

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y
METALURGICA



GEOMECANICA EN PROFUNDIZACION MINA DE CONSORCIO
MINERO HORIZONTE S.A. UNIDAD PARCOY

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

JAVIER ERWIN ZIMIC PALACIOS

Código: 982169A

Lima - Perú

2010

Dedicatoria:

Dedico este Trabajo de Tesis e investigación a mi Alma Mater la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación sólida recibida y aplicada así como a Mis Padres y Hermanos por su continuo apoyo.

PROLOGO

La minería se encarga de la extracción de los recursos minerales no renovables que se encuentran en la corteza terrestre y su explotación racional. Para ello, debe tener en cuenta los peligros y los riesgos encontrados en el lugar de trabajo. Uno de estos es el desprendimiento de roca en la excavación.

La geomecánica trata de interpretar las respuestas del macizo rocoso a las nuevas excavaciones que se haga en la roca. Se apoya en disciplinas asociadas como la geología local, la geología regional y la geología estructural, cuyo resultado es el modelo geológico, que tiene como fin caracterizar y obtener propiedades de la roca intacta, discontinuidades y masa rocosa y el modelo geomecánico que permite cuantificar los diferentes parámetros de la masa rocosa como las tensiones naturales referidos a los esfuerzos in-situ debido al efecto gravitatorio. Luego el modelo matemático integra los dos modelos anteriores, considerando los aspectos Geométricos

de la excavación pudiendo diseñar o dimensionar las diversas estructuras asociadas a las mismas y su aplicación en el terreno con el sostenimiento seleccionado en forma adecuada. Es, pues, una investigación a cargo del personal de geomecánica, que desarrolla su trabajo en Profundización Mina.

INDICE

CAPITULO I INTRODUCCION A LA EXPLOTACION MINERA.....	6
CAPITULO II OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.....	8
CAPITULO III GENERALIDADES.....	9
3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA Y ACCESO.....	9
CAPITULO IV GEOLOGIA REGIONAL, LOCAL, ESTRUCTURAL Y ECONOMICA.....	11
4.1 FISIOGRAFIA, GEOMORFOLOGIA, DRENAJE Y CLIMA	11
4.2 ESTRATIGRAFIA.....	13
4.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	18
4.4 GEOLOGIA ECONOMICA	21
CAPITULO V METODOLOGIA DE ESTUDIO	30
5.1 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DE ESTUDIO.....	30
CAPITULO VI APLICACIONES GEOMECHANICAS.....	32
6.1 CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS	32
6.2 ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES POR METODO DE CONVERGENCIA.....	45
CAPITULO VII CONSIDERACIONES GEOMECHANICAS EN PROFUNDIZACION MINA	65
7.1 ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO, APLICACIÓN Y CONTROLES.....	69
CAPITULO VIII CONCLUSIONES	88
CAPITULO IX BIBLIOGRAFIA	91
CAPITULO X APENDICE.....	92

CAPITULO I

INTRODUCCION A LA EXPLOTACION MINERA

La minería a través del paso del tiempo ha desarrollado los métodos de explotación con la caracterización geológica del yacimiento como buzamiento, ancho de veta, resistencia de las rocas encajonantes y del mineral y su distribución a través la ponderación de algoritmos y modelos matemáticos se obtiene un método de explotación adecuado que se plasme en la optimización de costos y recursos, donde se manifiestan índices de producción y productividad.

En la Mina Consorcio Minero Horizonte se han desarrollado los métodos de explotación, corte, relleno ascendente y descendente, cámaras y pilares; la necesidad del incremento de reservas minables para continuar con la explotación y vida de la mina se lleva a cabo la Profundización Mina mediante un sistema de rampas, cruceros, cámaras de bombeo y

sedimentación principales y secundarias con diferentes características entre si circundantes a los clavos mineralizados para su extracción.

CAPITULO II

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

El presente trabajo se conceptualiza en la Profundización Mina Unidad Parcoy de CMH, mediante el asesoramiento y supervisión del área de geomecánica en el desarrollo de la mina siendo el objetivo general crear y desarrollar las condiciones estables y seguras de explotación, de tal manera que el lugar de trabajo sea un lugar seguro protegiendo al personal y equipo de cualquier eventualidad por desprendimiento de roca.

Como objetivo específico tenemos la supervisión del área de geomecánica en la Operación de Profundización Mina, dando Asesoramiento en la selección de elementos de sostenimiento como Pernos, Malla, Shotcrete, Cimbras, la combinación de estos así como su correcta aplicación, optimizando los recursos para tener un factor de seguridad en la excavación, mediante la caracterización geomecánica de la excavación y la aplicación de los modelos geomecánicos.

CAPITULO III GENERALIDADES

3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA Y ACCESO

La provincia aurífera de Pataz, con una extensión de 160 Km de largo y de 1 a 3 Km de ancho, es conocida por sus vetas auríferas de cuarzo-sulfuros desde la época incaica (siglos XV y XVI). Durante los últimos 100 años más de 16 minas subterráneas distribuidas en los distritos de Pataz, Parcoy y Buldibuyo han producido 6 millones de onzas de oro y se estima que los recursos asciendan a 40 Millones de onzas aproximadamente.

El área de la empresa Consorcio Minero Horizonte S.A., CMHSA, unidad Parcoy, se encuentra en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento (región) de La Libertad, en las coordenadas geográficas 77°36' Longitud Oeste; 08°00' Latitud Sur, a una altura de 2600 a 4100 m.s.n.m. Es accesible por las siguientes vías:

- Vía Aérea: Trujillo – Pías / Lima – Pías
- Vía Terrestre: Trujillo – Chagual – Parcoy (400 Km. Aprox.)

