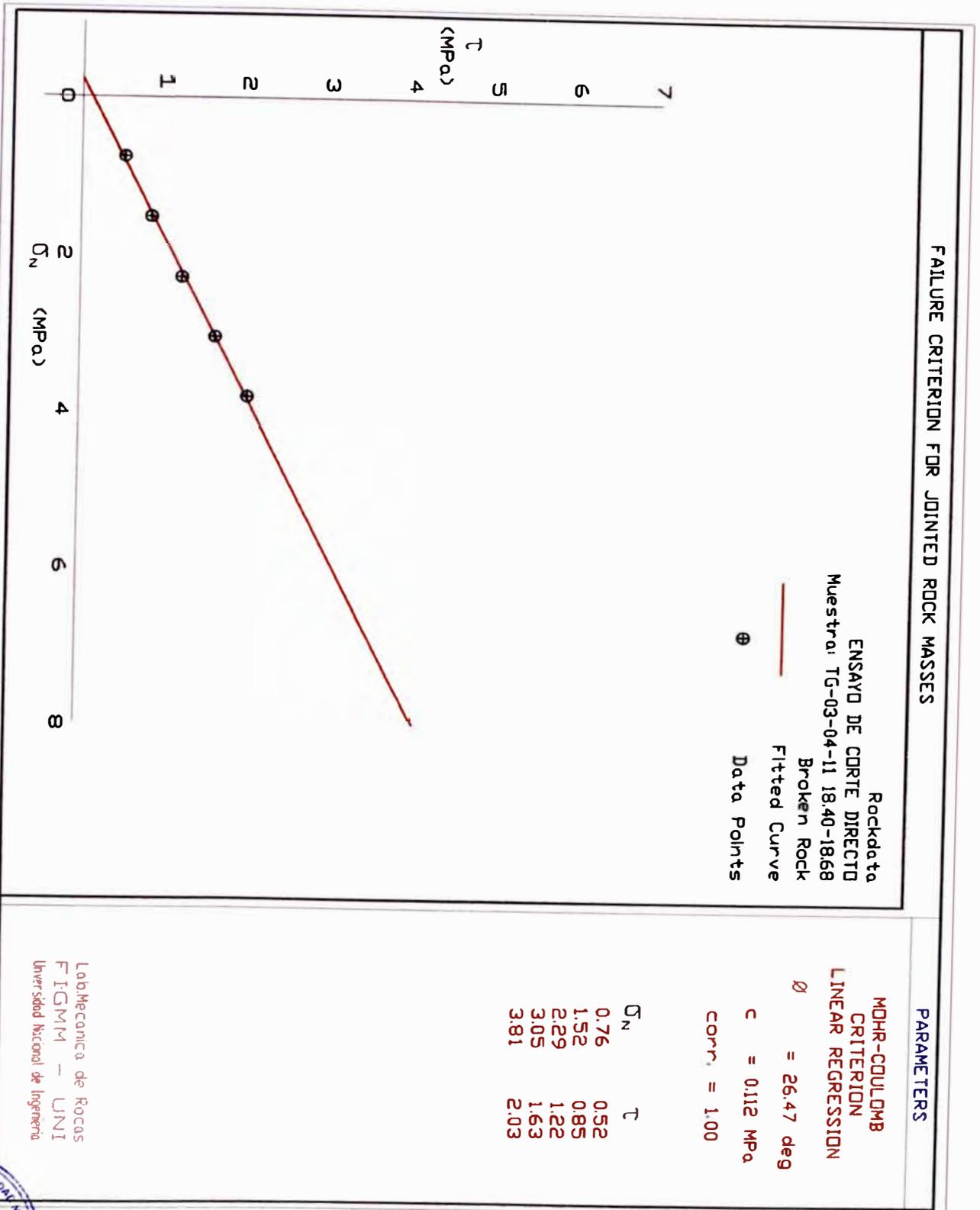
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas



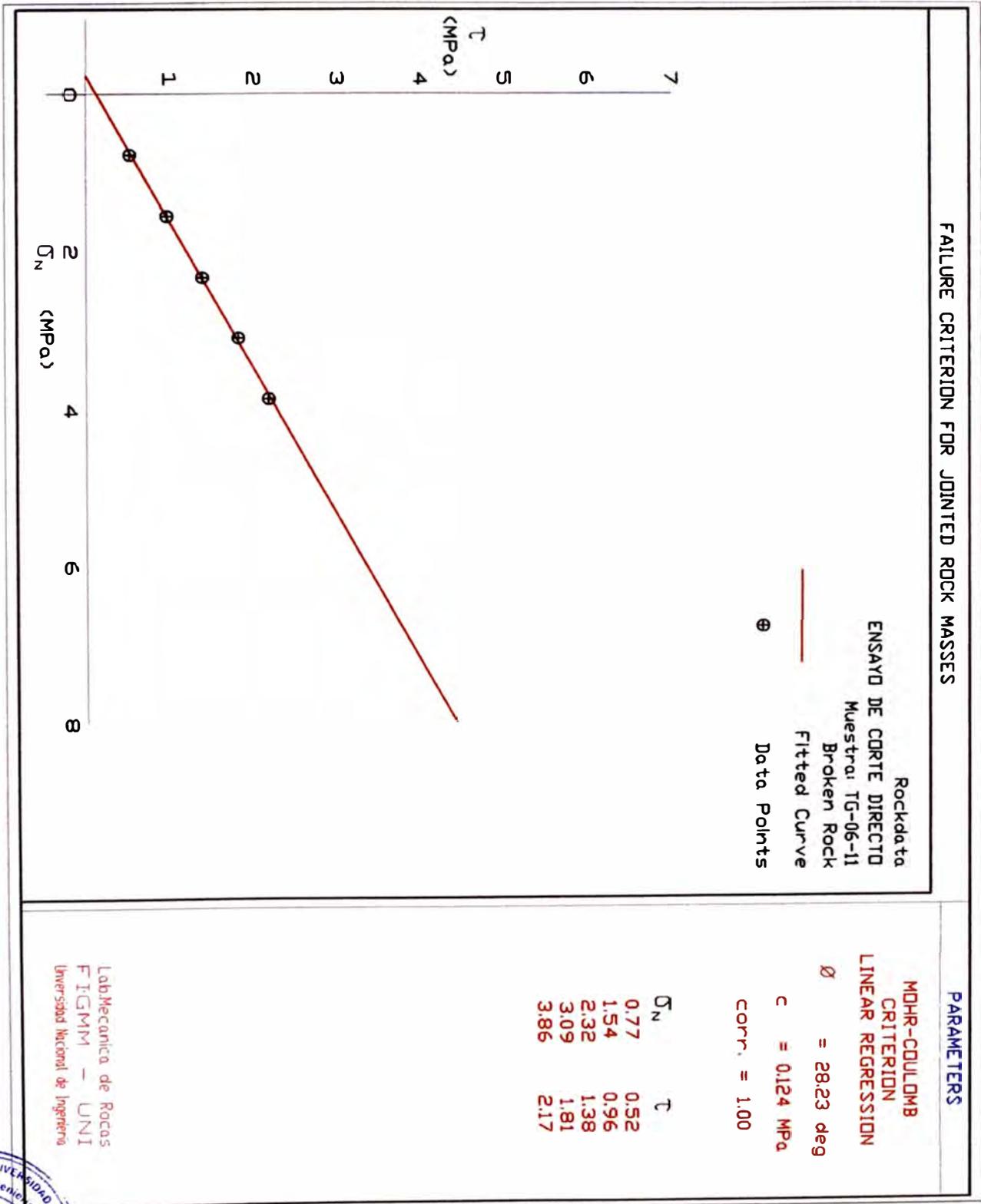
Lab. Mecánica de Rocas
FIGMM - UNI
Universidad Nacional de Ingeniería





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas



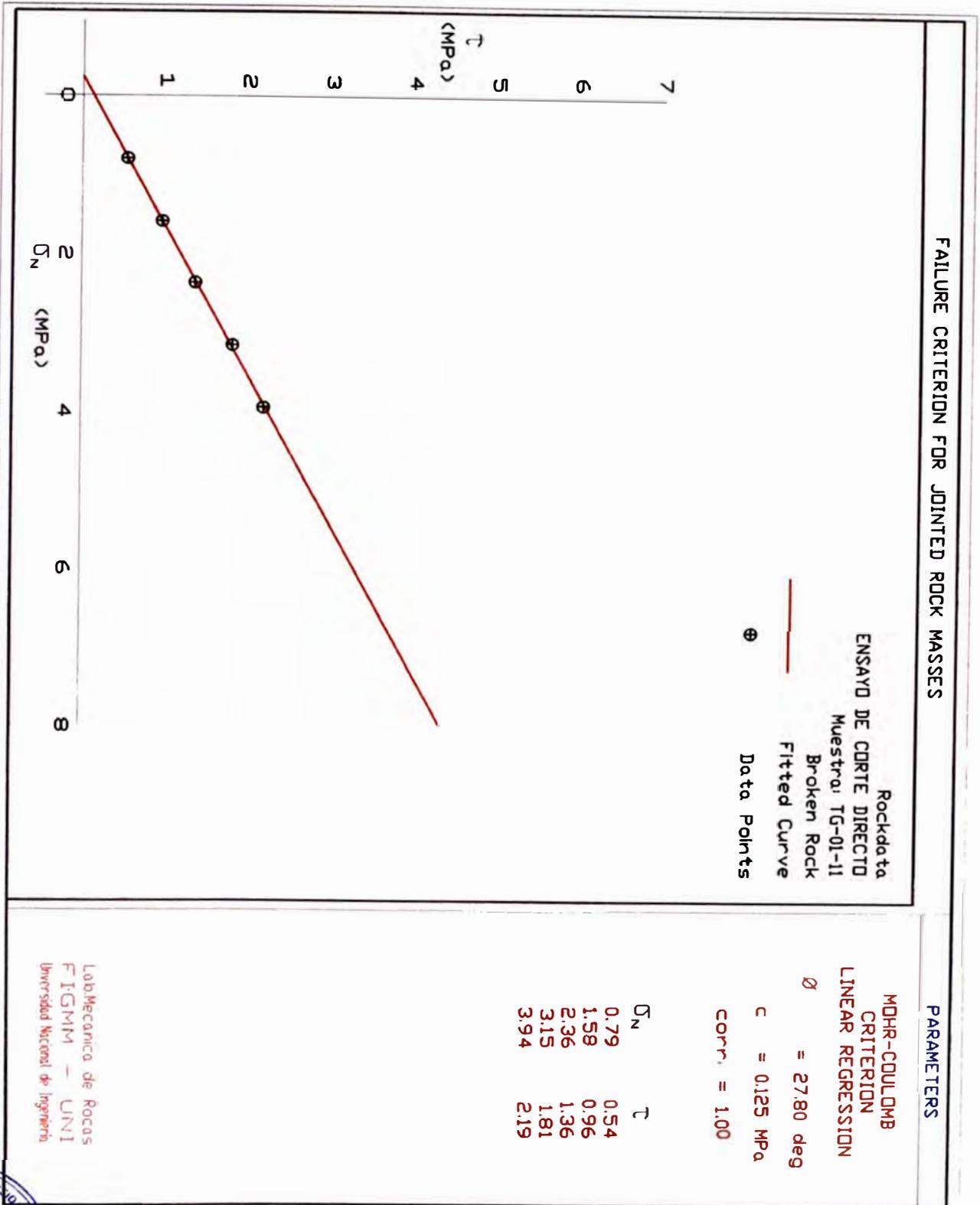
Lab/Mecánica de Rocas
FIGMM - UNI
Universidad Nacional de Ingeniería





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

FOTOS

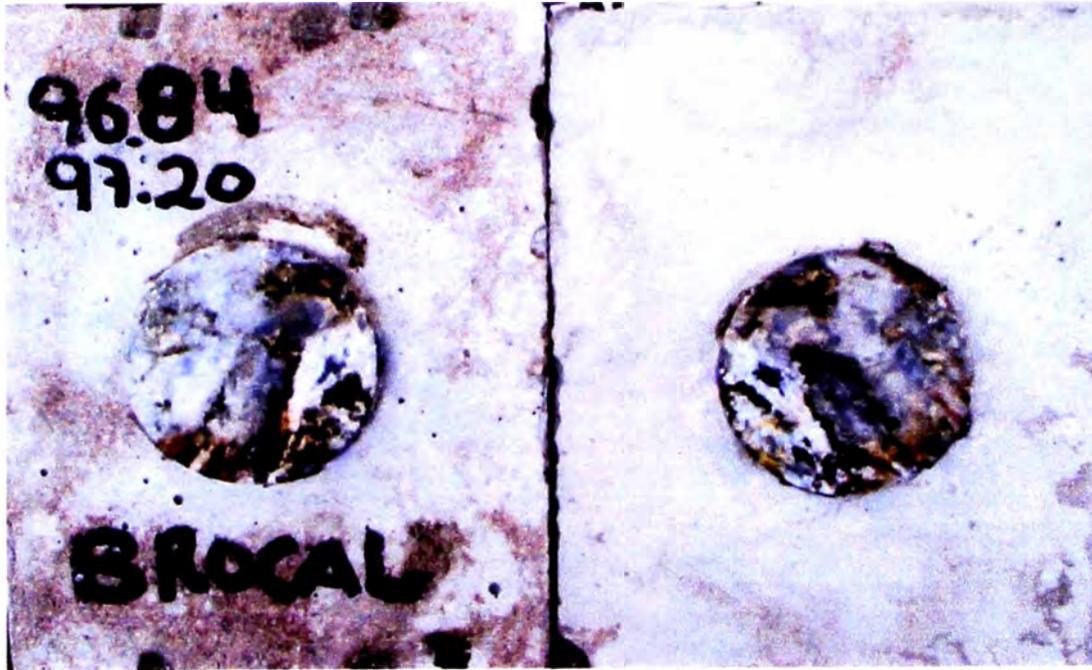
CORTE DIRECTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES

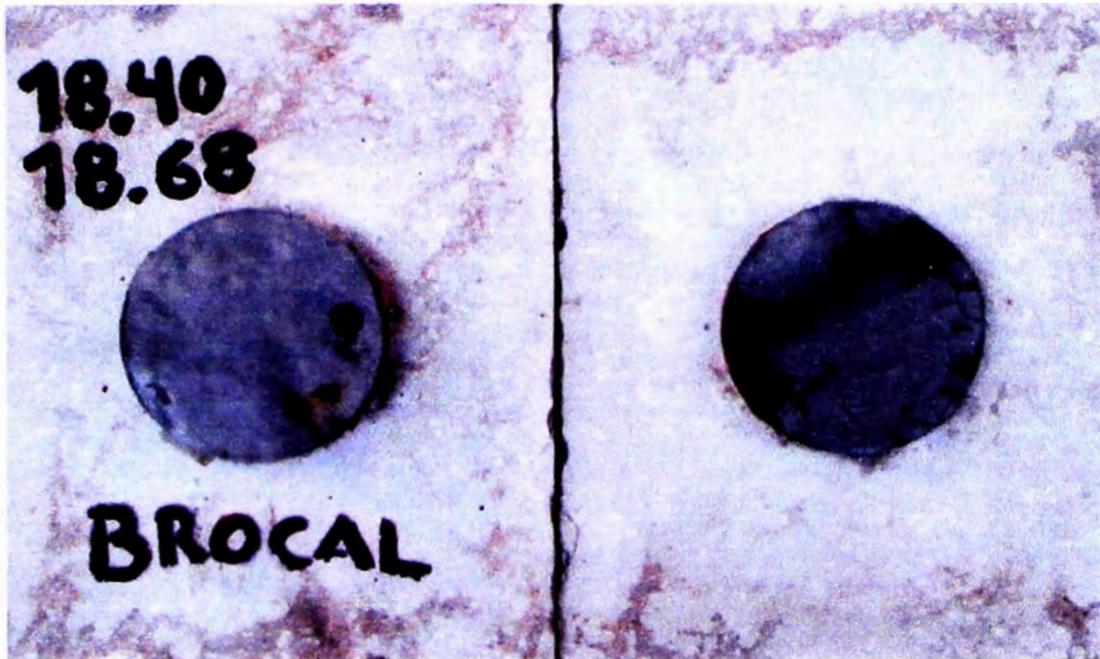




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





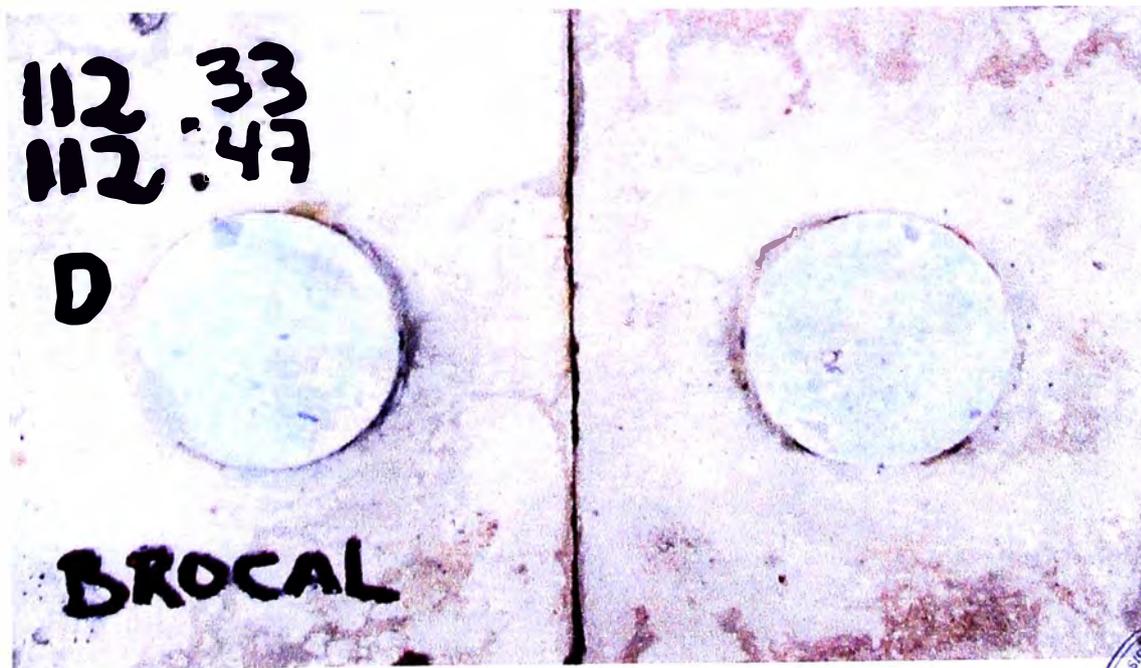
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