UBICACIÓN DE UNIDAD PARCOY CONSORCIO MINERO HORIZONTE

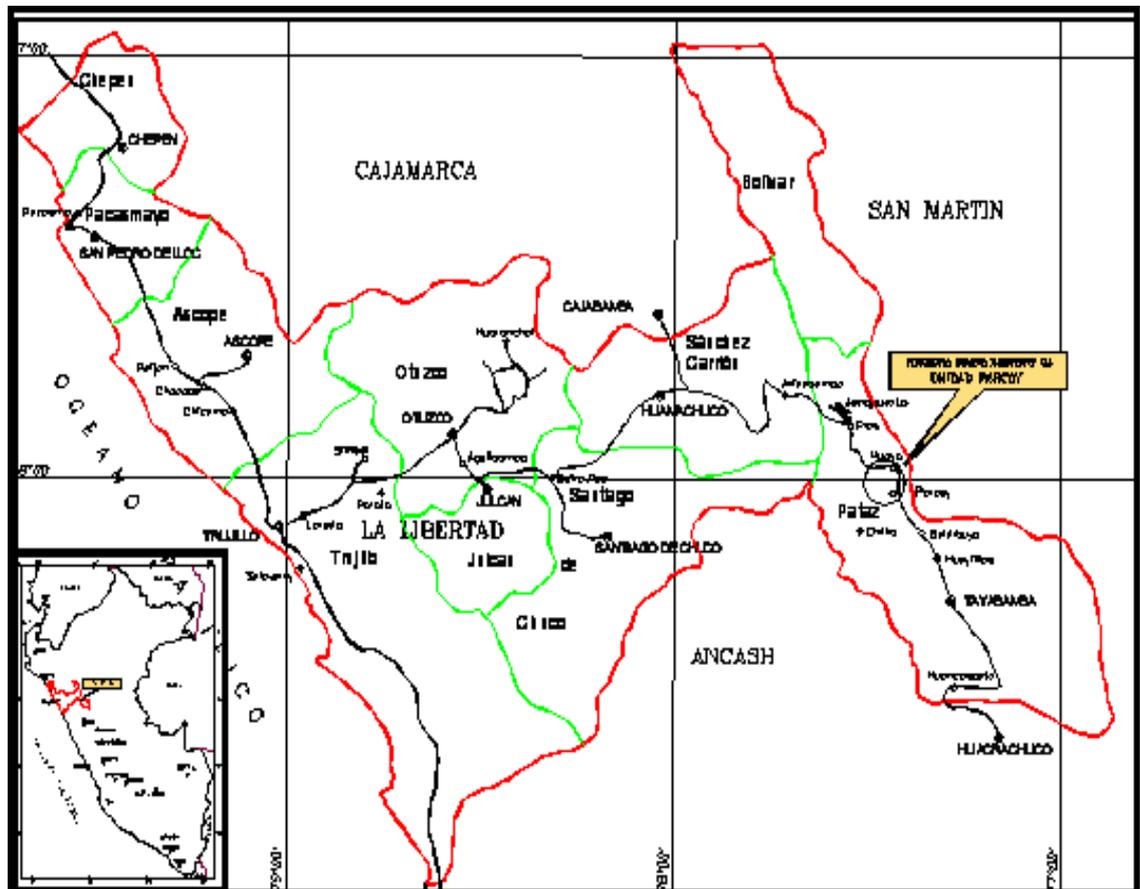


Figura 3.1 Plano de Ubicación Geográfica

CAPITULO IV

GEOLOGIA REGIONAL, LOCAL, ESTRUCTURAL Y ECONOMICA

4.1 FISIOGRAFIA, GEOMORFOLOGIA, DRENAJE Y CLIMA

Fisiográficamente el yacimiento se encuentra en el flanco occidental de la cordillera central, entre valles interandinos, (según Wilson 1964), donde se observan valles agudos y quebradas profundas que se han formado por la erosión glacial fluvial, las que está en proceso de estabilización.

Geomorfológicamente la zona esta afectada profundamente por la acción erosiva de las aguas de escorrentía, por lo que se encuentran relieves empinados, principalmente en épocas lluviosas, lo que limita el desarrollo de la agricultura en la zona. Se pueden observar tres unidades geomorfológicas:

- **Cordillera Oriental**: Caracterizados por geformas positivas que llegan a tener altitudes de 4000 m.s.n.m., las cuales se alinean con el flanco oriental de la cordillera de los Andes.
- **Valles**: Son geformas negativas y angostas, por las que discurre el río Parcoy, el cual desemboca en la laguna de Pías.
- **Terrazas**: Formados por materiales acarreados de las cabeceras de las quebradas hacia el río Parcoy, formando las terrazas, las que se forman muestran un relieve suave y abundante vegetación.

Respecto al drenaje podemos indicar que es enrejado, donde el río Parcoy es uno de los principales colectores de pequeños afluentes. Este río discurre de sur a norte, con rumbo N60°E, con un caudal promedio de 643 l/s, drena por la laguna de Pías, luego desemboca al río Marañon y finalmente llega al río Amazonas.

El clima es en general templado durante el año con lluvias entre los meses de Noviembre y Marzo. Se presentan ventarrones durante los meses de Julio y Agosto. Los cambios de temperatura están controlados básicamente por la geografía, con promedios de 20° en la zona. La vegetación silvestre es abundante cubriendo la superficie de los cerros principalmente en épocas de lluvias.

4.2 ESTRATIGRAFIA

La Historia geológica de la región consta de eventos sedimentarios que van del Precámbrico hasta el Reciente, afectados por intrusiones de diversos tipos, composiciones, así como edades. Regionalmente la geología del distrito esta dominada por tres franjas:

- El basamento Precambriano del Complejo Marañon (Este).
- El Batolito de Pataz del Carbonífero.
- Los estratos deformados del Pérmico – Cenozoico (Oeste)

La geología de la zona esta vinculada a la evolución estratigráfica y estructural de la cordillera Andina del Norte del Perú la cual está formada por la superposición de tres ciclos orogénicos: el Precámbrico, el Hercínico y el Andino.

Rocas Sedimentarias.- La sedimentación del ciclo Andino que es más notoria en la Cordillera Occidental, comienza con las calizas del Grupo Pucará, cubiertas posteriormente por areniscas del Grupo Goyllarisquizga, calizas de la Formación Crisnejas y por las capas rojas de la Formación Chota.

- **GRUPO AMBO** (Ci-a).- constituido por areniscas, lutitas de color gris marrón a verdoso, en capas delgadas, con intercalaciones de conglomerados gris verdoso, duros y compactos en matriz areno

arcillosa, se observan algunos afloramientos remanentes en la quebrada del Chorro y Cabana, sobre el Batolito de Pataz. La edad asignada es de 345 MA, perteneciente al Carbonífero – Missisipiano Medio.

- **GRUPO MITU (Ps-m).**- Conformado por conglomerados rojo ladrillo, lutitas, limolitas, cuarcitas rojo brunáceas y cuarcitas gris brunáceas. Hacia el contacto con el Batolito de Pataz se observan riolitas de tono rojizo. Aflora en los caseríos de Tambo, Cabrillas y Pilancon formando una faja paralela al Batolito de Pataz en este sector. El distrito de Parcoy se sitúa sobre un aluvión donde predominan las Capas Rojas del Grupo Mitu, este aluvión cubre al Batolito, observándose remanentes hasta Retamas. Se asignó al Periodo Pérmico superior, 280 Ma.
- **GRUPO PUCARÁ (TrJi-p).**- Conformado por calizas grises, negras y gris blanquecinas en bancos gruesos, parcialmente silicificadas y con nódulos de sílice blanco. Se observan como blocks rodados sobre las Capas Rojas y en el cauce y bordes del río Mishito. Aflora en forma paralela al Grupo Mitú, hacia el oeste.
- **FORMACION CRISNEJAS (Ki-cr).**- Consiste de calizas grises a pardas, areniscas calcáreas, lutitas calcáreas, en capas medianas a delgadas. Tiene la misma litología de la Formación Chulec. El contacto superior es una discordancia erosional con los sedimentos

clásticos de la Formación Rosa, Chota o Capas Rojas. Aflora en el flanco oeste del río Parcoy, Pías, camino a Pataz, quebrada Condormarca y Calemar. Potencia estimada de 200 m. Se le ha asignado al período Cretáceo inferior (Albiano 120 MA).

- **FORMACION CHOTA** (Ksp-ch).- Consiste de areniscas, limolitas, conglomerados finos en capas delgadas, medianas y gruesas, de color rojo intenso y gris brunáceo, en estratificación irregular. Predominan las capas lenticulares. Aflora en Alpamarca, camino a Pías. El ancho estimado es de 200 m y está asignado al Cretáceo inferior (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior. 115 MA.)

Rocas Metamórficas.- El Precambriano corresponde a las rocas del Complejo Marañon, el Hercínico esta formado por las pizarras de la Formación Contaya.

- **COMPLEJO MARAÑON** (Pe-cma).- Constituida por filitas de color verde oliva, textura fina, brillante, con esquistocidad, contiene talco, clorita, sericita, calcita; aflora en Llacuabamba, en el flanco NE y se ha estimado un ancho de 250 m. Infrayacen andesitas silicificadas, dacitas, microdioritas. Se le conoce también como Metavolcánicos, rocas de grano fino a grande, porfíricos, lavas de color gris a gris verdosa, aflora en el flanco Este del río Parcoy; potencia estimada

250 m. Como base del complejo tenemos mica, esquistos, rocas foliadas gris verdosa, la foliación grada desde una laminación fina a una esquistocidad somera; con el esquisto están asociados vetillas de cuarzo de rumbo variable que generalmente cortan la foliación, esto se observa sobre la trocha a la Soledad a la altura de la curva 8 y en el Cementerio de Llacuabamba. Se le asigna al Neoproterozoico – Cámbrico.

Rocas Volcánicas.- En el permiano superior tenemos una acumulación volcánica andesítica conocida como volcánico Lavasen, que tiene una amplia distribución en las partes altas de Parcoy, principalmente al Este, margen derecha del río Parcoy.

- **Volcánico Lavasen** (Csp-lav).- Está constituido por bancos macizos, gruesos, casi horizontales, de piroclásticos grisáceos, tufos dacíticos, riolíticos, en menor proporción brechas y tufos andesíticos. Aflora en las cumbres de la margen derecha del río Parcoy, sobre el complejo Marañón y batolito de Pataz, el ancho estimado es de 1,500m. Edad: Paleozoico, Período: Carbonífero Superior, Permiano Inferior.

- **Rocas Intrusivas.-** Durante el carbonífero las rocas de la zona hasta ese entonces depositadas fueron afectadas por una gran intrusión magmática de composición calcoalcalina, denominada

“Batolito de Pataz”. Posteriormente en el Paleógeno se produjeron emplazamientos intrusivos menores de composición diorítica a cuarzo monzonítica.

BATOLITO DE PATAZ: La composición litológica del Batolito es ácida a intermedia, caracterizado por granodiorita, diorita y cuarzo-monzonita. Diques aplíticos, microdioríticos y andesíticos posteriores, afectan al Batolito y en algunos casos cortan algunas vetas. La textura de las rocas plutónicas es variable, son comunes las tonalitas y granodioritas con zonación a bordes dioríticos así como pulsaciones más jóvenes de cuarzo-monzonita. En los bordes y cúpulas se observan xenolitos de microdiorita. El batolito de Pataz aflora con un rumbo promedio de N30°W (lineamiento andino) cuyo contacto con las rocas circundantes es irregular y fallado. Estructuralmente, el batolito está sumamente fracturado y fallado, probablemente porque es un cuerpo tabular estrecho, que se emplazó en una zona de falla extensional, que subsecuentemente se reactivó como una zona de falla inversa oblicua. (E. Nelson). Su longitud reconocida en la región es de 120 Km aproximadamente y con un ancho de 2 Km. En el sector de Parcoy, este macizo rocoso está controlado por dos lineamientos mayores de orientación N30°W. La edad ha sido datada en varios estudios, destacando la data de Schreiber et al (1990), el cual por el método de ⁴⁰AR/³⁹Ar definió edades entre 305 Ma. – 321 Ma. Estudios más

recientes de Haeblerlin et al (1992) por el mismo método, registraron edades entre 322 Ma – 328 Ma.

DEPÓSITOS CUATERNARIOS: Existen depósitos coluviales sobre el Batolito de Pataz, acompañado de suelos recientes. Se observan acumulaciones de sedimentos fluviales que muestran una deficiente selección granulométrica sin estratificación definida, formando depósitos cuaternarios recientes generalmente de naturaleza ígnea (terrenos de cultivo actuales), en el sector de Cabana, parte inferior de Mishito grandes áreas del batolito están cubiertos por depósitos coluviales hasta el río Llacuabamba.

4.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Según el cuadro tectónico descrito por Wilson Reyes (1967)

Para la zona existen 4 unidades tectónicas, una provincia de pliegues, un área imbricada, las fosas tectónicas del Marañón y una zona de bloques fallados, siendo esta última la que correspondería a nuestra área de estudio.

La provincia de bloques fallados se caracteriza por haber sufrido movimientos predominantemente verticales a lo largo de fallas que tienen rumbo aproximado NW-SE. En la unidad de Parcoy es importante indicar y definir un gran bloque tipo graben, “La Virgen”, que ha bajado y cuyos límites son:

- Al Sur: La falla “H”.
- Al Norte: entre Cachica
- Al Este: Potacas.
- Al Oeste: La gran falla regional que pasa por el río Parcoy-Alpamarca y al W por toda la falda de Pilacones y Pampa Espino. Este bloque influye en la mineralización y en la profundidad del yacimiento.

El Distrito minero ha sido afectado por los diferentes eventos tectónicos sufridos en los últimos 399 Ma dando como resultado una complejidad estructural muy marcada. No presenta fuerte foliación, por lo que se supone intruyó la corteza superior en una zona extensional. Dicha zona extensional se habría reactivado subsecuentemente como consecuencia de un sistema de fallas inversas oblicuas durante la mineralización y de nuevo por callamiento post-mineralización.

Las fallas producto de los eventos tectónicos regionales, pueden haber tenido un efecto en la distribución de zonas mineralizadas en el distrito de Parcoy, que incluye cizallamiento y plegamiento pre-mineral, sin-mineral y post-mineral. Los eventos pre-mineral incluyen deformación y metamorfismo en el Complejo Marañon Proterozoico (la orientación estructural o direcciones de compresión no son muy reconocidas), débil acortamiento NW-SE en el Ordoviciano, acortamiento NE-SW en el Devoniano tardío, y extensión NW-SE durante la intrusión del Batolito de Pataz en el Missisipiano (Haeberlin y Fontboté, 2002).

El contacto occidental del Batolito es una falla Cenozoica tipo “Strike-slip” (salto sobre su rumbo) orientada $350^{\circ}/85^{\circ}$, como lo indican las estriaciones de falla horizontal “Slickenlines” observadas en la Quebrada Balcón. Esta falla es casi paralela a todas las vetas occidentales y probablemente sea una reactivación de una falla de primer orden sin-mineral (E. Nelson, 2003). El área presenta tres sistemas de fallas importantes:

- **SISTEMA DE FALLAMIENTO NW-SE (ANDINO):** Son fallas postminerales de rumbo paralelo - subparalelo a la veta originando ensanchamiento, acuñaamiento, concentración de valores por dilatación térmica, creando un campo térmico favorable para la reactivación de mineral, etc. Son de carácter normal – sinextral e inversa.
- **SISTEMA DE FALLAMIENTO NE-SW a NS (ANTIANDINO):** Son fallas de alto buzamiento al W, se presentan agrupadas, se le considera como fallas gravitacionales. Las vetas muchas veces se hallan afectadas por este tipo de fallamiento ya sea normal como inverso, etc.

- **SISTEMA DE FALLAMIENTO PRINCIPAL E - W (TRANSVERSALES):** Son fallas mayores de rumbo promedio E -W, las que originan las fallas de tipo dextral

4.4 GEOLOGIA ECONOMICA

Las fracturas pre-existentes a la mineralización tiene un rumbo paralelo a las grandes fallas N-S con buzamiento variable al Noreste, la mineralización rellenó estas fracturas con cuarzo, pirita que posteriormente fueron afectadas por fallas transversales; esto dio origen a que las vetas presenten un modelo tipo rosario.