FOTOS

COMPRESION TRIAXIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





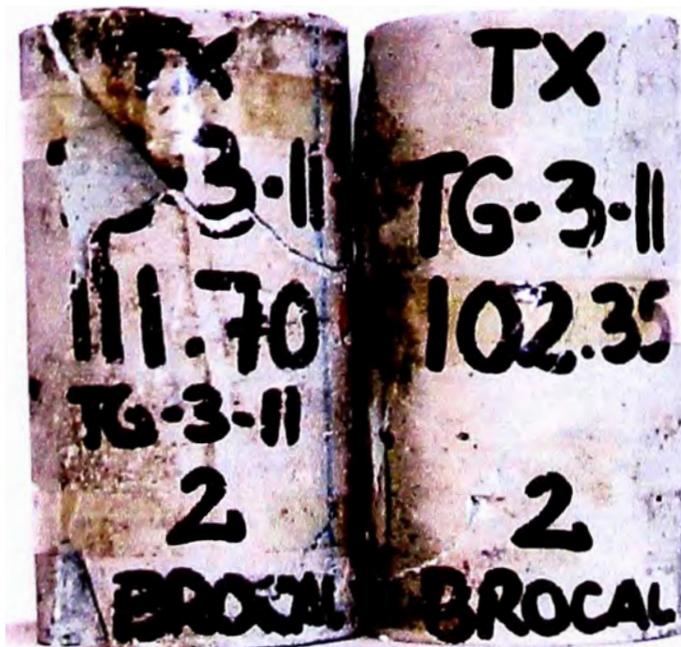
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





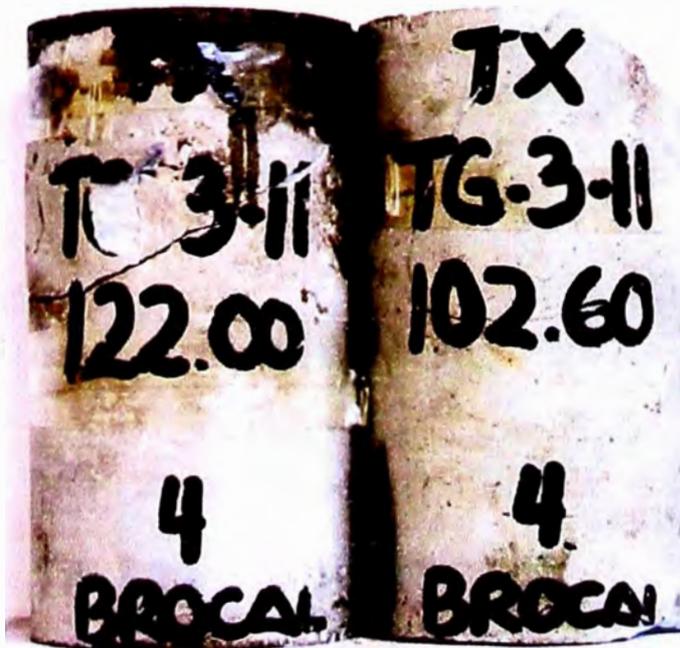
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES

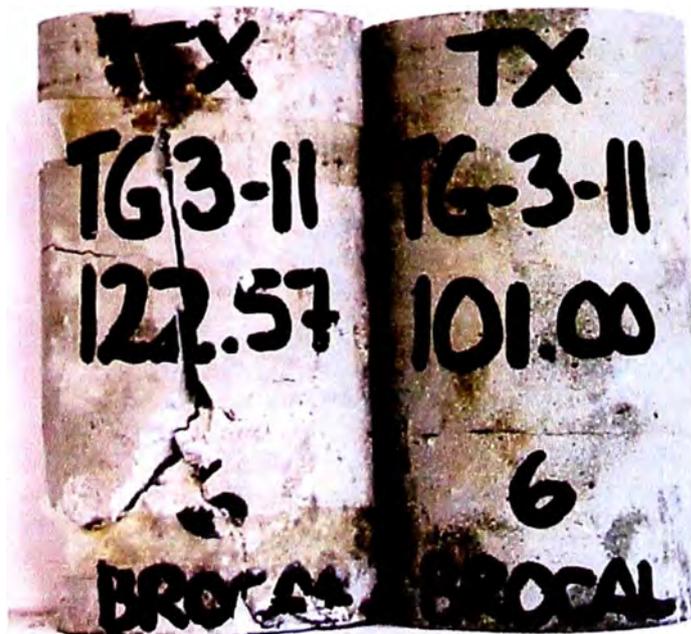




ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





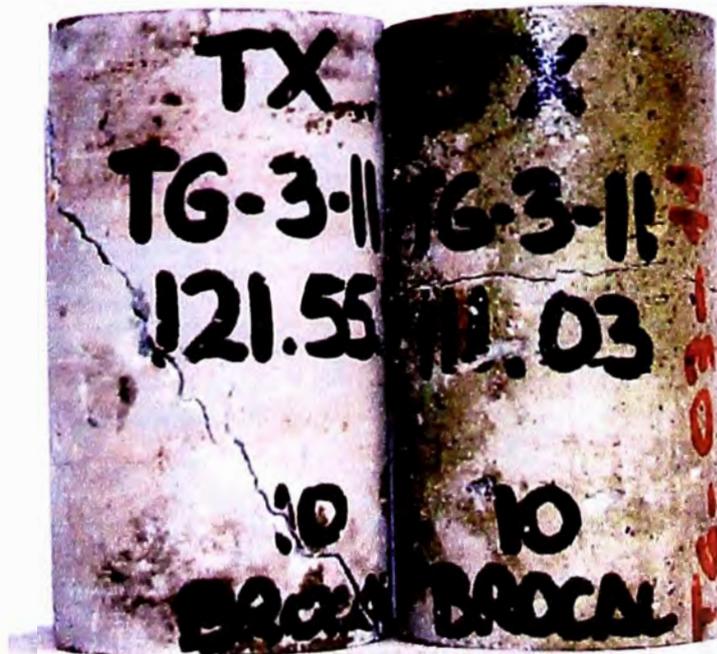
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



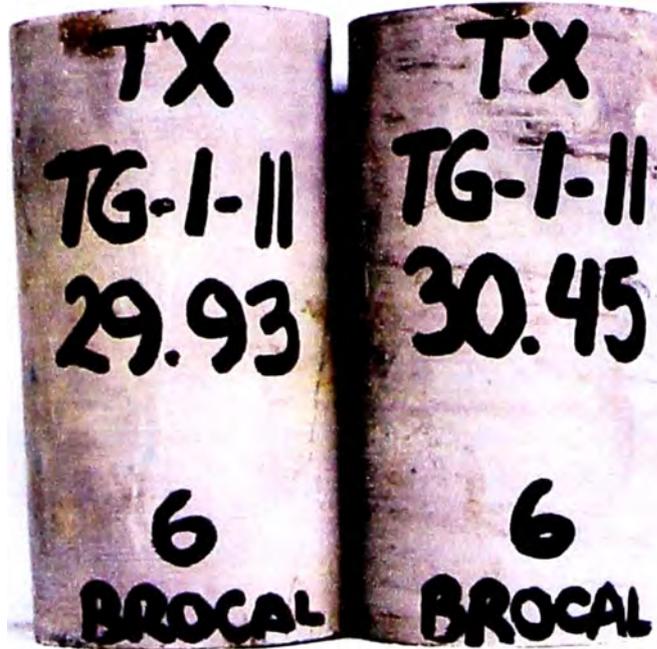
DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES

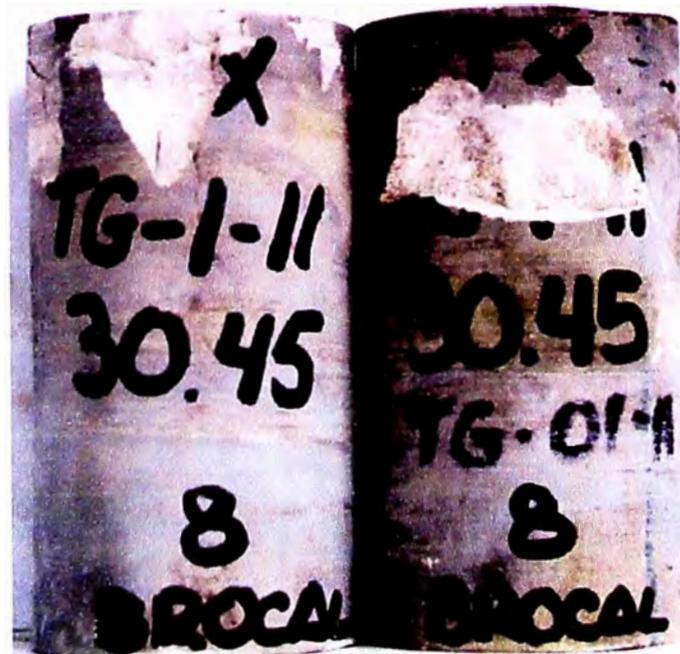




ANTES



DESPUES





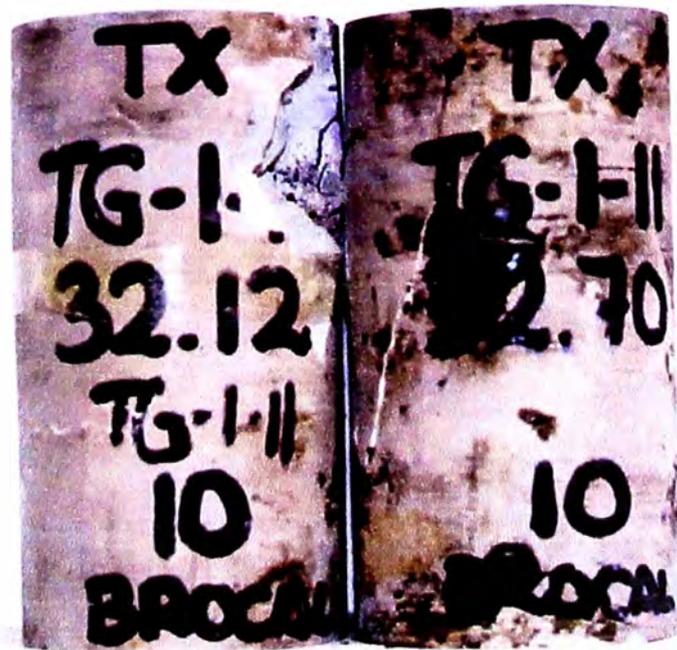
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES

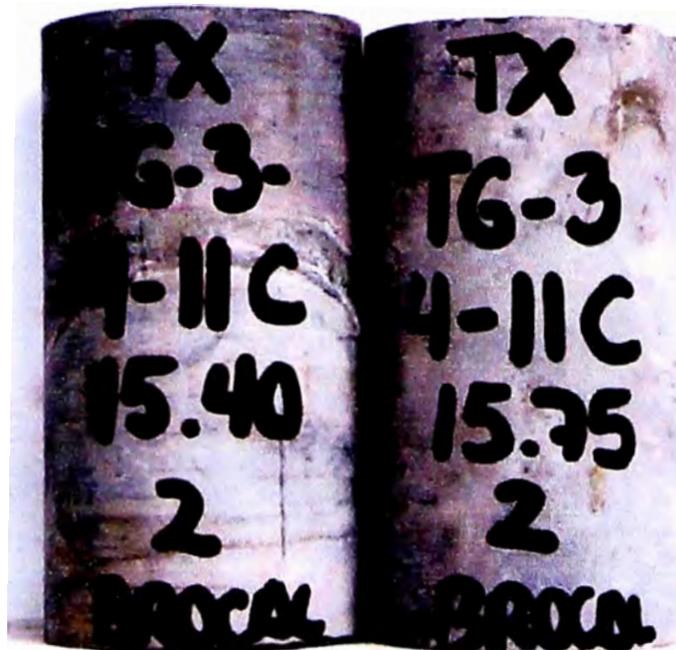


DESPUES

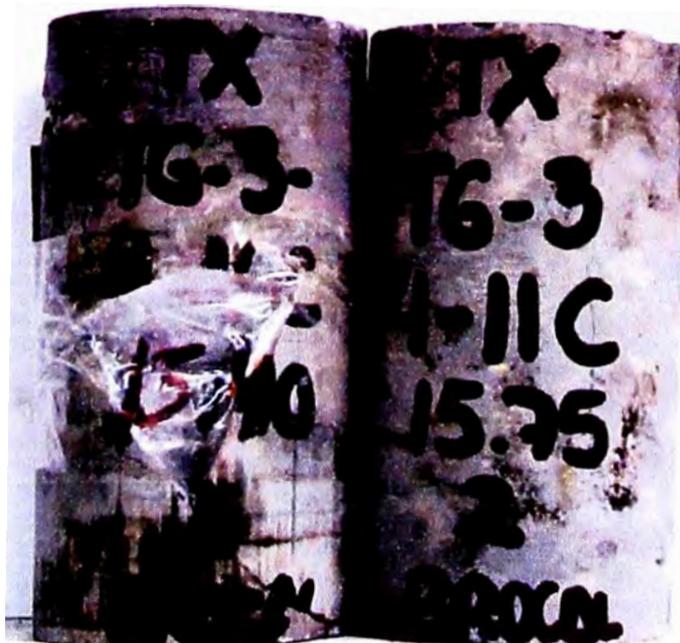




ANTES

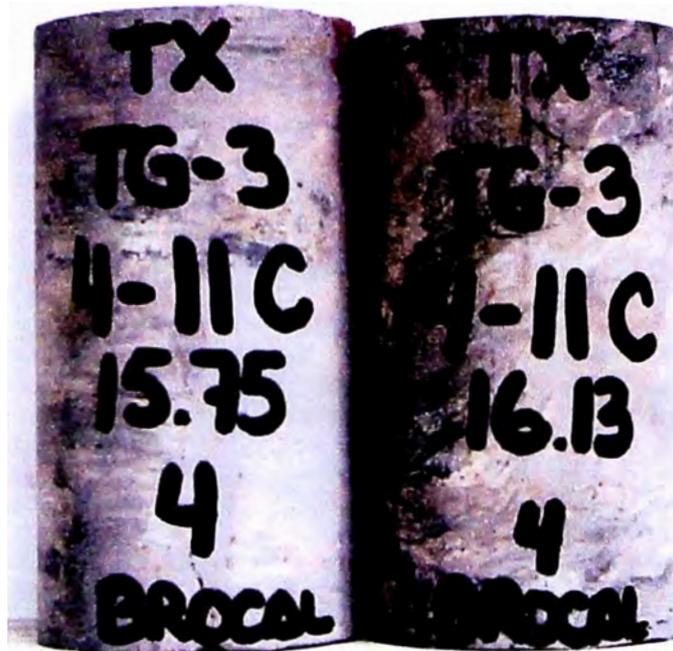


DESPUES

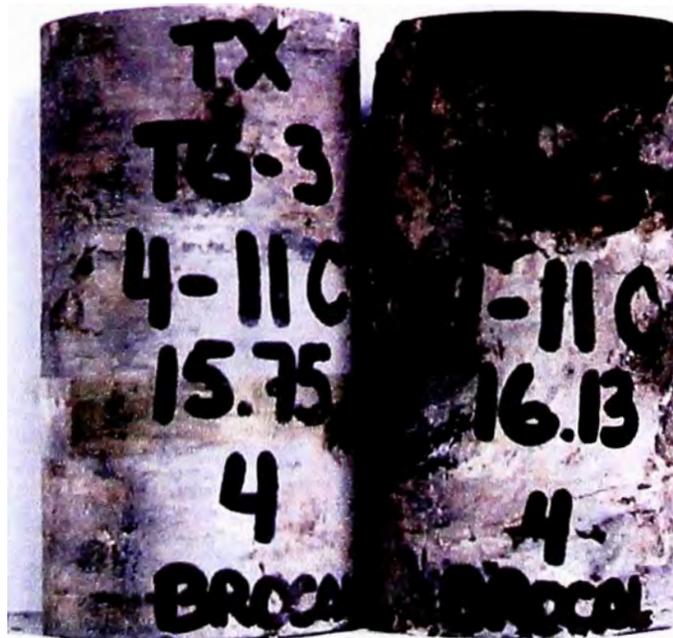




ANTES



DESPUES

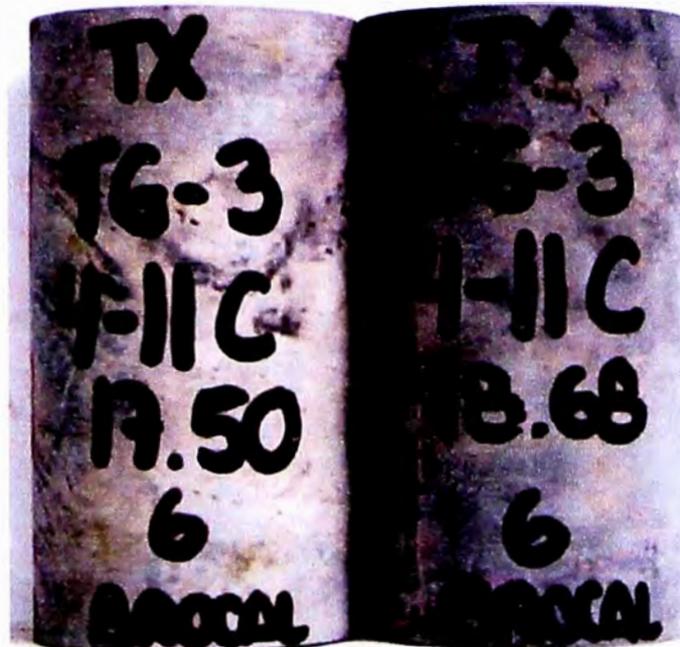




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES





ANTES



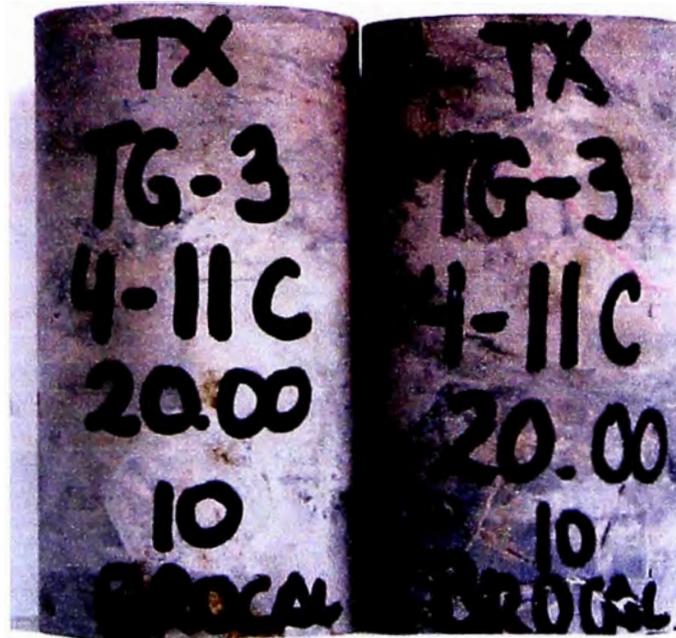
DESPUES



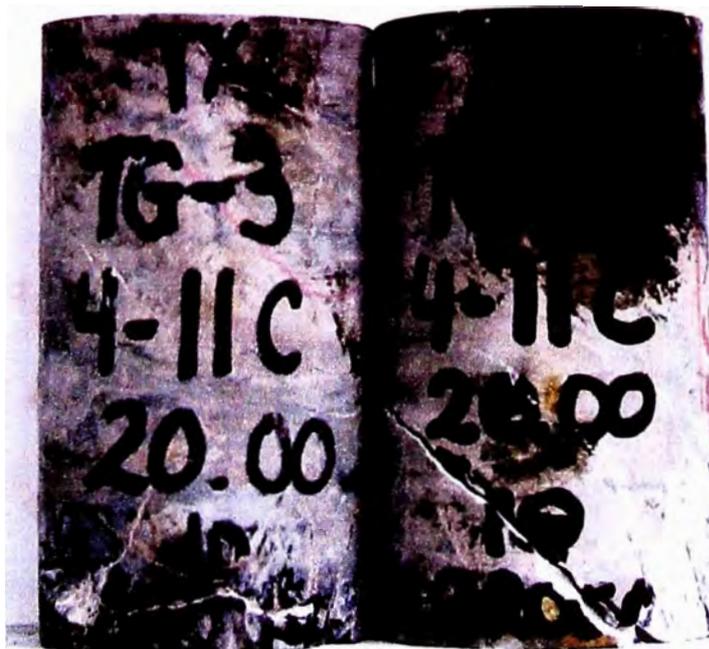


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES



ANEXO 4

ANALYSIS INFORMATION

Phase2 Analysis Information

Document Name

Project8x9x10x11x12 PILAR 3m.fea

Project Settings

General

Project Title: Project1
Number of Stages: 26
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as MPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m³

Field Stress

Field stress: gravity
Ground surface elevation: 2485 m
Unit weight of overburden: 0.03 MN/m³
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1.1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1.1
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 1609
Number of nodes on Stage 1: 850
Number of elements on Stage 2: 1565
Number of nodes on Stage 2: 850
Number of elements on Stage 3: 1521
Number of nodes on Stage 3: 828
Number of elements on Stage 4: 1499
Number of nodes on Stage 4: 828
Number of elements on Stage 5: 1477
Number of nodes on Stage 5: 828
Number of elements on Stage 6: 1455
Number of nodes on Stage 6: 828
Number of elements on Stage 7: 1433
Number of nodes on Stage 7: 828
Number of elements on Stage 8: 1411
Number of nodes on Stage 8: 828
Number of elements on Stage 9: 1367
Number of nodes on Stage 9: 823

Number of elements on Stage 10: 1585
Number of nodes on Stage 10: 850
Number of elements on Stage 11: 1561
Number of nodes on Stage 11: 838
Number of elements on Stage 12: 1549
Number of nodes on Stage 12: 838
Number of elements on Stage 13: 1537
Number of nodes on Stage 13: 838
Number of elements on Stage 14: 1525
Number of nodes on Stage 14: 838
Number of elements on Stage 15: 1513
Number of nodes on Stage 15: 838
Number of elements on Stage 16: 1501
Number of nodes on Stage 16: 838
Number of elements on Stage 17: 1479
Number of nodes on Stage 17: 836
Number of elements on Stage 18: 1621
Number of nodes on Stage 18: 850
Number of elements on Stage 19: 1601
Number of nodes on Stage 19: 850
Number of elements on Stage 20: 1581
Number of nodes on Stage 20: 840
Number of elements on Stage 21: 1571
Number of nodes on Stage 21: 840
Number of elements on Stage 22: 1561
Number of nodes on Stage 22: 840
Number of elements on Stage 23: 1551
Number of nodes on Stage 23: 840
Number of elements on Stage 24: 1541
Number of nodes on Stage 24: 840
Number of elements on Stage 25: 1531
Number of nodes on Stage 25: 840
Number of elements on Stage 26: 1509
Number of nodes on Stage 26: 837

Mesh Quality

316 of 1675 Elements (18.9 % of elements) are poor quality elements

2 of 1675 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

300 of 1675 Elements (17.9 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

86 of 1675 Elements (5.1 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

(elements can be of poor quality for more than one reason)

Mesh Quality Statistics

The worst element has (ratio = 18.79), (min angle = 2.08) (max angle = 170.08)

10.0% of elements have: (ratios > 4.1), (min angles < 14.0) (max angles > 108.4)

20.0% of elements have: (ratios > 2.6), (min angles < 20.2) (max angles > 94.9)

30.0% of elements have: (ratios > 2.2), (min angles < 26.6) (max angles > 90.0)

40.0% of elements have: (ratios > 1.9), (min angles < 29.9) (max angles > 90.0)

50.0% of elements have: (ratios > 1.8), (min angles < 33.7) (max angles > 90.0)

60.0% of elements have: (ratios > 1.7), (min angles < 35.9) (max angles > 87.2)

70.0% of elements have: (ratios > 1.6), (min angles < 38.9) (max angles > 82.9)

80.0% of elements have: (ratios > 1.5), (min angles < 42.9) (max angles > 78.5)

90.0% of elements have: (ratios > 1.3), (min angles < 46.5) (max angles > 73.8)
100.0% of elements have: (ratios > 1.2), (min angles < 51.1) (max angles > 68.8)

Poor quality elements are those with:
(maximum side length) / (minimum side length) > 10.00
Minimum interior angle < 20.0 degrees
Maximum interior angle > 120.0 degrees

Material Properties

Material: Conglomerados

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 3117 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 50 MPa
mb parameter: 2.454
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Calizas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.026 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 5177 MPa
Poisson's ratio: 0.026
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.944
s parameter: 0.0009
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Depositos Vulcanocl

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 2493 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.981
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Limoarcillitas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic

Young's modulus: 182 MPa
Poisson's ratio: 0.29
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 15 MPa
mb parameter: 0.184
s parameter: 0.001
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Areniscas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 758 MPa
Poisson's ratio: 0.025
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 30 MPa
mb parameter: 1.126
s parameter: 0.006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Relleno

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 100 MPa
Poisson's ratio: 0.2
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 MPa
Peak friction angle: 30 degrees
Peak cohesion: 0 MPa
Material type: Elastic
Piezo to use: None
Ru value: 0

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Area of All Excavations: 2350.371 m²
External Boundary Area: 96039.337 m²
External Boundary Perimeter: 1232.225 m
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Area: 16.000 m²
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Area: 31.771 m²
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Perimeter: 22.590 m
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Area: 112.413 m²
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Perimeter: 42.420 m
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Area: 154.542 m²
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Perimeter: 50.291 m
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Area: 135.520 m²
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Perimeter: 47.002 m
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Area: 110.759 m²
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Perimeter: 42.124 m

Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Area: 106.679 m2
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Perimeter: 41.352 m
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Area: 66.908 m2
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Perimeter: 33.399 m
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Area: 26.139 m2
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Perimeter: 21.095 m
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Area: 93.318 m2
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Perimeter: 39.296 m
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Area: 165.041 m2
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Perimeter: 51.419 m
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Area: 84.065 m2
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Perimeter: 38.242 m
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Area: 88.836 m2
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Perimeter: 37.709 m
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Area: 57.956 m2
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Perimeter: 31.223 m
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Area: 170.069 m2
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Perimeter: 52.378 m
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Area: 187.516 m2
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Perimeter: 55.026 m
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Area: 165.608 m2
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Perimeter: 51.593 m
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Area: 85.663 m2
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Perimeter: 38.105 m
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Area: 71.750 m2
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Perimeter: 34.929 m
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Area: 169.815 m2
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Perimeter: 52.536 m
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4554.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4554.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4565.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4565.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4576.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4576.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4587.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4587.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4598.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4598.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4609.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4609.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4620.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4620.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4631.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4631.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4642.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4642.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m

Stage 1

External Boundary Area: 96141.641 m² (102.304 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1234.310 m (2.08472 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: -4.35269 %
Excavation (with centroid: 4525.186, 2314.911) Area: 15.975 m² (-0.0246268 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4525.186, 2314.911) Perimeter: 15.988 m (-0.0123091 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4596.898, 2403.094) Area: 31.751 m² (-0.0203073 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4596.898, 2403.094) Perimeter: 22.583 m (-0.0074962 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4490.925, 2400.926) Area: 112.354 m² (-0.0587955 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4490.925, 2400.926) Perimeter: 42.409 m (-0.0113468 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.797, 2398.226) Area: 154.435 m² (-0.107736 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4505.797, 2398.226) Perimeter: 50.272 m (-0.0195538 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4535.692, 2398.259) Area: 135.412 m² (-0.107903 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.692, 2398.259) Perimeter: 46.982 m (-0.0201843 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4550.764, 2400.339) Area: 110.670 m² (-0.0890838 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.764, 2400.339) Perimeter: 42.107 m (-0.0172873 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4565.799, 2400.899) Area: 106.600 m² (-0.0796812 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4565.799, 2400.899) Perimeter: 41.337 m (-0.0156598 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.899, 2402.807) Area: 66.863 m² (-0.0452401 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4580.899, 2402.807) Perimeter: 33.388 m (-0.011089 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4506.051, 2373.602) Area: 26.116 m² (-0.0223915 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.051, 2373.602) Perimeter: 21.088 m (-0.00739533 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4506.001, 2418.579) Area: 93.269 m² (-0.0493656 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.001, 2418.579) Perimeter: 39.287 m (-0.00910073 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4520.118, 2420.673) Area: 164.930 m² (-0.111396 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4520.118, 2420.673) Perimeter: 51.402 m (-0.0175714 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4535.354, 2418.484) Area: 84.004 m² (-0.0609577 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.354, 2418.484) Perimeter: 38.232 m (-0.0100129 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4550.742, 2419.844) Area: 88.788 m² (-0.047468 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.742, 2419.844) Perimeter: 37.699 m (-0.0101684 m change from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4565.853, 2418.236) Area: 57.920 m² (-0.0366763 m² change from original area)

from original area)

Excavation (with centroid: 4565.853, 2418.236) Perimeter: 31.215 m (-0.00837169 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4580.428, 2421.657) Area: 169.912 m² (-0.15677 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4580.428, 2421.657) Perimeter: 52.354 m (-0.0245358 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4595.646, 2421.638) Area: 187.275 m² (-0.240701 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4595.646, 2421.638) Perimeter: 54.990 m (-0.0360426 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4611.787, 2420.366) Area: 165.374 m² (-0.234154 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4611.787, 2420.366) Perimeter: 51.557 m (-0.0359606 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4625.347, 2418.107) Area: 85.554 m² (-0.109313 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4625.347, 2418.107) Perimeter: 38.082 m (-0.0228691 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4640.365, 2417.896) Area: 71.677 m² (-0.0738709 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4640.365, 2417.896) Perimeter: 34.910 m (-0.0191686 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4520.589, 2398.934) Area: 169.676 m² (-0.139209 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4520.589, 2398.934) Perimeter: 52.513 m (-0.0230779 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4505.769, 2353.388) Area: 29.966 m² (-0.0344888 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4505.769, 2353.388) Perimeter: 21.988 m (-0.0121928 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4523.910, 2353.371) Area: 29.965 m² (-0.0346023 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4523.910, 2353.371) Perimeter: 21.988 m (-0.0123988 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.968, 2353.895) Area: 29.968 m² (-0.0322389 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.968, 2353.895) Perimeter: 21.988 m (-0.011853 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.188, 2314.890) Area: 15.973 m² (-0.0273081 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.188, 2314.890) Perimeter: 15.986 m (-0.0136411 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4554.190, 2314.875) Area: 15.975 m² (-0.0252611 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4554.190, 2314.875) Perimeter: 15.987 m (-0.0126158 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4565.191, 2314.859) Area: 15.975 m² (-0.0249856 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4565.191, 2314.859) Perimeter: 15.988 m (-0.0124766 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4576.193, 2314.844) Area: 15.974 m² (-0.0260964 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4576.193, 2314.844) Perimeter: 15.987 m (-0.0130248 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4587.194, 2314.827) Area: 15.976 m² (-0.0241469 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4587.194, 2314.827) Perimeter: 15.988 m (-0.0120457 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4598.195, 2314.810) Area: 15.974 m² (-0.0258308 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4598.195, 2314.810) Perimeter: 15.987 m (-0.0128853 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4609.195, 2314.794) Area: 15.975 m² (-0.025302 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4609.195, 2314.794) Perimeter: 15.987 m (-0.0126174 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4620.195, 2314.778) Area: 15.975 m² (-0.0246282 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4620.195, 2314.778) Perimeter: 15.988 m (-0.0122806 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4631.193, 2314.762) Area: 15.981 m² (-0.0192667 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4631.193, 2314.762) Perimeter: 15.990 m (-0.00960525 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4642.191, 2314.749) Area: 15.980 m² (-0.020041 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4642.191, 2314.749) Perimeter: 15.990 m (-0.0099964 m change from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 9