Las vetas son típicamente mesotermales donde prima la asociación “cuarzo, pirita, oro” así como otros minerales asociados en menor magnitud como clorita, sericita, calcita, ankerita, galena, esfalerita.

Las vetas se alinean a una dirección dominante N20°W con buzamientos al NE, siendo casi todas el resultado del emplazamiento del sistema de fallas de cizalla., así mismo se han identificado “sistemas” de vetas, constituidos por una veta central o principal con ramales y sigmoides asociados. La mayoría de las vetas presentan marcadas variaciones en rumbo y buzamiento, generando zonas de mayor apertura y enriquecimiento, emplazados en zonas de debilidad y cizallamiento que favorecieron el relleno mineralizante y la formación de “clavos”. La extensión horizontal e individual de las estructuras es algunas decenas

de metros las cuales están controladas por fallas transversales sinextrales en la mayoría de los casos, de actividad tanto pre como post al emplazamiento de la mineralización.

La paragénesis de las vetas auríferas es simple y repetida.

- **Estadío I:** Corresponde al relleno mas antiguo de cuarzo lechoso acompañado de pirita gruesa y arsenopirita, por reactivación tectónica de las vetas se produce el fracturamiento y microfracturamiento de los minerales depositados en esta etapa.
- **Estadío II:** Ocurre el ascenso de cuarzo gris de grano fino, esfalerita con exsoluciones de calcopirita y pirrotita, posteriormente galena con inclusiones de sulfosales de Sb, el electrum esta hospedado principalmente en la esfalerita. Precipitando mas tarde el Oro nativo generalmente con galena y también en la pirita fracturada, hacia el final de esta etapa tiene lugar un proceso de recristalización a pequeña escala y nueva deposición de pirita y arsenopirita.

En una etapa tardía se deposita cuarzo con carbonatos. El volumen de los minerales del estadío I es mucho mayor que los depositados en el estadío II, sin embargo este estadío es la etapa aurífera.

Los minerales que conforman las estructuras de interés económico son:

- **Macroscópicamente:** Cuarzo lechoso con abundante pirita. En algunas zonas se observa pequeñas cantidades de galena, esfalerita y arsenopirita. También se observa oro nativo en el cuarzo.

- **Microscópicamente:** A continuación se nombra el orden decreciente de abundancia de los minerales hipógenos y supérgenos (Según Luís Ángel de Montrevil Díaz).
 - Cuarzo (SiO_2), componente predominante
 - Pirita (FeS_2)
 - Calcita (CaCO_3)
 - Sericita $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
 - Arsenopirita FeAsS
 - Galena PbS
 - Esfalerita (Zn,Fe)
 - Calcopirita (CuFeS_2)
 - Oro Nativo (Au)
 - Esfena o Tetanita (CaTiSiO_3)
 - Pirrotita FeS_{1-x}
 - Cerusita PbCO_3
 - Covellita CuS
 - Limonita (goethita) $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{nH}_2\text{O}$
 - Bornita Cu_5FeS_4

ALTERACIONES

Respecto de las alteraciones podemos indicar que, en estos tipos de depósitos, la alteración hidrotermal esta íntimamente relacionada a los mecanismos de deformación y geometría de las zonas de fractura y cizalla. Por otro lado, varían ampliamente de acuerdo a la litología y temperatura de los fluidos hidrotermales. Depósitos formados a diferente temperatura dentro de similares protolitos pueden tener diferentes ensambles de alteración hidrotermal.

Las alteraciones asociadas con la mineralización son:

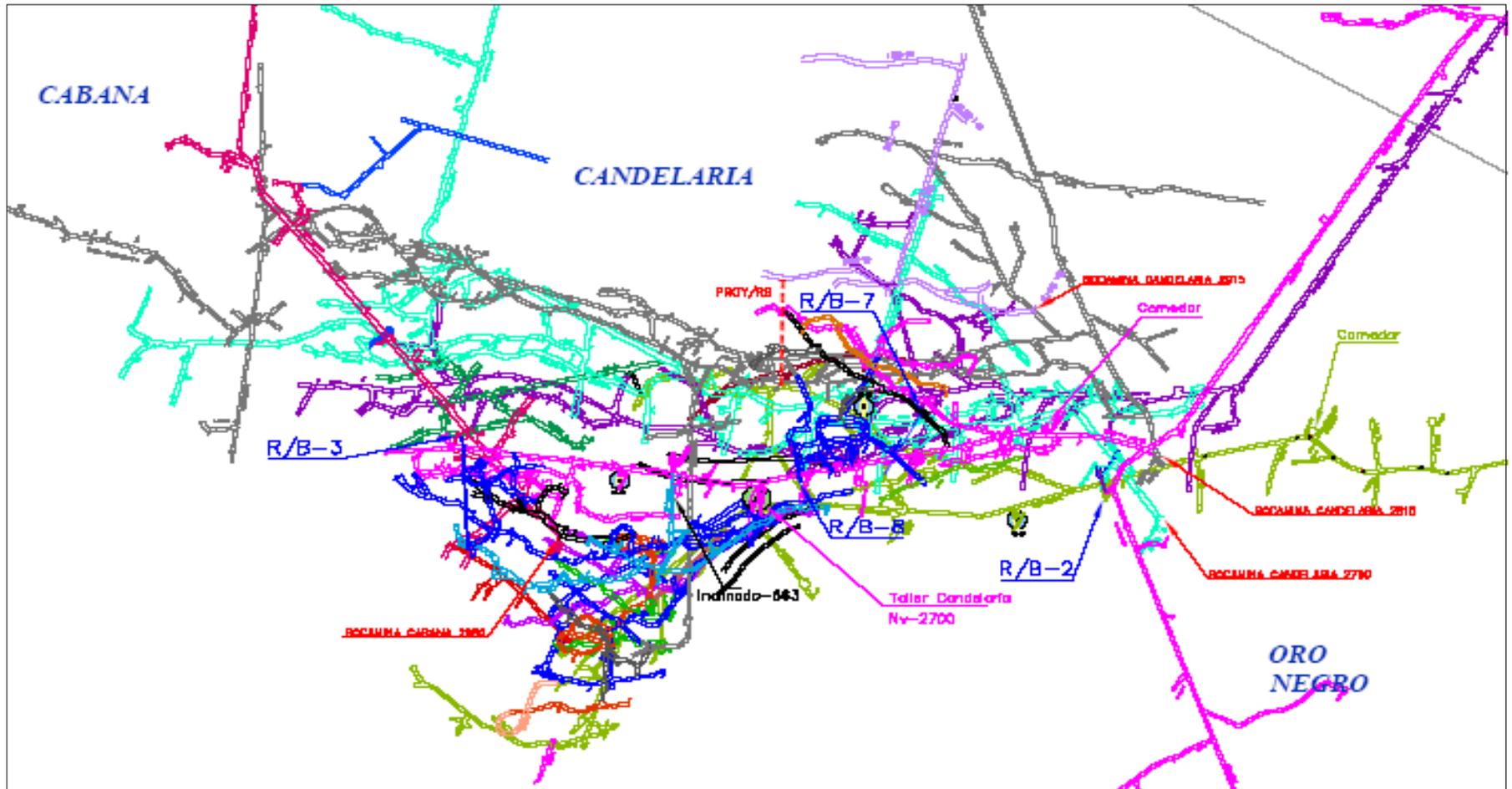
- **Sericítica:** En la zona de alteración el cuarzo es el único mineral primario no alterado, el resto de minerales fue reemplazado por sericita, cloritas y pirita; a veces la clorita, como producto de alteración temprana, es reemplazada en una fase posterior por mica blanca (moscovita). En general la roca alterada presenta un color crema. El halo de alteración se extiende a pocos cm. o a veces a varios metros de la estructura mineralizada.
- **Propilítica:** Es una alteración hidrotermal temprana y esta afectando a los ferro-magnesianos de los diferentes tipos de rocas. Esta ampliamente distribuida como halos externos y adyacentes a la alteración Sericítica.