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 10

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 11

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 12

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 13

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 14

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 15

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 16

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 17

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 18

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 19

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 20

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 21

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 22

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 23

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 24

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 25

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 26

Values not available until this stage is viewed in a window

Displacements

Displacement data is not available for Stage 1 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 2 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 3 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 4 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 5 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 6 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 7 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 8 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 9 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 10 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 11 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 12 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 13 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 14 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 15 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 16 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 17 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 18 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 19 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 20 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 21 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 22 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 23 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 24 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 25 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 26 until total displacement is viewed in a window

Phase2 Analysis Information

Document Name

Project8x9x10x11x12 PILAR 4m.fea

Project Settings

General

Project Title: Project2
Number of Stages: 26
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as MPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m³

Field Stress

Field stress: gravity
Ground surface elevation: 2485 m
Unit weight of overburden: 0.03 MN/m³
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1.1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1.1
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 1585
 Number of nodes on Stage 1: 838
Number of elements on Stage 2: 1541
 Number of nodes on Stage 2: 838
Number of elements on Stage 3: 1497
 Number of nodes on Stage 3: 816
Number of elements on Stage 4: 1475
 Number of nodes on Stage 4: 816
Number of elements on Stage 5: 1453
 Number of nodes on Stage 5: 816
Number of elements on Stage 6: 1431
 Number of nodes on Stage 6: 816
Number of elements on Stage 7: 1409
 Number of nodes on Stage 7: 816
Number of elements on Stage 8: 1387
 Number of nodes on Stage 8: 816
Number of elements on Stage 9: 1349
 Number of nodes on Stage 9: 812

Number of elements on Stage 10: 1561
Number of nodes on Stage 10: 838
Number of elements on Stage 11: 1537
Number of nodes on Stage 11: 826
Number of elements on Stage 12: 1525
Number of nodes on Stage 12: 826
Number of elements on Stage 13: 1513
Number of nodes on Stage 13: 826
Number of elements on Stage 14: 1501
Number of nodes on Stage 14: 826
Number of elements on Stage 15: 1489
Number of nodes on Stage 15: 826
Number of elements on Stage 16: 1477
Number of nodes on Stage 16: 826
Number of elements on Stage 17: 1455
Number of nodes on Stage 17: 824
Number of elements on Stage 18: 1597
Number of nodes on Stage 18: 838
Number of elements on Stage 19: 1577
Number of nodes on Stage 19: 838
Number of elements on Stage 20: 1557
Number of nodes on Stage 20: 828
Number of elements on Stage 21: 1547
Number of nodes on Stage 21: 828
Number of elements on Stage 22: 1537
Number of nodes on Stage 22: 828
Number of elements on Stage 23: 1527
Number of nodes on Stage 23: 828
Number of elements on Stage 24: 1517
Number of nodes on Stage 24: 828
Number of elements on Stage 25: 1507
Number of nodes on Stage 25: 828
Number of elements on Stage 26: 1485
Number of nodes on Stage 26: 825

Mesh Quality

304 of 1651 Elements (18.4 % of elements) are poor quality elements

3 of 1651 Elements (0.2 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

285 of 1651 Elements (17.3 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

86 of 1651 Elements (5.2 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

(elements can be of poor quality for more than one reason)

Mesh Quality Statistics

The worst element has (ratio = 13.67), (min angle = 3.03) (max angle = 173.25)

10.0% of elements have: (ratios > 4.1), (min angles < 14.0) (max angles > 107.7)

20.0% of elements have: (ratios > 2.6), (min angles < 20.8) (max angles > 95.2)

30.0% of elements have: (ratios > 2.2), (min angles < 26.6) (max angles > 90.0)

40.0% of elements have: (ratios > 2.1), (min angles < 26.6) (max angles > 90.0)

50.0% of elements have: (ratios > 1.8), (min angles < 31.8) (max angles > 90.0)

60.0% of elements have: (ratios > 1.7), (min angles < 36.3) (max angles > 87.9)

70.0% of elements have: (ratios > 1.5), (min angles < 39.8) (max angles > 83.3)

80.0% of elements have: (ratios > 1.4), (min angles < 43.5) (max angles > 78.6)

90.0% of elements have: (ratios > 1.3), (min angles < 45.9) (max angles > 74.0)
100.0% of elements have: (ratios > 1.2), (min angles < 50.8) (max angles > 69.3)

Poor quality elements are those with:
(maximum side length) / (minimum side length) > 10.00
Minimum interior angle < 20.0 degrees
Maximum interior angle > 120.0 degrees

Material Properties

Material: Conglomerados

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 3117 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 50 MPa
mb parameter: 2.454
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Calizas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.026 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 5177 MPa
Poisson's ratio: 0.26
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.944
s parameter: 0.0009
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Depositos Vulcanocli

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 2493 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.981
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Limoarcillitas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic

Young's modulus: 182 MPa
Poisson's ratio: 0.29
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 15 MPa
mb parameter: 0.184
s parameter: 0.001
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Areniscas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 758 MPa
Poisson's ratio: 0.27
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 30 MPa
mb parameter: 1.126
s parameter: 0.006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Relleno

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 100 MPa
Poisson's ratio: 0.2
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 MPa
Peak friction angle: 30 degrees
Peak cohesion: 0 MPa
Material type: Elastic
Piezo to use: None
Ru value: 0

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Area of All Excavations: 2350.371 m²
External Boundary Area: 96039.337 m²
External Boundary Perimeter: 1232.225 m
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Area: 16.000 m²
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Area: 31.771 m²
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Perimeter: 22.590 m
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Area: 112.413 m²
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Perimeter: 42.420 m
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Area: 154.542 m²
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Perimeter: 50.291 m
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Area: 135.520 m²
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Perimeter: 47.002 m
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Area: 110.759 m²
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Perimeter: 42.124 m

Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Area: 106.679 m2
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Perimeter: 41.352 m
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Area: 66.908 m2
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Perimeter: 33.399 m
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Area: 26.139 m2
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Perimeter: 21.095 m
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Area: 93.318 m2
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Perimeter: 39.296 m
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Area: 165.041 m2
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Perimeter: 51.419 m
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Area: 84.065 m2
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Perimeter: 38.242 m
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Area: 88.836 m2
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Perimeter: 37.709 m
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Area: 57.956 m2
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Perimeter: 31.223 m
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Area: 170.069 m2
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Perimeter: 52.378 m
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Area: 187.516 m2
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Perimeter: 55.026 m
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Area: 165.608 m2
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Perimeter: 51.593 m
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Area: 85.663 m2
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Perimeter: 38.105 m
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Area: 71.750 m2
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Perimeter: 34.929 m
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Area: 169.815 m2
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Perimeter: 52.536 m
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4555.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4555.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4567.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4567.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4579.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4579.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4591.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4591.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4603.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4603.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4615.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4615.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4627.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4627.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4639.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4639.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4651.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4651.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m

Stage 1

External Boundary Area: 96134.473 m² (95.1362 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1234.388 m (2.16326 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: -4.04771 %

Excavation (with centroid: 4525.188, 2314.840) Area: 15.974 m² (-0.0256763 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4525.188, 2314.840) Perimeter: 15.987 m (-0.012827 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4596.906, 2402.998) Area: 31.752 m² (-0.0193169 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4596.906, 2402.998) Perimeter: 22.583 m (-0.00717352 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4490.931, 2400.862) Area: 112.357 m² (-0.0559391 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4490.931, 2400.862) Perimeter: 42.409 m (-0.0108136 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4505.803, 2398.159) Area: 154.442 m² (-0.100301 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4505.803, 2398.159) Perimeter: 50.273 m (-0.0184048 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4535.699, 2398.183) Area: 135.416 m² (-0.104503 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.699, 2398.183) Perimeter: 46.982 m (-0.0196576 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4550.772, 2400.258) Area: 110.672 m² (-0.0871509 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.772, 2400.258) Perimeter: 42.107 m (-0.0169133 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4565.807, 2400.813) Area: 106.602 m² (-0.0767425 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4565.807, 2400.813) Perimeter: 41.337 m (-0.015065 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4580.907, 2402.715) Area: 66.867 m² (-0.0412931 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4580.907, 2402.715) Perimeter: 33.388 m (-0.0104838 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4506.057, 2373.536) Area: 26.117 m² (-0.0216533 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.057, 2373.536) Perimeter: 21.088 m (-0.00727438 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4506.007, 2418.513) Area: 93.272 m² (-0.046486 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.007, 2418.513) Perimeter: 39.287 m (-0.0083165 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4520.125, 2420.602) Area: 164.942 m² (-0.099068 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4520.125, 2420.602) Perimeter: 51.404 m (-0.0157006 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4535.362, 2418.407) Area: 84.008 m² (-0.0566603 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.362, 2418.407) Perimeter: 38.233 m (-0.00912898 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4550.751, 2419.762) Area: 88.794 m² (-0.0422383 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.751, 2419.762) Perimeter: 37.700 m (-0.00906549 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4565.862, 2418.150) Area: 57.925 m² (-0.0319417 m² change from original area)

from original area)
Excavation (with centroid: 4565.862, 2418.150) Perimeter: 31.216 m (-0.00732076 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.438, 2421.566) Area: 169.916 m² (-0.152566 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.438, 2421.566) Perimeter: 52.354 m (-0.0237579 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4595.656, 2421.543) Area: 187.277 m² (-0.238772 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4595.656, 2421.543) Perimeter: 54.991 m (-0.0354371 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4611.796, 2420.267) Area: 165.370 m² (-0.238319 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4611.796, 2420.267) Perimeter: 51.556 m (-0.0370431 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4625.355, 2418.004) Area: 85.561 m² (-0.101835 m² change from
original area)
Excavation (with centroid: 4625.355, 2418.004) Perimeter: 38.083 m (-0.0221905 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4640.371, 2417.790) Area: 71.681 m² (-0.0699162 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4640.371, 2417.790) Perimeter: 34.910 m (-0.0195788 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4520.596, 2398.863) Area: 169.681 m² (-0.134908 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4520.596, 2398.863) Perimeter: 52.513 m (-0.0225807 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.773, 2353.323) Area: 29.966 m² (-0.0344933 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4505.773, 2353.323) Perimeter: 21.988 m (-0.0121231 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4523.915, 2353.299) Area: 29.966 m² (-0.0344436 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4523.915, 2353.299) Perimeter: 21.988 m (-0.0122847 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4543.974, 2353.816) Area: 29.969 m² (-0.0313384 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4543.974, 2353.816) Perimeter: 21.989 m (-0.011473 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4543.192, 2314.812) Area: 15.974 m² (-0.0264059 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4543.192, 2314.812) Perimeter: 15.987 m (-0.0131815 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4555.194, 2314.791) Area: 15.975 m² (-0.0246767 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4555.194, 2314.791) Perimeter: 15.988 m (-0.0123109 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4567.196, 2314.768) Area: 15.978 m² (-0.0218999 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4567.196, 2314.768) Perimeter: 15.989 m (-0.0109249 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4579.198, 2314.746) Area: 15.979 m² (-0.0207472 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4579.198, 2314.746) Perimeter: 15.990 m (-0.0103402 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4591.200, 2314.723) Area: 15.975 m² (-0.0252029 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4591.200, 2314.723) Perimeter: 15.987 m (-0.0125512 m change

from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4603.201, 2314.699) Area: 15.977 m² (-0.0228748 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4603.201, 2314.699) Perimeter: 15.989 m (-0.0113834 m change

from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4615.201, 2314.677) Area: 15.979 m² (-0.0208791 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4615.201, 2314.677) Perimeter: 15.990 m (-0.0103881 m change

from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4627.200, 2314.656) Area: 15.980 m² (-0.0197286 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4627.200, 2314.656) Perimeter: 15.990 m (-0.00981352 m change

from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4639.198, 2314.637) Area: 15.983 m² (-0.0171649 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4639.198, 2314.637) Perimeter: 15.991 m (-0.00854039 m change

from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4651.194, 2314.620) Area: 15.985 m² (-0.0153525 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4651.194, 2314.620) Perimeter: 15.992 m (-0.00764475 m change

from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 9

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 10

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 11

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 12

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 13

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 14

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 15

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 16

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 17

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 18

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 19

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 20

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 21

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 22

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 23

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 24

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 25

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 26

Values not available until this stage is viewed in a window

Displacements

Displacement data is not available for Stage 1 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 2 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 3 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 4 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 5 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 6 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 7 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 8 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 9 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 10 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 11 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 12 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 13 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 14 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 15 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 16 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 17 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 18 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 19 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 20 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 21 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 22 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 23 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 24 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 25 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 26 until total displacement is viewed in a window

Phase2 Analysis Information

Document Name

Project8x9x10x11x12 PILAR 5m.fea

Project Settings

General

Project Title: Project1
Number of Stages: 27
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as MPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m³

Field Stress

Field stress: gravity
Ground surface elevation: 2485 m
Unit weight of overburden: 0.03 MN/m³
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.9
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.9
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 1515
Number of nodes on Stage 1: 802
Number of elements on Stage 2: 1475
Number of nodes on Stage 2: 802
Number of elements on Stage 3: 1435
Number of nodes on Stage 3: 782
Number of elements on Stage 4: 1415
Number of nodes on Stage 4: 782
Number of elements on Stage 5: 1395
Number of nodes on Stage 5: 782
Number of elements on Stage 6: 1375
Number of nodes on Stage 6: 782
Number of elements on Stage 7: 1355
Number of nodes on Stage 7: 782
Number of elements on Stage 8: 1335
Number of nodes on Stage 8: 782
Number of elements on Stage 9: 1299
Number of nodes on Stage 9: 779

Number of elements on Stage 10: 1495
 Number of nodes on Stage 10: 802
 Number of elements on Stage 11: 1475
 Number of nodes on Stage 11: 792
 Number of elements on Stage 12: 1465
 Number of nodes on Stage 12: 792
 Number of elements on Stage 13: 1455
 Number of nodes on Stage 13: 792
 Number of elements on Stage 14: 1445
 Number of nodes on Stage 14: 792
 Number of elements on Stage 15: 1435
 Number of nodes on Stage 15: 792
 Number of elements on Stage 16: 1425
 Number of nodes on Stage 16: 792
 Number of elements on Stage 17: 1405
 Number of nodes on Stage 17: 790
 Number of elements on Stage 18: 1519
 Number of nodes on Stage 18: 802
 Number of elements on Stage 19: 1499
 Number of nodes on Stage 19: 802
 Number of elements on Stage 20: 1479
 Number of nodes on Stage 20: 792
 Number of elements on Stage 21: 1469
 Number of nodes on Stage 21: 792
 Number of elements on Stage 22: 1459
 Number of nodes on Stage 22: 792
 Number of elements on Stage 23: 1449
 Number of nodes on Stage 23: 792
 Number of elements on Stage 24: 1439
 Number of nodes on Stage 24: 792
 Number of elements on Stage 25: 1429
 Number of nodes on Stage 25: 792
 Number of elements on Stage 26: 1413
 Number of nodes on Stage 26: 791
 Number of elements on Stage 27: 1439
 Number of nodes on Stage 27: 792

Mesh Quality

300 of 1579 Elements (19.0 % of elements) are poor quality elements

6 of 1579 Elements (0.4 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

276 of 1579 Elements (17.5 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

89 of 1579 Elements (5.6 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

(elements can be of poor quality for more than one reason)

Mesh Quality Statistics

The worst element has (ratio = 17.72), (min angle = 2.39) (max angle = 172.09)

10.0% of elements have: (ratios > 4.1), (min angles < 14.0) (max angles > 110.2)

20.0% of elements have: (ratios > 2.7), (min angles < 20.6) (max angles > 96.6)

30.0% of elements have: (ratios > 2.3), (min angles < 23.2) (max angles > 90.2)

40.0% of elements have: (ratios > 2.1), (min angles < 26.9) (max angles > 90.0)

50.0% of elements have: (ratios > 1.8), (min angles < 32.0) (max angles > 90.0)

60.0% of elements have: (ratios > 1.7), (min angles < 36.1) (max angles > 87.7)

70.0% of elements have: (ratios > 1.6), (min angles < 39.4) (max angles > 82.9)
80.0% of elements have: (ratios > 1.4), (min angles < 42.9) (max angles > 78.4)
90.0% of elements have: (ratios > 1.3), (min angles < 46.4) (max angles > 74.2)
100.0% of elements have: (ratios > 1.2), (min angles < 51.2) (max angles > 69.0)

Poor quality elements are those with:
(maximum side length) / (minimum side length) > 10.00
Minimum interior angle < 20.0 degrees
Maximum interior angle > 120.0 degrees

Material Properties

Material: Conglomerados

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 3117 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 50 MPa
mb parameter: 2.454
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Calizas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.026 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 5177 MPa
Poisson's ratio: 0.26
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.944
s parameter: 0.0009
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Depositos Vulcanocl

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 2493 MPa
Poisson's ratio: 0.024
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.981
s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Limoarcillitas

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 182 MPa
Poisson's ratio: 0.29
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 15 MPa
mb parameter: 0.184
s parameter: 0.001
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Areniscas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 758 MPa
Poisson's ratio: 0.27
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 30 MPa
mb parameter: 1.126
s parameter: 0.006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Relleno

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 100 MPa
Poisson's ratio: 0.2
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 MPa
Peak friction angle: 30 degrees
Peak cohesion: 0 MPa
Material type: Elastic
Piezo to use: None
Ru value: 0

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Area of All Excavations: 2334.371 m²
External Boundary Area: 96039.337 m²
External Boundary Perimeter: 1232.225 m
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Area: 16.000 m²
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Area: 31.771 m²
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Perimeter: 22.590 m
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Area: 112.413 m²
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Perimeter: 42.420 m
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Area: 154.542 m²
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Perimeter: 50.291 m
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Area: 135.520 m²
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Perimeter: 47.002 m

Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Area: 110.759 m2
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Perimeter: 42.124 m
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Area: 106.679 m2
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Perimeter: 41.352 m
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Area: 66.908 m2
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Perimeter: 33.399 m
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Area: 26.139 m2
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Perimeter: 21.095 m
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Area: 93.318 m2
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Perimeter: 39.296 m
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Area: 165.041 m2
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Perimeter: 51.419 m
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Area: 84.065 m2
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Perimeter: 38.242 m
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Area: 88.836 m2
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Perimeter: 37.709 m
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Area: 57.956 m2
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Perimeter: 31.223 m
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Area: 170.069 m2
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Perimeter: 52.378 m
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Area: 187.516 m2
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Perimeter: 55.026 m
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Area: 165.608 m2
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Perimeter: 51.593 m
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Area: 85.663 m2
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Perimeter: 38.105 m
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Area: 71.750 m2
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Perimeter: 34.929 m
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Area: 169.815 m2
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Perimeter: 52.536 m
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4556.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4556.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4569.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4569.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4582.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4582.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4595.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4595.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4608.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4608.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4621.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4621.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4634.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4634.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4647.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4647.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m

External Boundary Area: 96133.419 m² (94.0817 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1234.346 m (2.12124 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: -4.03028 %

Excavation (with centroid: 4525.185, 2314.839) Area: 15.977 m² (-0.0228795 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4525.185, 2314.839) Perimeter: 15.989 m (-0.0114304 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4596.908, 2403.004) Area: 31.752 m² (-0.0186863 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4596.908, 2403.004) Perimeter: 22.583 m (-0.00694452 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4490.930, 2400.864) Area: 112.362 m² (-0.0509089 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4490.930, 2400.864) Perimeter: 42.410 m (-0.00989812 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4505.803, 2398.160) Area: 154.450 m² (-0.0926609 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4505.803, 2398.160) Perimeter: 50.274 m (-0.0174644 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4535.700, 2398.184) Area: 135.422 m² (-0.0978148 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.700, 2398.184) Perimeter: 46.983 m (-0.0186639 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4550.773, 2400.260) Area: 110.676 m² (-0.083577 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.773, 2400.260) Perimeter: 42.108 m (-0.0162503 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4565.809, 2400.816) Area: 106.607 m² (-0.0725275 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4565.809, 2400.816) Perimeter: 41.338 m (-0.0142601 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4580.909, 2402.720) Area: 66.870 m² (-0.0380539 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4580.909, 2402.720) Perimeter: 33.389 m (-0.00950372 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4506.057, 2373.537) Area: 26.125 m² (-0.0139545 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.057, 2373.537) Perimeter: 21.091 m (-0.00444897 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4506.007, 2418.514) Area: 93.274 m² (-0.0446544 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4506.007, 2418.514) Perimeter: 39.288 m (-0.00787051 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4520.125, 2420.603) Area: 164.947 m² (-0.0947974 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4520.125, 2420.603) Perimeter: 51.404 m (-0.015091 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4535.363, 2418.409) Area: 84.008 m² (-0.0571946 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4535.363, 2418.409) Perimeter: 38.233 m (-0.00921366 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4550.751, 2419.765) Area: 88.795 m² (-0.0413634 m² change from original area)
Excavation (with centroid: 4550.751, 2419.765) Perimeter: 37.700 m (-0.00887889 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4565.863, 2418.154) Area: 57.924 m² (-0.0321773 m² change from original area)

from original area)

Excavation (with centroid: 4565.863, 2418.154) Perimeter: 31.216 m (-0.00742659 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4580.437, 2421.571) Area: 169.920 m² (-0.148845 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4580.437, 2421.571) Perimeter: 52.355 m (-0.0232371 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4595.656, 2421.549) Area: 187.281 m² (-0.23516 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4595.656, 2421.549) Perimeter: 54.991 m (-0.0349963 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4611.796, 2420.274) Area: 165.370 m² (-0.238062 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4611.796, 2420.274) Perimeter: 51.556 m (-0.0369533 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4625.355, 2418.013) Area: 85.560 m² (-0.103582 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4625.355, 2418.013) Perimeter: 38.082 m (-0.0225105 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4640.372, 2417.799) Area: 71.681 m² (-0.0699547 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4640.372, 2417.799) Perimeter: 34.910 m (-0.0195717 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4520.597, 2398.864) Area: 169.689 m² (-0.125998 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4520.597, 2398.864) Perimeter: 52.515 m (-0.021396 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4505.772, 2353.323) Area: 29.971 m² (-0.0289988 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4505.772, 2353.323) Perimeter: 21.990 m (-0.0100734 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4523.913, 2353.299) Area: 29.971 m² (-0.028804 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4523.913, 2353.299) Perimeter: 21.990 m (-0.0101786 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.972, 2353.817) Area: 29.974 m² (-0.0260258 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.972, 2353.817) Perimeter: 21.991 m (-0.00946542 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.189, 2314.812) Area: 15.976 m² (-0.02381 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.189, 2314.812) Perimeter: 15.988 m (-0.0118858 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4556.191, 2314.790) Area: 15.975 m² (-0.0247636 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4556.191, 2314.790) Perimeter: 15.988 m (-0.0123494 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4569.193, 2314.767) Area: 15.978 m² (-0.0220676 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4569.193, 2314.767) Perimeter: 15.989 m (-0.0110015 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4582.195, 2314.743) Area: 15.981 m² (-0.0191168 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4582.195, 2314.743) Perimeter: 15.990 m (-0.00952157 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4595.197, 2314.719) Area: 15.984 m² (-0.0164272 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4595.197, 2314.719) Perimeter: 15.992 m (-0.00817961 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4608.199, 2314.696) Area: 15.981 m² (-0.0194194 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4608.199, 2314.696) Perimeter: 15.990 m (-0.00965937 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4621.199, 2314.673) Area: 15.984 m² (-0.0161309 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4621.199, 2314.673) Perimeter: 15.992 m (-0.00801959 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4634.197, 2314.652) Area: 15.986 m² (-0.0139397 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4634.197, 2314.652) Perimeter: 15.993 m (-0.00692829 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4647.194, 2314.634) Area: 15.987 m² (-0.0130312 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4647.194, 2314.634) Perimeter: 15.994 m (-0.00648365 m change from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 9

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 10

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 11

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 12

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 13

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 14

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 15

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 16

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 17

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 18

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 19

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 20

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 21

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 22

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 23

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 24

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 25

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 26

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 27

Values not available until this stage is viewed in a window

Displacements

Displacement data is not available for Stage 1 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 2 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 3 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 4 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 5 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 6 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 7 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 8 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 9 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 10 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 11 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 12 until total displacement is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 13 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 14 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 15 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 16 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 17 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 18 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 19 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 20 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 21 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 22 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 23 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 24 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 25 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 26 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 27 until total displacement is viewed in a window

Phase2 Analysis Information

Document Name

Project8x9x10x11x12 PILAR 6m.fea

Project Settings

General

Project Title: Project1
Number of Stages: 26
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as MPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m³

Field Stress

Field stress: gravity
Ground surface elevation: 2485 m
Unit weight of overburden: 0.027 MN/m³
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 2649
 Number of nodes on Stage 1: 1368
Number of elements on Stage 2: 2541
 Number of nodes on Stage 2: 1332
Number of elements on Stage 3: 2433
 Number of nodes on Stage 3: 1278
Number of elements on Stage 4: 2379
 Number of nodes on Stage 4: 1260
Number of elements on Stage 5: 2325
 Number of nodes on Stage 5: 1242
Number of elements on Stage 6: 2271
 Number of nodes on Stage 6: 1224
Number of elements on Stage 7: 2217
 Number of nodes on Stage 7: 1206
Number of elements on Stage 8: 2163
 Number of nodes on Stage 8: 1188
Number of elements on Stage 9: 2076
 Number of nodes on Stage 9: 1159

Number of elements on Stage 10: 2589
 Number of nodes on Stage 10: 1348
 Number of elements on Stage 11: 2529
 Number of nodes on Stage 11: 1318
 Number of elements on Stage 12: 2499
 Number of nodes on Stage 12: 1308
 Number of elements on Stage 13: 2469
 Number of nodes on Stage 13: 1298
 Number of elements on Stage 14: 2439
 Number of nodes on Stage 14: 1288
 Number of elements on Stage 15: 2409
 Number of nodes on Stage 15: 1278
 Number of elements on Stage 16: 2379
 Number of nodes on Stage 16: 1268
 Number of elements on Stage 17: 2328
 Number of nodes on Stage 17: 1251
 Number of elements on Stage 18: 2673
 Number of nodes on Stage 18: 1376
 Number of elements on Stage 19: 2625
 Number of nodes on Stage 19: 1360
 Number of elements on Stage 20: 2577
 Number of nodes on Stage 20: 1336
 Number of elements on Stage 21: 2553
 Number of nodes on Stage 21: 1328
 Number of elements on Stage 22: 2529
 Number of nodes on Stage 22: 1320
 Number of elements on Stage 23: 2505
 Number of nodes on Stage 23: 1312
 Number of elements on Stage 24: 2481
 Number of nodes on Stage 24: 1304
 Number of elements on Stage 25: 2457
 Number of nodes on Stage 25: 1296
 Number of elements on Stage 26: 2421
 Number of nodes on Stage 26: 1284

Mesh Quality

482 of 2747 Elements (17.5 % of elements) are poor quality elements

2 of 2747 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

437 of 2747 Elements (15.9 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

383 of 2747 Elements (13.9 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

(elements can be of poor quality for more than one reason)

Mesh Quality Statistics

The worst element has (ratio = 12.57), (min angle = 0.19) (max angle = 179.54)

10.0% of elements have: (ratios > 2.8), (min angles < 11.1) (max angles > 145.4)

20.0% of elements have: (ratios > 2.3), (min angles < 22.6) (max angles > 111.0)

30.0% of elements have: (ratios > 1.9), (min angles < 29.6) (max angles > 96.0)

40.0% of elements have: (ratios > 1.7), (min angles < 34.5) (max angles > 88.1)

50.0% of elements have: (ratios > 1.6), (min angles < 37.6) (max angles > 82.6)

60.0% of elements have: (ratios > 1.5), (min angles < 41.8) (max angles > 78.1)

70.0% of elements have: (ratios > 1.4), (min angles < 45.0) (max angles > 75.8)

80.0% of elements have: (ratios > 1.3), (min angles < 48.3) (max angles > 72.1)

90.0% of elements have: (ratios > 1.2), (min angles < 51.2) (max angles > 69.3)
100.0% of elements have: (ratios > 1.1), (min angles < 53.8) (max angles > 66.0)

Poor quality elements are those with:
(maximum side length) / (minimum side length) > 10.00
Minimum interior angle < 20.0 degrees
Maximum interior angle > 120.0 degrees

Material Properties

Material: Limoarcillitas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 396 MPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 20 MPa
mb parameter: 0.73
s parameter: 0.0006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Calizas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 9278 MPa
Poisson's ratio: 0.25
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 60 MPa
mb parameter: 1.64
s parameter: 0.0018
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Depositos Vulcanocl

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.022 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 1360 MPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 40 MPa
mb parameter: 0.785
s parameter: 0.0007
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Cong - mineral

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.03 MN/m³
Elastic type: isotropic

Young's modulus: 13279 MPa
Poisson's ratio: 0.24
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 100 MPa
mb parameter: 2.06
s parameter: 0.0026
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Areniscas
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 758 MPa
Poisson's ratio: 0.025
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 30 MPa
mb parameter: 1.126
s parameter: 0.006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Relleno
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 100 MPa
Poisson's ratio: 0.2
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 MPa
Peak friction angle: 30 degrees
Peak cohesion: 0 MPa
Material type: Elastic
Piezo to use: None
Ru value: 0

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Area of All Excavations: 2318.371 m²
External Boundary Area: 96039.337 m²
External Boundary Perimeter: 1232.225 m
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Area: 31.771 m²
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Perimeter: 22.590 m
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Area: 112.413 m²
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Perimeter: 42.420 m
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Area: 154.542 m²
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Perimeter: 50.291 m
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Area: 135.520 m²
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Perimeter: 47.002 m
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Area: 110.759 m²
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Perimeter: 42.124 m
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Area: 106.679 m²
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Perimeter: 41.352 m

Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Area: 66.908 m2
 Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Perimeter: 33.399 m
 Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Area: 26.139 m2
 Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Perimeter: 21.095 m
 Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Area: 93.318 m2
 Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Perimeter: 39.296 m
 Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Area: 165.041 m2
 Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Perimeter: 51.419 m
 Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Area: 84.065 m2
 Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Perimeter: 38.242 m
 Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Area: 88.836 m2
 Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Perimeter: 37.709 m
 Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Area: 57.956 m2
 Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Perimeter: 31.223 m
 Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Area: 170.069 m2
 Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Perimeter: 52.378 m
 Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Area: 187.516 m2
 Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Perimeter: 55.026 m
 Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Area: 165.608 m2
 Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Perimeter: 51.593 m
 Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Area: 85.663 m2
 Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Perimeter: 38.105 m
 Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Area: 71.750 m2
 Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Perimeter: 34.929 m
 Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Area: 169.815 m2
 Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Perimeter: 52.536 m
 Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Area: 30.000 m2
 Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
 Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Area: 30.000 m2
 Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
 Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Area: 30.000 m2
 Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Perimeter: 22.000 m
 Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.952) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4557.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4557.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4571.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4571.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4585.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4585.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4599.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4599.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4613.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4613.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4627.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4627.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4641.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4641.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m

Stage 1

External Boundary Area: 96091.330 m2 (51.9935 m2 change from original area)
 External Boundary Perimeter: 1233.838 m (1.61309 m change from original perimeter)
 Volume Loss to Excavation: -2.24267 %
 Excavation (with centroid: 4596.884, 2402.947) Area: 31.759 m2 (-0.0116776 m2 change

from original area)
Excavation (with centroid: 4596.884, 2402.947) Perimeter: 22.586 m (-0.0043307 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4490.909, 2400.810) Area: 112.371 m² (-0.041847 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4490.909, 2400.810) Perimeter: 42.412 m (-0.00806548 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.780, 2398.106) Area: 154.466 m² (-0.076599 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4505.780, 2398.106) Perimeter: 50.277 m (-0.0138222 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4535.675, 2398.131) Area: 135.441 m² (-0.0794539 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4535.675, 2398.131) Perimeter: 46.987 m (-0.0147266 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4550.748, 2400.206) Area: 110.699 m² (-0.0606501 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4550.748, 2400.206) Perimeter: 42.112 m (-0.0117683 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4565.783, 2400.761) Area: 106.628 m² (-0.0509755 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4565.783, 2400.761) Perimeter: 41.342 m (-0.0100158 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.884, 2402.664) Area: 66.883 m² (-0.0250014 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.884, 2402.664) Perimeter: 33.392 m (-0.00633667 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4506.037, 2373.482) Area: 26.084 m² (-0.0549731 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4506.037, 2373.482) Perimeter: 21.076 m (-0.018999 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.986, 2418.460) Area: 93.285 m² (-0.0337341 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4505.986, 2418.460) Perimeter: 39.290 m (-0.00589259 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4520.104, 2420.550) Area: 164.977 m² (-0.0647831 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4520.104, 2420.550) Perimeter: 51.409 m (-0.0103244 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4535.341, 2418.356) Area: 84.026 m² (-0.038853 m² change from
original area)
Excavation (with centroid: 4535.341, 2418.356) Perimeter: 38.236 m (-0.00629054 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4550.729, 2419.711) Area: 88.808 m² (-0.028358 m² change from
original area)
Excavation (with centroid: 4550.729, 2419.711) Perimeter: 37.703 m (-0.00609265 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4565.841, 2418.099) Area: 57.936 m² (-0.0205164 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4565.841, 2418.099) Perimeter: 31.219 m (-0.00475083 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.417, 2421.516) Area: 169.976 m² (-0.0928194 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.417, 2421.516) Perimeter: 52.364 m (-0.0143952 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4595.636, 2421.494) Area: 187.371 m² (-0.14511 m² change from

original area)