Algunas consideraciones estructurales revelan que los sistemas de vetas se encuentran alineadas en dirección NNW, es decir, paralelas a los sistemas de fallas regionales de emplazamiento del Batolito. Se han reconocido fallas transversales a las regionales, probablemente posteriores a la mineralización, estas son las fallas "H", "Beta", "Norte" y "Balcón". Estas fallas dividen al batolito en bloques, los cuales presentan posibles movimientos de basculamiento, esto se puede evidenciar en el diferente buzamiento de las vetas en el Norte, Centro y Sur.

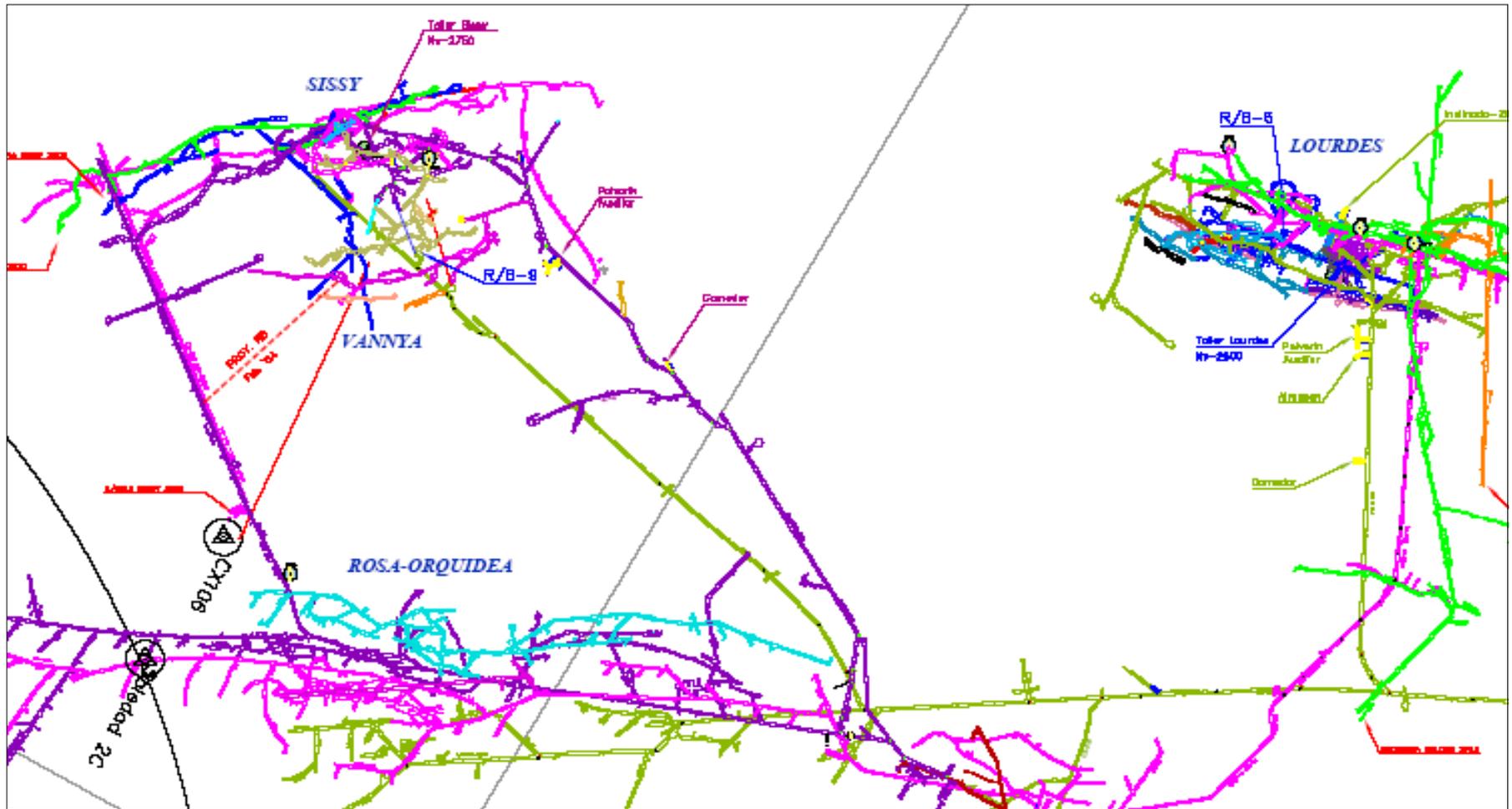
La mineralización con mejores valores de Oro se encuentra en los cambios significativos en la inclinación de las vetas así como en la cercanía a las intersecciones de estructuras. Las cuatro estructuras principales o "clavos" del Yacimiento de Parcoy son: "Milagros", "Lourdes", "Candelaria" y "Rosa Orquídea", estas tienen longitudes de hasta 400 m. con anchos promedios del orden de los dos metros, su inclinación varía de 35° a 90°, siendo en promedio 65° al Este, estas estructuras se caracterizan por presentar ensanchamientos (clavos) así como estrangulamiento de las franjas económicas, muestran ramaleos tipo "cola de caballo" desprendimiento de ramales o splits y sigmoides asociados.

Zonas de Explotación en la U.M. Parcoy	
Zona	Veta
Sur	Cabana Candelaria Oro Negro
Centro	Sissy Vannya Rosa Orquídea Lourdes
Norte	Milagros Golden