Excavation (with centroid: 4595.636, 2421.494) Perimeter: 55.005 m (-0.0213979 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4611.779, 2420.217) Area: 165.462 m² (-0.14622 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4611.779, 2420.217) Perimeter: 51.570 m (-0.0228631 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4625.339, 2417.955) Area: 85.601 m² (-0.0622472 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4625.339, 2417.955) Perimeter: 38.091 m (-0.013933 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4640.358, 2417.741) Area: 71.709 m² (-0.0414986 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4640.358, 2417.741) Perimeter: 34.918 m (-0.0117467 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4520.573, 2398.810) Area: 169.720 m² (-0.0957876 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4520.573, 2398.810) Perimeter: 52.520 m (-0.0158494 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4505.766, 2353.271) Area: 29.928 m² (-0.0724674 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4505.766, 2353.271) Perimeter: 21.974 m (-0.0257904 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4523.905, 2353.247) Area: 29.934 m² (-0.0663801 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4523.905, 2353.247) Perimeter: 21.976 m (-0.023724 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.963, 2353.767) Area: 29.947 m² (-0.0527614 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.963, 2353.767) Perimeter: 21.981 m (-0.0188777 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4525.170, 2314.793) Area: 15.992 m² (-0.00759276 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4525.170, 2314.793) Perimeter: 15.996 m (-0.00379542 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4543.170, 2314.141) Area: 15.992 m² (-0.00759366 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4543.170, 2314.141) Perimeter: 15.996 m (-0.00379534 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4557.172, 2314.116) Area: 15.993 m² (-0.00670328 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4557.172, 2314.116) Perimeter: 15.997 m (-0.0033485 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4571.173, 2314.089) Area: 15.995 m² (-0.00482031 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4571.173, 2314.089) Perimeter: 15.998 m (-0.00240569 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4585.175, 2314.062) Area: 15.996 m² (-0.00442493 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4585.175, 2314.062) Perimeter: 15.998 m (-0.00220661 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4599.177, 2314.035) Area: 15.995 m² (-0.00499498 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4599.177, 2314.035) Perimeter: 15.998 m (-0.00248951 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4613.179, 2314.011) Area: 15.994 m² (-0.00568774 m² change

from original area)

Excavation (with centroid: 4613.179, 2314.011) Perimeter: 15.997 m (-0.00283685 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4627.179, 2313.992) Area: 15.994 m² (-0.00584218 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4627.179, 2313.992) Perimeter: 15.997 m (-0.00291617 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4641.179, 2313.977) Area: 15.994 m² (-0.00568417 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4641.179, 2313.977) Perimeter: 15.997 m (-0.00283903 m change from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 9

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 10

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 11

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 12

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 13

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 14

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 15

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 16

Values not available until this stage is viewed in a window

Displacement data is not available for Stage 24 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 25 until total displacement is viewed in a window
Displacement data is not available for Stage 26 until total displacement is viewed in a window

Phase2 Analysis Information

Document Name

Project8x9x10x11x12 PILAR 4.5m y 5m final.fea

Project Settings

General

Project Title: Project3
Number of Stages: 30
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as MPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m³

Field Stress

Field stress: gravity
Ground surface elevation: 2485 m
Unit weight of overburden: 0.03 MN/m³
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1.1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1.1
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Mesh

Mesh type: graded
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 1694
 Number of nodes on Stage 1: 903
Number of elements on Stage 2: 1606
 Number of nodes on Stage 2: 903
Number of elements on Stage 3: 1594
 Number of nodes on Stage 3: 899
Number of elements on Stage 4: 1582
 Number of nodes on Stage 4: 895
Number of elements on Stage 5: 1570
 Number of nodes on Stage 5: 891
Number of elements on Stage 6: 1558
 Number of nodes on Stage 6: 887
Number of elements on Stage 7: 1546
 Number of nodes on Stage 7: 883
Number of elements on Stage 8: 1534
 Number of nodes on Stage 8: 879
Number of elements on Stage 9: 1522
 Number of nodes on Stage 9: 875

Number of elements on Stage 10: 1510
Number of nodes on Stage 10: 871
Number of elements on Stage 11: 1498
Number of nodes on Stage 11: 867
Number of elements on Stage 12: 1486
Number of nodes on Stage 12: 863
Number of elements on Stage 13: 1474
Number of nodes on Stage 13: 859
Number of elements on Stage 14: 1646
Number of nodes on Stage 14: 903
Number of elements on Stage 15: 1634
Number of nodes on Stage 15: 899
Number of elements on Stage 16: 1622
Number of nodes on Stage 16: 895
Number of elements on Stage 17: 1610
Number of nodes on Stage 17: 891
Number of elements on Stage 18: 1598
Number of nodes on Stage 18: 887
Number of elements on Stage 19: 1586
Number of nodes on Stage 19: 883
Number of elements on Stage 20: 1574
Number of nodes on Stage 20: 879
Number of elements on Stage 21: 1718
Number of nodes on Stage 21: 903
Number of elements on Stage 22: 1678
Number of nodes on Stage 22: 903
Number of elements on Stage 23: 1666
Number of nodes on Stage 23: 899
Number of elements on Stage 24: 1654
Number of nodes on Stage 24: 895
Number of elements on Stage 25: 1642
Number of nodes on Stage 25: 891
Number of elements on Stage 26: 1630
Number of nodes on Stage 26: 887
Number of elements on Stage 27: 1618
Number of nodes on Stage 27: 883
Number of elements on Stage 28: 1654
Number of nodes on Stage 28: 895
Number of elements on Stage 29: 1654
Number of nodes on Stage 29: 891
Number of elements on Stage 30: 1642
Number of nodes on Stage 30: 887

Mesh Quality

258 of 1782 Elements (14.5 % of elements) are poor quality elements

3 of 1782 Elements (0.2 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio

234 of 1782 Elements (13.1 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle

113 of 1782 Elements (6.3 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle

(elements can be of poor quality for more than one reason)

Mesh Quality Statistics

The worst element has (ratio = 15.48), (min angle = 3.13) (max angle = 164.16)

10.0% of elements have: (ratios > 2.8), (min angles < 18.4) (max angles > 113.1)
20.0% of elements have: (ratios > 2.4), (min angles < 23.6) (max angles > 96.7)
30.0% of elements have: (ratios > 2.1), (min angles < 26.6) (max angles > 90.0)
40.0% of elements have: (ratios > 1.8), (min angles < 31.9) (max angles > 90.0)
50.0% of elements have: (ratios > 1.7), (min angles < 36.4) (max angles > 90.0)
60.0% of elements have: (ratios > 1.5), (min angles < 39.8) (max angles > 84.4)
70.0% of elements have: (ratios > 1.4), (min angles < 42.9) (max angles > 79.6)
80.0% of elements have: (ratios > 1.4), (min angles < 45.0) (max angles > 76.0)
90.0% of elements have: (ratios > 1.3), (min angles < 48.0) (max angles > 72.4)
100.0% of elements have: (ratios > 1.2), (min angles < 52.4) (max angles > 67.9)

Poor quality elements are those with:

(maximum side length) / (minimum side length) > 10.00

Minimum interior angle < 20.0 degrees

Maximum interior angle > 120.0 degrees

Material Properties

Material: Conglomerados

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.025 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 3117 MPa

Poisson's ratio: 0.25

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 50 MPa

mb parameter: 2.454

s parameter: 0.0024

Piezo to use: None

Ru value: 0

Material: Calizas

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.026 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 5177 MPa

Poisson's ratio: 0.26

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 40 MPa

mb parameter: 0.944

s parameter: 0.0009

Piezo to use: None

Ru value: 0

Material: Depositos Vulcanocl

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 0.024 MN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 2493 MPa

Poisson's ratio: 0.024

Failure criterion: Hoek-Brown

Material type: Elastic

Compressive strength 40 MPa

mb parameter: 0.981

s parameter: 0.0024
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Limoarcillitas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.024 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 182 MPa
Poisson's ratio: 0.29
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 15 MPa
mb parameter: 0.184
s parameter: 0.001
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Areniscas

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.025 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 758 MPa
Poisson's ratio: 0.27
Failure criterion: Hoek-Brown
Material type: Elastic
Compressive strength 30 MPa
mb parameter: 1.126
s parameter: 0.006
Piezo to use: None
Ru value: 0

Material: Relleno

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 0.027 MN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 100 MPa
Poisson's ratio: 0.2
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 MPa
Peak friction angle: 30 degrees
Peak cohesion: 0 MPa
Material type: Elastic
Piezo to use: None
Ru value: 0

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Area of All Excavations: 2526.371 m²
External Boundary Area: 96039.337 m²
External Boundary Perimeter: 1232.225 m
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Area: 31.771 m²
Excavation (with centroid: 4596.859, 2403.213) Perimeter: 22.590 m
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Area: 112.413 m²
Excavation (with centroid: 4490.880, 2400.935) Perimeter: 42.420 m

Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Area: 154.542 m2
Excavation (with centroid: 4505.753, 2398.245) Perimeter: 50.291 m
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Area: 135.520 m2
Excavation (with centroid: 4535.649, 2398.308) Perimeter: 47.002 m
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Area: 110.759 m2
Excavation (with centroid: 4550.720, 2400.404) Perimeter: 42.124 m
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Area: 106.679 m2
Excavation (with centroid: 4565.756, 2400.982) Perimeter: 41.352 m
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Area: 66.908 m2
Excavation (with centroid: 4580.857, 2402.907) Perimeter: 33.399 m
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Area: 26.139 m2
Excavation (with centroid: 4506.025, 2373.620) Perimeter: 21.095 m
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Area: 93.318 m2
Excavation (with centroid: 4505.940, 2418.604) Perimeter: 39.296 m
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Area: 165.041 m2
Excavation (with centroid: 4520.056, 2420.712) Perimeter: 51.419 m
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Area: 84.065 m2
Excavation (with centroid: 4535.296, 2418.537) Perimeter: 38.242 m
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Area: 88.836 m2
Excavation (with centroid: 4550.682, 2419.913) Perimeter: 37.709 m
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Area: 57.956 m2
Excavation (with centroid: 4565.796, 2418.322) Perimeter: 31.223 m
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Area: 170.069 m2
Excavation (with centroid: 4580.370, 2421.761) Perimeter: 52.378 m
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Area: 187.516 m2
Excavation (with centroid: 4595.592, 2421.761) Perimeter: 55.026 m
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Area: 165.608 m2
Excavation (with centroid: 4611.741, 2420.505) Perimeter: 51.593 m
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Area: 85.663 m2
Excavation (with centroid: 4625.308, 2418.258) Perimeter: 38.105 m
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Area: 71.750 m2
Excavation (with centroid: 4640.333, 2418.059) Perimeter: 34.929 m
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Area: 169.815 m2
Excavation (with centroid: 4520.545, 2398.968) Perimeter: 52.536 m
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4505.750, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4523.890, 2353.408) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Area: 30.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.947, 2353.955) Perimeter: 22.000 m
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4525.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4525.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4525.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4543.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4543.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4555.676, 2314.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4555.676, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4555.676, 2326.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4555.676, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4568.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4568.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
Excavation (with centroid: 4568.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
Excavation (with centroid: 4568.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m

Excavation (with centroid: 4580.676, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4580.676, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4580.676, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4580.676, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4593.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4593.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4593.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4593.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4605.676, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4605.676, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4605.676, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4605.676, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4618.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4618.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4618.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4618.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4630.676, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4630.676, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4630.676, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4630.676, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4643.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4643.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4643.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4643.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4655.176, 2314.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4655.176, 2314.327) Perimeter: 16.000 m
 Excavation (with centroid: 4655.176, 2326.327) Area: 16.000 m2
 Excavation (with centroid: 4655.176, 2326.327) Perimeter: 16.000 m

Stage 1

External Boundary Area: 96126.874 m2 (87.5375 m2 change from original area)
 External Boundary Perimeter: 1233.007 m (0.782063 m change from original perimeter)
 Volume Loss to Excavation: -3.46495 %
 Excavation (with centroid: 4596.846, 2403.457) Area: 31.767 m2 (-0.00402948 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4596.846, 2403.457) Perimeter: 22.589 m (-0.00135157 m change from original perimeter)
 Excavation (with centroid: 4490.866, 2401.136) Area: 112.345 m2 (-0.0680528 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4490.866, 2401.136) Perimeter: 42.407 m (-0.0129221 m change from original perimeter)
 Excavation (with centroid: 4505.738, 2398.456) Area: 154.438 m2 (-0.104358 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4505.738, 2398.456) Perimeter: 50.274 m (-0.0175829 m change from original perimeter)
 Excavation (with centroid: 4535.631, 2398.532) Area: 135.432 m2 (-0.0883293 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4535.631, 2398.532) Perimeter: 46.985 m (-0.0164006 m change from original perimeter)
 Excavation (with centroid: 4550.703, 2400.633) Area: 110.693 m2 (-0.0663841 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4550.703, 2400.633) Perimeter: 42.111 m (-0.0129889 m change from original perimeter)
 Excavation (with centroid: 4565.739, 2401.216) Area: 106.625 m2 (-0.0540093 m2 change from original area)
 Excavation (with centroid: 4565.739, 2401.216) Perimeter: 41.341 m (-0.0108982 m change from original perimeter)

from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.842, 2403.146) Area: 66.878 m² (-0.0305526 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.842, 2403.146) Perimeter: 33.392 m (-0.00618744 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4506.017, 2373.829) Area: 26.122 m² (-0.0165467 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4506.017, 2373.829) Perimeter: 21.092 m (-0.00377108 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.918, 2418.812) Area: 93.276 m² (-0.0426878 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4505.918, 2418.812) Perimeter: 39.288 m (-0.0079742 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4520.032, 2420.925) Area: 164.944 m² (-0.0978442 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4520.032, 2420.925) Perimeter: 51.404 m (-0.0154505 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4535.272, 2418.757) Area: 84.013 m² (-0.0516774 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4535.272, 2418.757) Perimeter: 38.234 m (-0.00811815 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4550.659, 2420.138) Area: 88.801 m² (-0.0346637 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4550.659, 2420.138) Perimeter: 37.701 m (-0.00751008 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4565.775, 2418.552) Area: 57.928 m² (-0.0283309 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4565.775, 2418.552) Perimeter: 31.218 m (-0.00548244 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.349, 2421.994) Area: 169.968 m² (-0.100436 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.349, 2421.994) Perimeter: 52.361 m (-0.017022 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4595.574, 2421.998) Area: 187.365 m² (-0.150522 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4595.574, 2421.998) Perimeter: 55.002 m (-0.0245239 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4611.726, 2420.746) Area: 165.474 m² (-0.134136 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4611.726, 2420.746) Perimeter: 51.574 m (-0.0189857 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4625.296, 2418.502) Area: 85.599 m² (-0.0637845 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4625.296, 2418.502) Perimeter: 38.096 m (-0.00917873 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4640.324, 2418.305) Area: 71.726 m² (-0.0247841 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4640.324, 2418.305) Perimeter: 34.926 m (-0.00355514 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4520.529, 2399.185) Area: 169.692 m² (-0.123453 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4520.529, 2399.185) Perimeter: 52.516 m (-0.019937 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4505.747, 2353.609) Area: 29.973 m² (-0.0272291 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4505.747, 2353.609) Perimeter: 21.990 m (-0.0104299 m change

from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4523.885, 2353.619) Area: 29.975 m² (-0.0248638 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4523.885, 2353.619) Perimeter: 21.990 m (-0.00955827 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4543.941, 2354.174) Area: 29.975 m² (-0.0247068 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4543.941, 2354.174) Perimeter: 21.991 m (-0.00940609 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4525.181, 2314.529) Area: 15.979 m² (-0.0214268 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4525.181, 2314.529) Perimeter: 15.989 m (-0.0107163 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4525.179, 2326.531) Area: 15.976 m² (-0.0244935 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4525.179, 2326.531) Perimeter: 15.988 m (-0.0122507 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4543.181, 2314.537) Area: 15.977 m² (-0.0231683 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4543.181, 2314.537) Perimeter: 15.988 m (-0.0115881 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4543.178, 2326.539) Area: 15.977 m² (-0.0234139 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4543.178, 2326.539) Perimeter: 15.988 m (-0.0117111 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4555.680, 2314.542) Area: 15.977 m² (-0.0232435 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4555.680, 2314.542) Perimeter: 15.988 m (-0.0116259 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4555.677, 2326.544) Area: 15.975 m² (-0.0249717 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4555.677, 2326.544) Perimeter: 15.988 m (-0.0124907 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4568.179, 2314.546) Area: 15.976 m² (-0.0235621 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4568.179, 2314.546) Perimeter: 15.988 m (-0.0117852 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4568.176, 2326.547) Area: 15.976 m² (-0.0236272 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4568.176, 2326.547) Perimeter: 15.988 m (-0.0118179 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.678, 2314.550) Area: 15.977 m² (-0.0229441 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.678, 2314.550) Perimeter: 15.989 m (-0.0114759 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4580.676, 2326.551) Area: 15.976 m² (-0.0244693 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4580.676, 2326.551) Perimeter: 15.988 m (-0.0122392 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4593.178, 2314.553) Area: 15.973 m² (-0.0272089 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4593.178, 2314.553) Perimeter: 15.986 m (-0.0136101 m change
from original perimeter)
Excavation (with centroid: 4593.176, 2326.553) Area: 15.975 m² (-0.0249904 m² change
from original area)
Excavation (with centroid: 4593.176, 2326.553) Perimeter: 15.987 m (-0.0125 m change from

original perimeter)

Excavation (with centroid: 4605.678, 2314.555) Area: 15.972 m² (-0.0282155 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4605.678, 2314.555) Perimeter: 15.986 m (-0.0141134 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4605.675, 2326.555) Area: 15.975 m² (-0.0252462 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4605.675, 2326.555) Perimeter: 15.987 m (-0.0126277 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4618.177, 2314.556) Area: 15.972 m² (-0.0283822 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4618.177, 2314.556) Perimeter: 15.986 m (-0.0141973 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4618.175, 2326.557) Area: 15.977 m² (-0.0230249 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4618.175, 2326.557) Perimeter: 15.988 m (-0.0115165 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4630.676, 2314.557) Area: 15.972 m² (-0.0278922 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4630.676, 2314.557) Perimeter: 15.986 m (-0.013952 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4630.675, 2326.558) Area: 15.977 m² (-0.0234019 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4630.675, 2326.558) Perimeter: 15.988 m (-0.0117049 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4643.176, 2314.558) Area: 15.971 m² (-0.029413 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4643.176, 2314.558) Perimeter: 15.985 m (-0.0147127 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4643.174, 2326.559) Area: 15.973 m² (-0.0267127 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4643.174, 2326.559) Perimeter: 15.987 m (-0.0133615 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4655.175, 2314.558) Area: 15.972 m² (-0.028236 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4655.175, 2314.558) Perimeter: 15.986 m (-0.0141237 m change from original perimeter)

Excavation (with centroid: 4655.174, 2326.560) Area: 15.975 m² (-0.0251053 m² change from original area)

Excavation (with centroid: 4655.174, 2326.560) Perimeter: 15.987 m (-0.0125574 m change from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 9

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 10

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 11

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 12

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 13

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 14

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 15

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 16

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 17

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 18

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 19

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 20

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 21

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 22

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 23

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 24

Values not available until this stage is viewed in a window

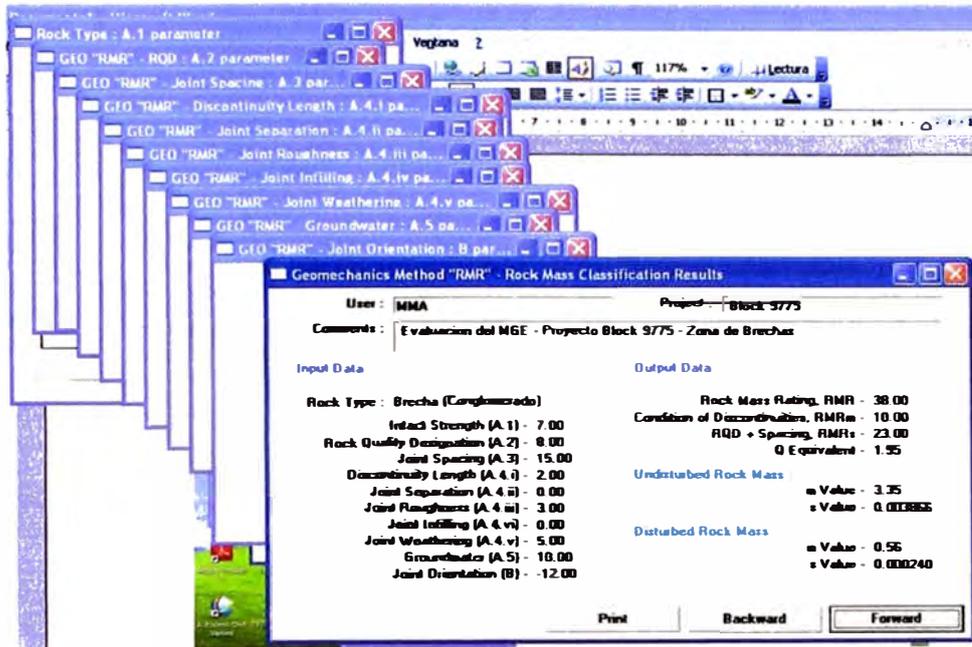
Stage 25

ANEXO 5

ANALISIS MGE – STOPESOFT

ANÁLISIS DEL MÉTODO GRAFICO DE ESTABILIDAD DEL BLOCK 9775 ZONA DE BRECHAS MEDIANTE L SOFTWARE SLOPSOFT

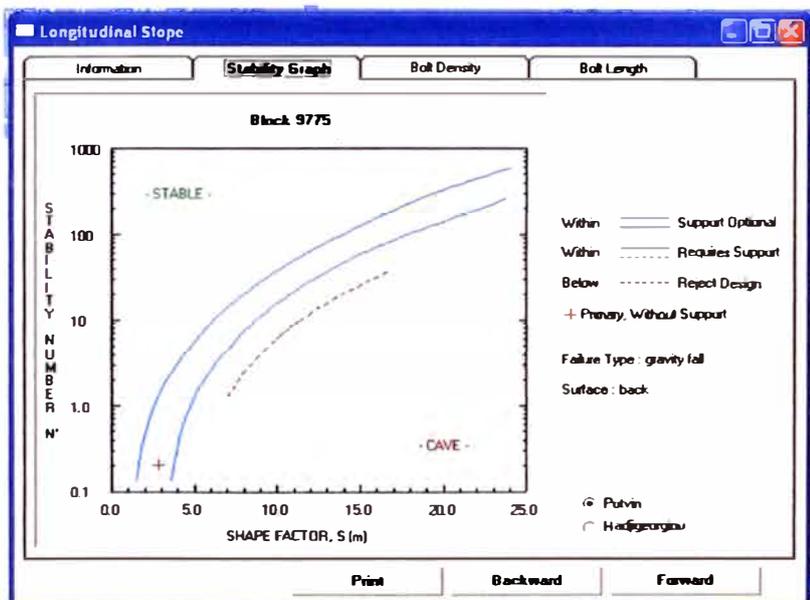
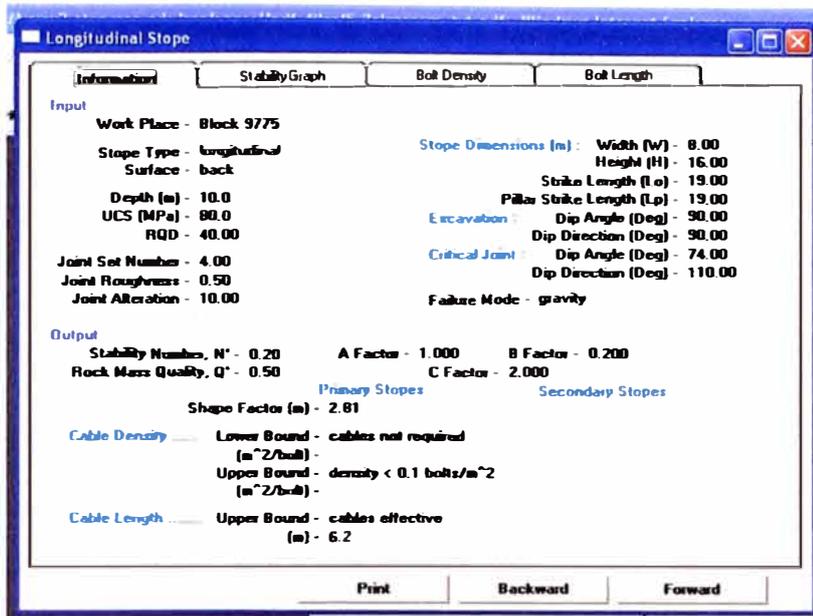
1. Datos de ingreso para determinar el RMR



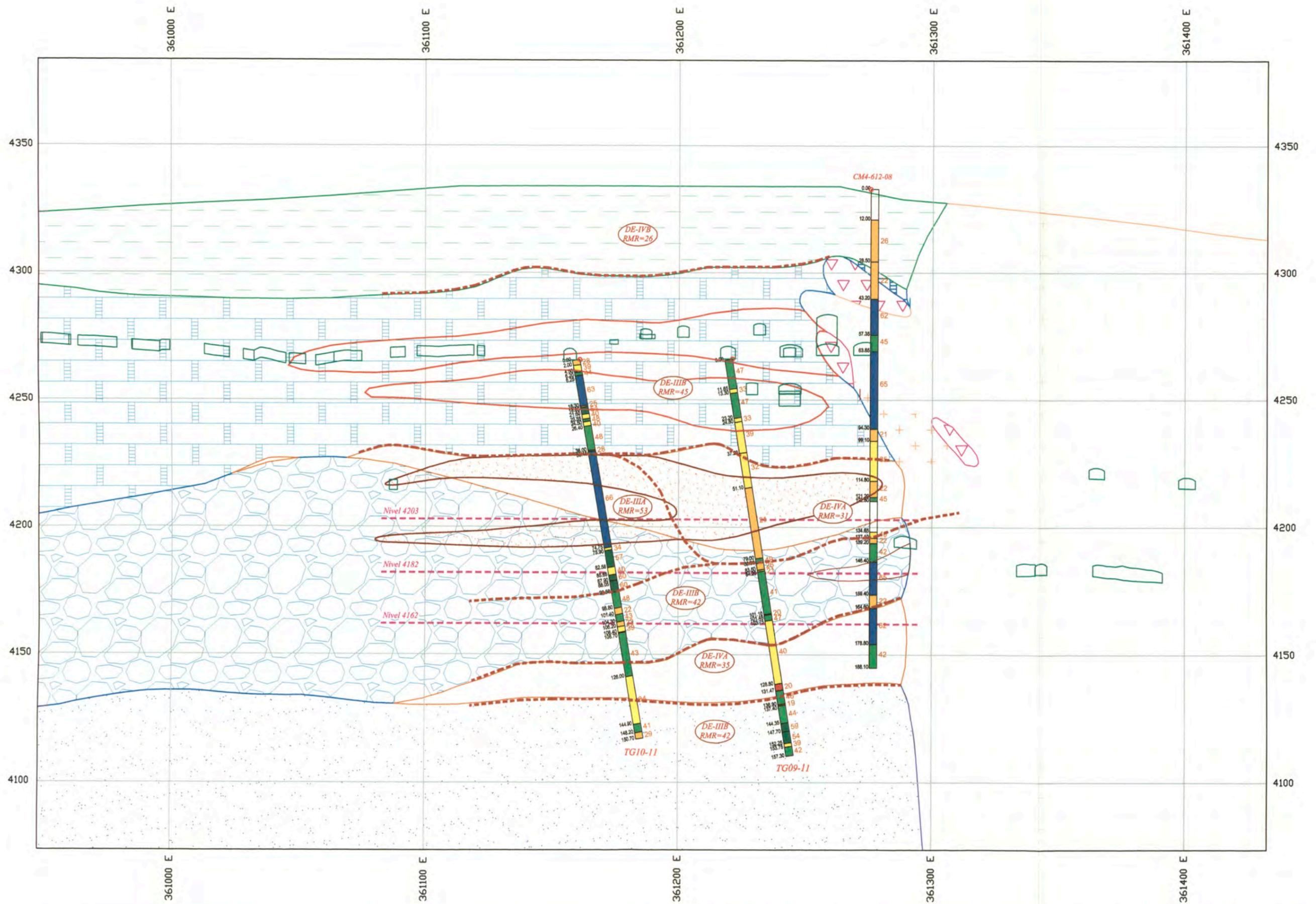
2. Clasificación del tipo de análisis



3. Análisis del Método Grafico de estabilidad



LAMINAS



LITOLOGIA

	Limoarcillita		Vulcanoclasto
	Caliza		Dacita
	Conglomerado		Arenisca
	Brecha		

SIMBOLOGIA

	Labores
	Collar de sondaje
	Límite de dominio estructural
	Dominio estructural Valor de calidad de roca

CALIDAD DE ROCA (RMR)

	Roca Buena	II	(>60)
	Roca Regular A	IIIA	(51 - 60)
	Roca Regular B	IIIB	(41 - 50)
	Roca Mala A	IVA	(31 - 40)
	Roca Mala B	IVB	(21 - 30)
	Roca Muy Mala	V	(<21)

DCR Ingenieros S.R.Ltda.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

BASE CAD	Proporcionado por Mina Colquijirca
GEOLOGIA	Dpto. de Geología - Mina Colquijirca
DIBUJO	S.R.M.
REVISADO	D.C.R.

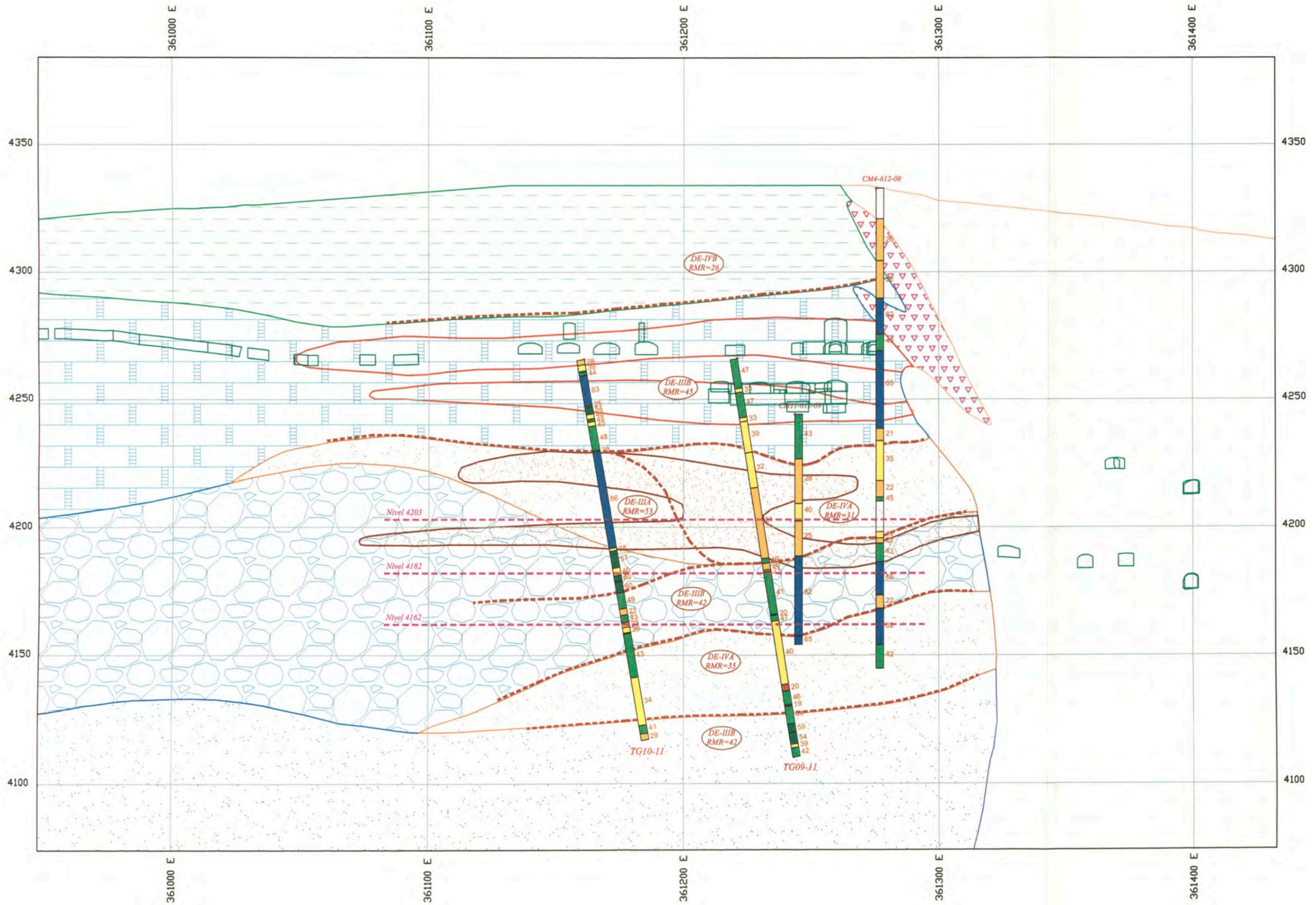
ESCALA:
1/1000

FECHA:
Nov - 2011

EL BROCAL
Sociedad Minera "El Brocal" S.A.A.
UNIDAD COLQUIJIRCA

PROYECTO: Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado

SECCION GEOLOGICA GEOMECANICA 610



LITOLOGIA

	Limoarcilla		Vulcanoclasto
	Caliza		Dacita
	Conglomerado		Arenisca
	Brecha		

SIMBOLOGIA

	Labores
	Collar de sondaje
	Límite de dominio estructural
	Dominio estructural
	Valor de calidad de roca

CALIDAD DE ROCA (RMR)

	Roca Buena	II	(>60)
	Roca Regular A	IIIA	(51 - 60)
	Roca Regular B	IIIB	(41 - 50)
	Roca Mala A	IVA	(31 - 40)
	Roca Mala B	IVB	(21 - 30)
	Roca Muy Mala	V	(<21)

DCR Ingenieros S.R.Ltda.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

BASE CAD	Proporcionado por Mina Colquijirca
GEOLOGIA	Dpto. de Geología - Mina Colquijirca
DIBUJO	S.R.M.
REVISADO	D.C.R.
APROBADO	D.C.R.