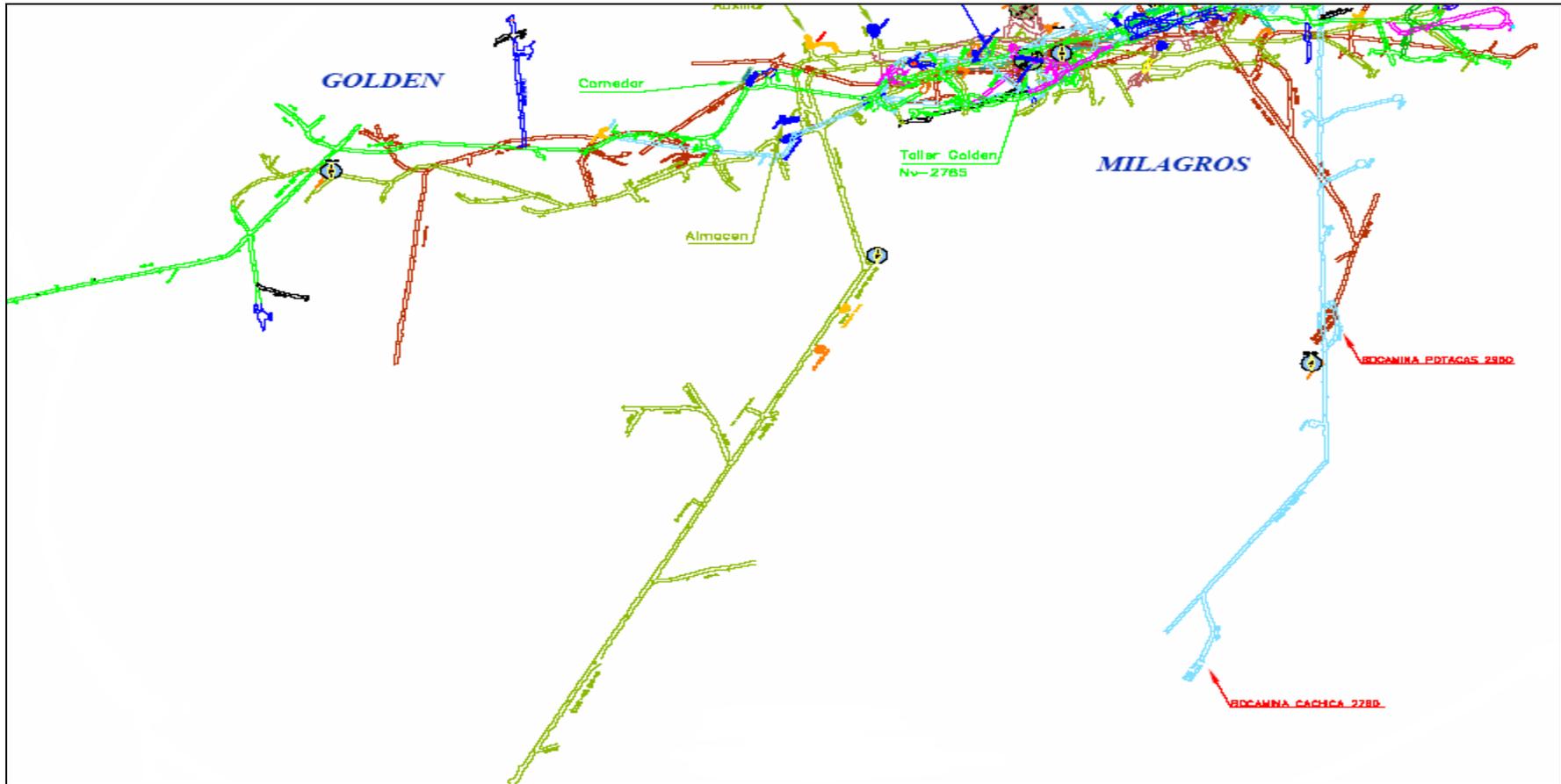
Cuadro 4.1 Zonas de Explotación - Producción



ZONA SUR



ZONA CENTRO



ZONA NORTE

CAPITULO V

METODOLOGIA DE ESTUDIO

5.1 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DE ESTUDIO

La metodología de estudio consiste en tener una base mediante la caracterización de la masa rocosa para el diseño de excavaciones se involucran tres tipos de modelos: el geológico, el geomecánico y el matemático como se presenta a continuación:

MODELO GEOLOGICO

Se determina las propiedades generales de la masa rocosa

- Meteorización, alteración , intemperización
- Sistemas litológicos,
- Sistemas estructurales
- Sistemas hidrológicos
- Sistemas sismológicos
- Características geológicas de las discontinuidades

MODELO GEOMECANICO

Se determina las propiedades de comportamiento mecánico

- Propiedades mecánicas de la Roca Intacta
- Propiedades mecánicas de las discontinuidades
- Calidad de Roca
- Resistencia de la masa rocosa
- Esfuerzos in situ
- Calidad de la excavación, formas tamaños y orientación de la excavación

MODELO MATEMATICO

- Equilibrio Limite
- Modelos Continuos
- Modelos Discontinuos
- Algoritmos, Formulas y procedimientos matemáticos para cuantificar la roca intacta, discontinuidad y masa rocosa.
- Cuantificación de esfuerzos, deformaciones, fuerzas, factor de seguridad.
- Cuantificación de tiempos de autosostenimiento, aberturas máximas, avances máximos sin sostenimiento.
- Diseño y Cuantificación del sostenimiento a colocar.

CAPITULO VI

APLICACIONES GEOMECHANICAS

6.1 CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS

6.1.1 ROCK MASS RATING (RMR), VALORACION DE LA MASA ROCOSA

(Bienawski 1989)

- **Resistencia a la compresión Uniaxial (σ_c)**

Se determina mediante un ensayo sobre muestras cilíndricas provenientes de núcleos de perforación se comprime en la dirección longitudinal obteniéndose la resistencia de la roca intacta.

- **Rock Quality Desing (RQD)**

Se determina por la suma de los testigos de perforación mayor a 10 cm entre la longitud de 150 cm (Corrida).

- **Espaciamiento**

Es la distancia perpendicular entre los límites de la discontinuidad se determina por un flexometro.

- **Características de las Discontinuidades**

- Rugosidad

- Es un factor relacionado al corte, que se mide el grado de aspereza de la superficie de la discontinuidad.

- Apertura

- Es la separación o llamado también abertura de discontinuidades

- Persistencia

- Es la longitud de la discontinuidad es inversa a la calidad del terreno

- Relleno

- Es la materia que se encuentra entre las discontinuidades

- Intemperismo

- Es el grado de desintegración que presenta la discontinuidad

- **Agua Subterránea**

- Indica la cantidad de agua a través del volumen por las discontinuidades se pondera para un dominio estructural.

- **Factores influyentes en la determinación del RMR**

- Se determina por condiciones favorables, medias y desfavorables

- Orientación por Rumbo

- Orientación por Buzamiento

Cuadros de Valoración de la Masa Rocosa de Bienawski RMR 1989

A. Parametros de Clasificación y sus Valoraciones

Parametro		Rango de Valores				
1	Resistencia de la roca intacta	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	1 - 25 Mpa
	Valoracion	15	12	7	4	1
2	R.Q.D.	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Valoracion	20	17	13	8	3
3	Espaciamiento	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm
	Valoracion	20	15	10	8	5
4	Condicion de las Discontinuidades	Superficies muy rugosas no continuas cerradas, sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura < 1mm Paredes Ligeramente Intemperizadas	Superficies ligeramente rugosas Apertura < 1mm Paredes altamente Intemperizadas	Espejo de falla o panizo <5 mm de espesor Apertura de 1 - 5 mm Juntas Continuas	Relleno tipo Panizo suave >5 mm de espesor o Apertura > 5 mm Juntas Continuas
	Valoracion	30	25	20	10	0
5	Agua Subterranea	Seco	Humedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Valoracion	15	10	7	4	0

Cuadro 6.1.1 Clasificación de la Masa Rocosa y su Valoración

B. Ajuste de la Valoración por Orientación de las Discontinuidades (Ver F)

Parametro	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valor	0	-2	-5	-10	-12

Cuadro 6.1.2 Valoración por Orientación de las Discontinuidades

C. Clase de Masa Rocosa Determinada por la Valoración Total

Valoración RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Numero de Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca Mala	Roca muy Mala

Cuadro 6.1.3 Clase de Roca por Tipo de Roca

D. Significado de la Clase de Roca

Numero de clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de autosostenimiento	20 años span 15m	1 años span 10m	1 semana span 5m	10 horas span 2.5m	30 minutos span 1m
Cohesion de la masa rocosa KPa	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Angulo de friccion de masa rocosa	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Cuadro 6.1.4 Clase de Roca, Tiempo de Autosostenimiento, Cohesión y Angulo de Fricción