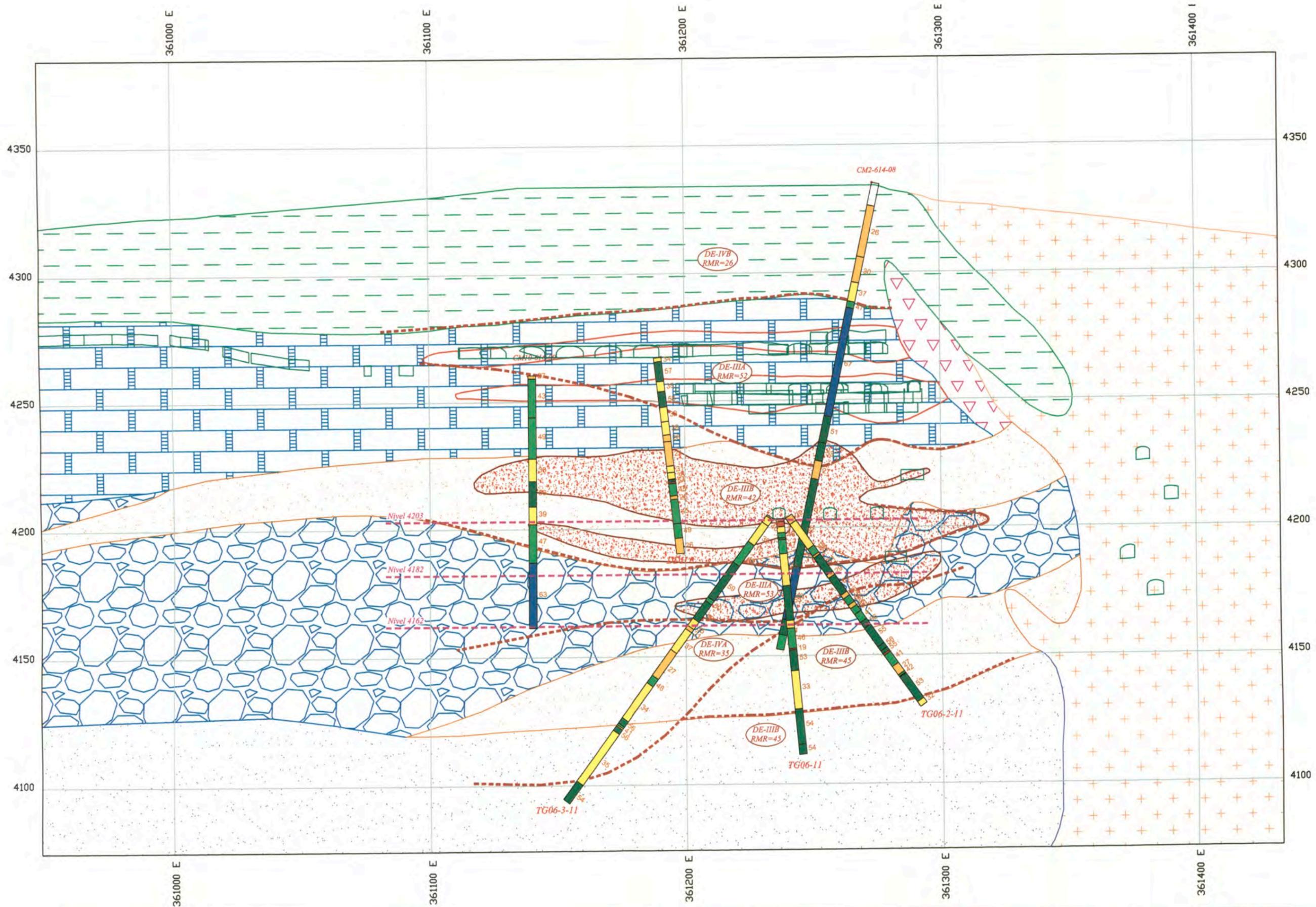
ESCALA:
1/1000

FECHA:
Nov - 2011



PROYECTO: Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado
SECCION GEOLOGICA GEOMECANICA 612

LAMINA:
6



LITOLOGIA

	Limoarcilita		Vulcanoclasto
	Caliza		Dacita
	Conglomerado		Arenisca
	Brecha		

SIMBOLOGIA

	Labores
	Collar de sondaje
	Limite de dominio estructural
	Dominio estructural Valor de calidad de roca

CALIDAD DE ROCA (RMR)

	Roca Buena	II	(>60)
	Roca Regular A	IIIA	(51 - 60)
	Roca Regular B	IIIB	(41 - 50)
	Roca Mala A	IVA	(31 - 40)
	Roca Mala B	IVB	(21 - 30)
	Roca Muy Mala	V	(<21)

DCR Ingenieros S.R.Ltd.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

BASE CAD	Proporcionado por Mina Colquijirca
GEOLOGIA	Dpto. de Geología - Mina Colquijirca
DIBUJO	S.R.M.
REVISADO	D.C.R.
APROBADO	D.C.R.

ESCALA:
1/1000

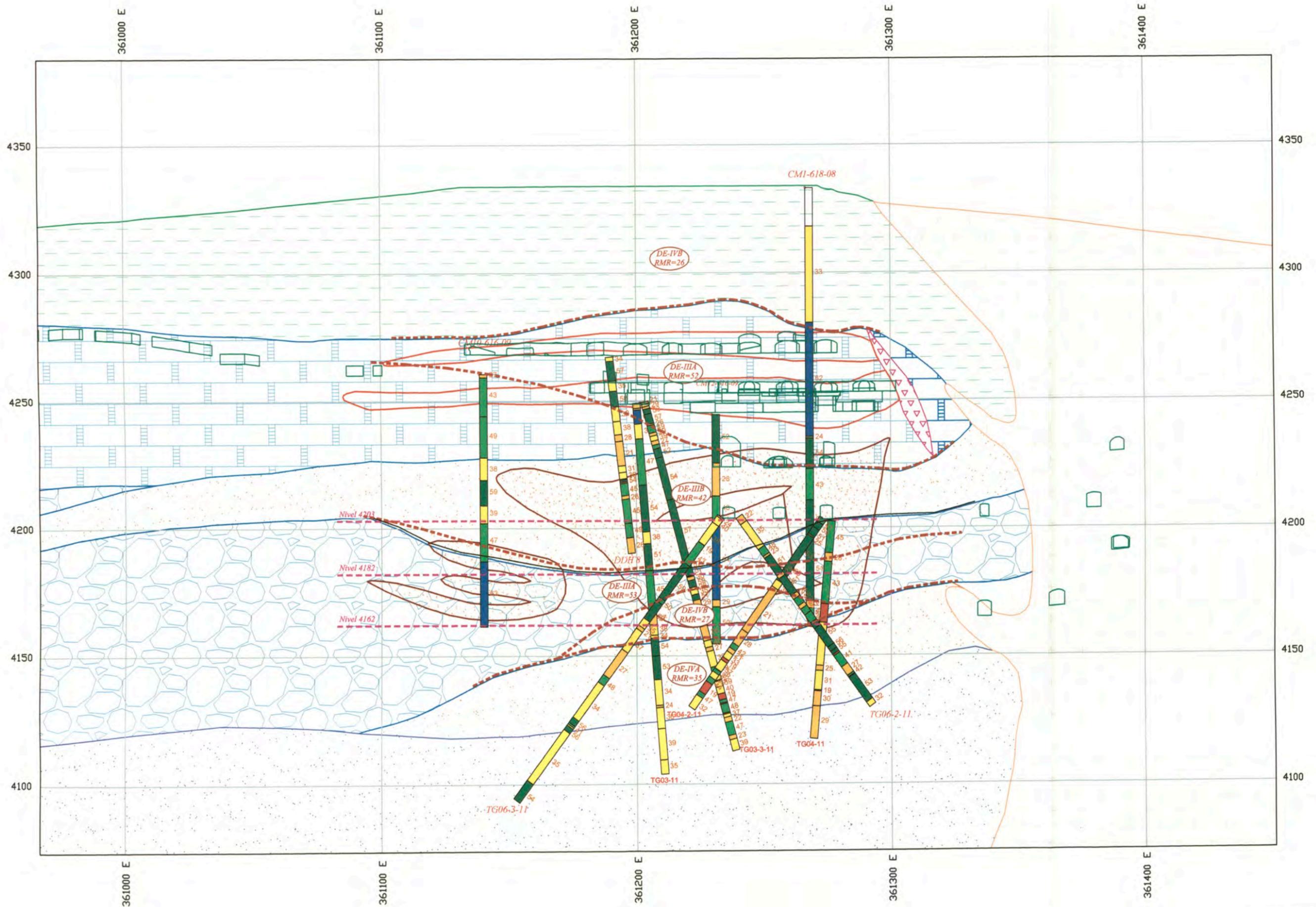
FECHA:
Nov - 2011

EL BROCAL
Sociedad Minera "El Brocal" S.A.A.
UNIDAD COLQUIJIRCA

PROYECTO: Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado

SECCION GEOLOGICA GEOMECANICA 614

LAMINA:
7



LITOLOGIA

	Limoarcillita		Vulcanoclasto
	Caliza		Dacita
	Conglomerado		Arenisca
	Brecha		

SIMBOLOGIA

	Labores
	Collar de sondaje
	Límite de dominio estructural
	Dominio estructural
	Valor de calidad de roca

CALIDAD DE ROCA (RMR)

	Roca Buena	II	(>60)
	Roca Regular A	IIIA	(51 - 60)
	Roca Regular B	IIIB	(41 - 50)
	Roca Mala A	IVA	(31 - 40)
	Roca Mala B	IVB	(21 - 30)
	Roca Muy Mala	V	(<21)

DCR Ingenieros S.R.Ltda.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

BASE CAD	Proporcionado por Mina Colquijirca
GEOLOGIA	Dpto. de Geología - Mina Colquijirca
DIBUJO	S.R.M.
REVISADO	D.C.R.
APROBADO	D.C.R.

ESCALA:
1/1000

FECHA:
Nov - 2011



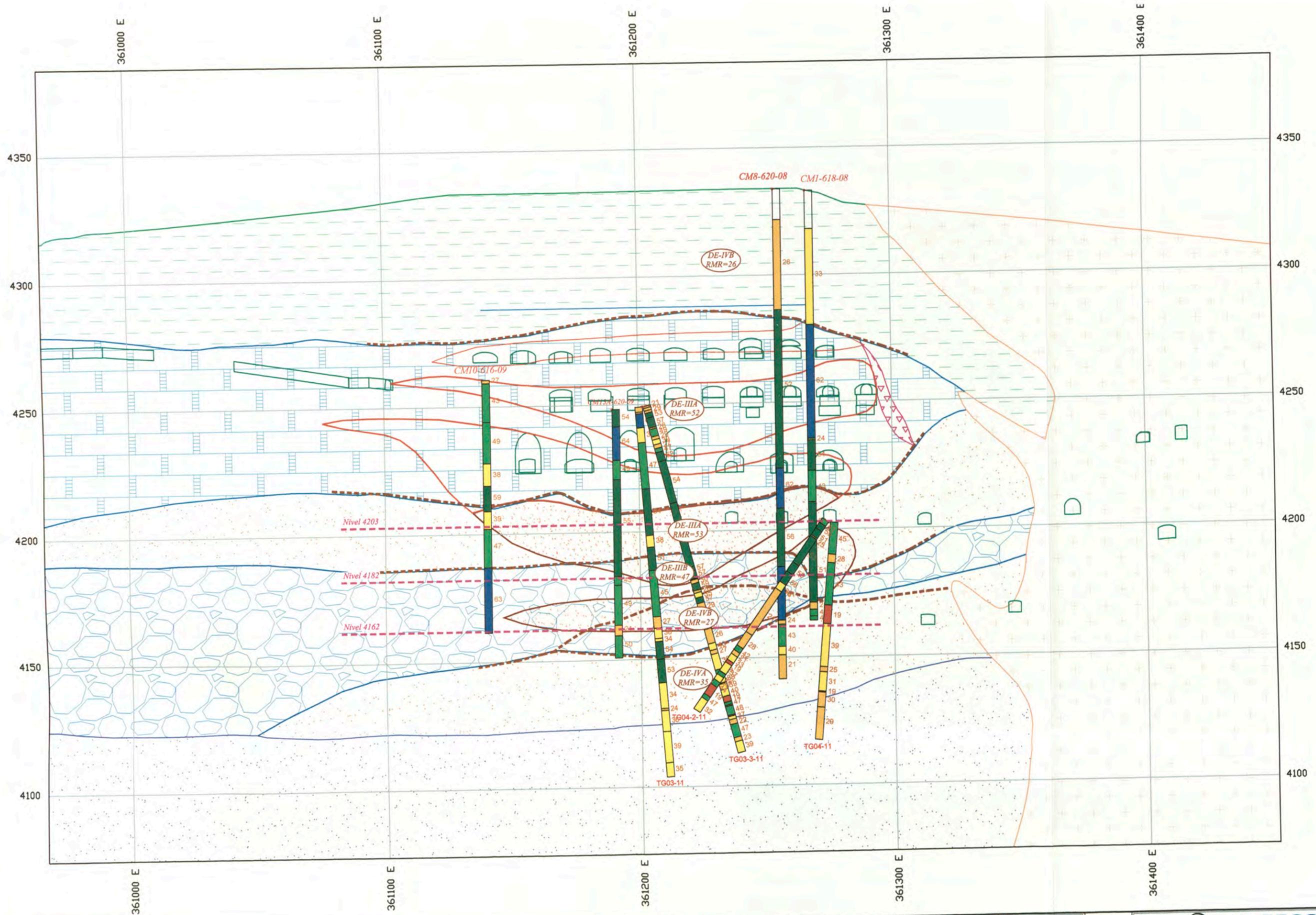
EL BROCAL
Sociedad Minera "El Brocal" S.A.A.
UNIDAD COLQUIJRCA

PROYECTO: Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado

SECCION GEOLOGICA GEOMECANICA 616

LAMINA:

8



LITOLOGIA

	Limoarcillita		Vulcanoclasto
	Caliza		Dacita
	Conglomerado		Arenisca

SIMBOLOGIA

	Labores
	Collar de sondaje
	Límite de dominio estructural
	Dominio estructural
	Valor de calidad de roca

CALIDAD DE ROCA (RMR)

	Roca Buena II	(>60)
	Roca Regular A IIIA	(51 - 60)
	Roca Regular B IIIB	(41 - 50)
	Roca Mala A IVA	(31 - 40)
	Roca Mala B IVB	(21 - 30)
	Roca Muy Mala V	(<21)

DCR Ingenieros S.R.Ltda.
Geomecánica en Minería y Obras Civiles

BASE CAD	Proporcionado por Mina Colquijirca
GEOLOGIA	Dpto. de Geología - Mina Colquijirca
DIBUJO	S.R.M.
REVISADO	D.C.R.
APROBADO	D.C.R.

ESCALA: 1/1000
FECHA: Nov - 2011

EL BROCAL
Sociedad Minera "El Brocal" S.A.A.
UNIDAD COLQUIJIRCA

PROYECTO: Evaluación Geomecánica de la Zona de Brechas y Alternativas de Métodos de Minado

SECCION GEOLOGICA GEOMECANICA 618

LAMINA: 9