E. Valoracion de las Condiciones de las Discontinuidades

Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Valoracion	6	4	2	1	0
Apertura	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Valoracion	6	5	4	1	0
Rugosidad)	Muy rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Espejo de falla
Valoracion	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5 mm	Relleno suave > 5mm
Valoracion	6	4	2	1	0
Intemperizacion	Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperizada	Descompuesta
Valoracion	6	5	3	1	0

Cuadro 6.1.5 Valoración de las Discontinuidades

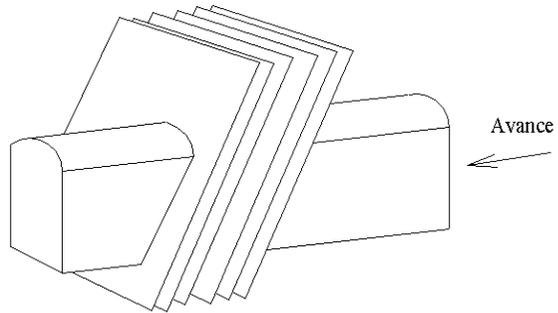
F. Efecto de la Orientacion y Buzamiento de las Discontinuidades en Tuneleria

Rumbo perpendicular al eje del tunel		Rumbo paralelo al eje del tunel	
Avance con el buzamiento 45°- 90°	Avance con el buzamiento 20°- 45°	Buzamiento 45°- 90°	Buzamiento 20°- 45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Avance contra el buzamiento 45°- 90°	Avance contra el buzamiento 20°- 45°	Avance contra el buzamiento 45°- 90°	Avance contra el buzamiento 20°- 45°
Moderado	Desfavorable	Moderado	

Cuadro 6.1.6 Condiciones por Orientación de la Excavación

- Rumbo perpendicular al eje de la excavación

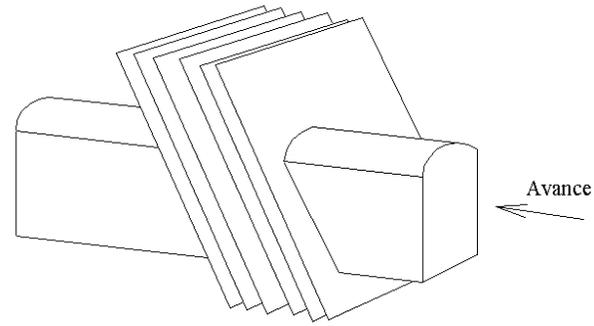
→ Avance con el buzamiento



CONDICION MUY FAVORABLE – cuando buzamiento es de $45^\circ - 90^\circ$

CONDICION FAVORABLE – cuando el buzamiento es de $20^\circ - 45^\circ$

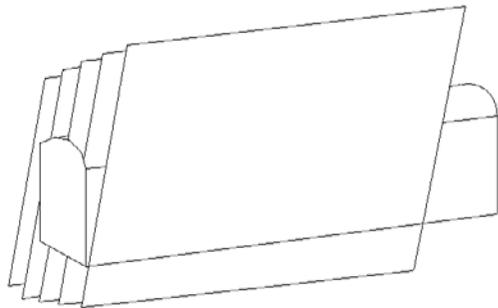
→ Avance contra el buzamiento



CONDICION REGULAR – Cuando el buzamiento es de $45^\circ - 90^\circ$

CONDICION DESFAVORABLE – Cuando el buzamiento es de $20^\circ - 45^\circ$

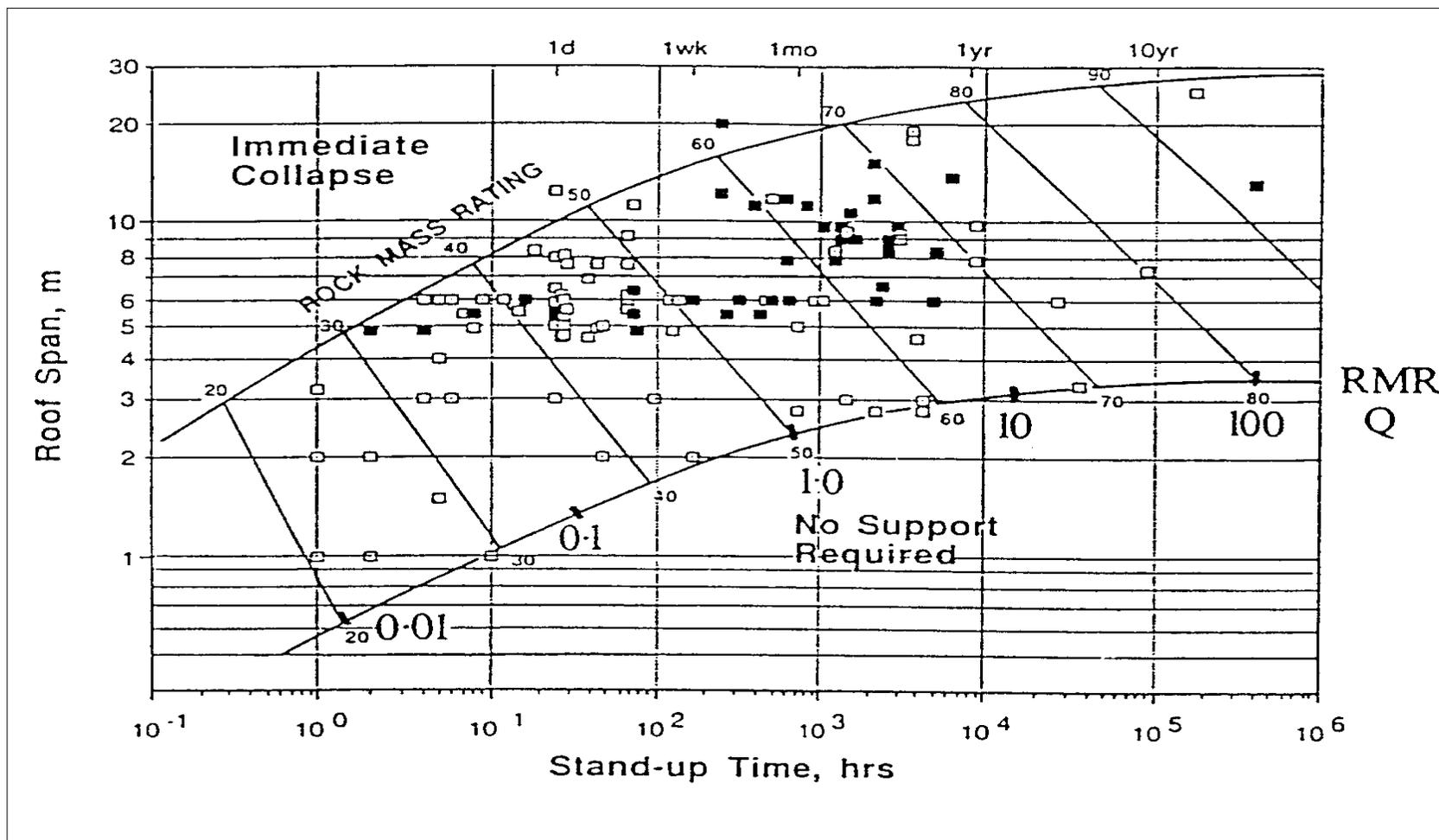
- Rumbo paralelo al eje de la excavación



CONDICION MUY DESFAVORABLE – Cuando el buzamiento es de $40^\circ - 90^\circ$

CONDICION REGULAR – Cuando el buzamiento es de $20^\circ - 45^\circ$

Fig. 6.1.1 TIEMPO DE AUTO SOSTENIMIENTO



- En la mina Parcoy se usa para la clasificación geomecánica el criterio de BIENAWISKI RMR 1989 que se muestra en el siguiente ejemplo con los parámetros anteriormente descritos y usando los formatos

EJEMPLO DE EVALUACION GEOMECANICA

LABOR : CR 1525

ZONA : NORTE

NIVEL : 2600

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)												
PARAMETROS		VALOR ESTIMADO									VALORACION	
1	R. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	7	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1			7	
2	RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)		25-50 (8)	8	<25 (3)	2		8	
3	ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	10	0.06-0.2 (8)		< 0.06 (5)	3		10	
4	CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	4	3-10m (2)		10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4	
		APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	4	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4	
		RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)		Lisa (1)	1	Espejo de falla (0)	4C	1
		RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)	1	Suave > 5 mm (0)	4D	1
		INTEMPERIZA.	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (3)	3	Muy Intempe. (2)		Descompuesta (0)	4E	3
5	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Humedo (10)	10	Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =											48	

CORRECCION POR RUMBO Y BUZAMIENTO =

DIRECCION SEGUN EL BUZAMIENTO B = (20-45) =

-2

RMR = 46

LABOR CON RMR 40-60

ROCA REGULAR

SE RECOMIENDA PERNO HELICOIDAL DE 6 PIES ESPACIADO 1.30 m X 1.30 m SISTEMATICO EN FORMA TRIANGULAR

6.1.2 GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA

Es el tipo de clasificación geomecánica que por características cualitativas de Resistencia y el Número de Fracturas por metro Lineal se identifica el tipo de roca.

- **Resistencia de la Roca**
 - Muy Buena: Solo se astilla por golpes de picota.
 - Buena: Se rompe con tres golpes de picota.
 - Regular: Se rompe con uno a tres golpes de picota.
 - Mala: Se indenta superficialmente con la punta de la picota.
 - Muy Mala: Se indenta profundamente al golpe de la picota.

- **Grado de Fracturamiento de la Masa Rocosa por metro lineal**
 - Levemente Fracturada: Tiene de dos a seis fracturas por metro
 - Fracturada: Tiene de seis a doce fracturas por metro
 - Regularmente Fracturada: Tiene de doce a veinte fracturas por metro
 - Muy Fracturada: Más de veinte fracturas por metro
 - Intensamente Fracturada: Fragmentada disgregada y zonas de falla.

Teniendo en cuenta las características anteriores y observando en el terreno en forma global se condiciona la labor

a) Labor Muy Buena

Condiciones de discontinuidades cerradas, rugosas son muy favorables para el minado.

b) Labor Buena

Condiciones de discontinuidades ligeramente abiertas moderadamente rugosas son favorables para el minado.

c) Labor Regular

Condiciones de discontinuidades moderadamente abiertas ligeramente rugosas son regulares para el minado.

d) Labor Mala

Condiciones de discontinuidades abiertas, lisas con relleno blando son desfavorables para el minado.

e) Labor Muy Mala

Condiciones de discontinuidades muy abiertas con relleno panizo son muy desfavorables para el minado.

TABLA No. 1: CLASIFICACION GEOMECANICA GSI

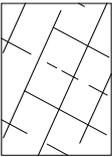
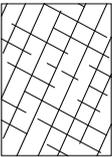
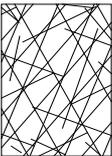
<p>CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO</p> <p>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal , medidos insitu con un flexometro. la mala voladura afecta esta condicion. La resistencia se determina golpeado o indentando la roca con una picota , se toma en cuenta la rugosidad , alteracion de paredes y relleno de las discontinuidades.</p>		CONDICION SUPERFICIAL					
ESTRUCTURA		MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA)	BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)	REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)	POBRE (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTER.) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa) – (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)	MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)	
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 – 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO) (RQD = 115 – 3.3 Jn.)</p>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP		
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 – 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)</p>	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP		
 <p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 – 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP		
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 – 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP		
 <p>TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	TP	T/MP		

TABLA No. 2: RELACION GEOMECANICA DE RMR VS GSI

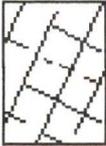
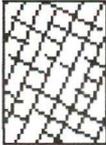
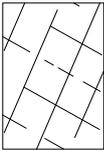
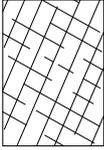
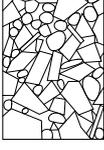
<p>CONDICION SUPERFICIAL</p> <p>La descripción cualitativa del macizo rocoso es en función del grado de fracturamiento (condición estructural) y resistencia (condición de discontinuidades y masa rocosa). Se asocian con un intervalo de valores que se han relacionado al índice RMR en condiciones secas en algunos tipos de rocas.</p>	<p>MUY BUENA (CONTINUAMENTE RESISTENTE - FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS, (Rc > 250 MPa) (SE ASILLA CON GOLPES DE PIEDRA)</p>	<p>BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LEGER. ABIERTA, (Rc: 100 A 250 MPa) (SE ROMBE CON VARIOS GOLPES DE PIEDRA)</p>	<p>REGULAR (RESISTENTE LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS (Rc: 50 A 100 MPa) (SE ROMBE CON UNO O DOS GOLPES DE PIEDRA)</p>	<p>POBRE (MODERADAMENTE RESIST., MODERADAMENTE ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES, MUY ALTERADA, RELLENDO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA, (Rc: 25 A 50 MPa) - (SE INGENTA SUPERFICIALEMENTE)</p>	<p>MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENDO DE PROLISAS BLANDAS, (Rc < 25 MPa) (SE DESCRIGA O INGENTA PROFUNDAMENTE)</p>
<p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (R00 75 - 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO) (R00 = 175 - 3,3 J/m²)</p> 	<p>8</p> <p>20</p> <p>30</p>				
<p>MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (R00 50 - 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)</p> 	<p>14</p>	<p>20</p>	<p>30</p>	<p>40</p>	<p>50</p>
<p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES, (R00 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p> 	<p>10</p>	<p>20</p>	<p>30</p>	<p>40</p>	<p>50</p>
<p>INTENSAMENTE FRACTURADA PLIGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (R00 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)</p> 	<p>6</p>	<p>10</p>	<p>15</p>	<p>20</p>	<p>25</p>
<p>TRITURADA O BRICHADA LICERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE POTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISOCIABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN R00)</p> 	<p>3</p>	<p>5</p>	<p>7</p>	<p>9</p>	<p>11</p>

TABLA No. 3: SOSTENIMIENTO PARA LABORES PERMANENTES DE 4mx4m

<p><u>Labores de desarrollo</u></p> 	<p>MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA)</p>	<p>BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc. 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)</p>	<p>REGULAR (RESISTENTE Y LEVENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)</p>	<p>POBRE (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTER.) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa) – (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)</p>	<p>MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)</p>
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 – 90) (2 A 6 FRACT. POR METRO) (RQD = 115 – 3.3 Jn.)</p>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF /P	LF/MP
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 – 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)</p>	F/MB	F/B	F /R	F /P	F /MP
 <p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 – 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p>	MF/MB	MF /B	MF /R	MF /P	MF /MP
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 – 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)</p>	IF/MB	IF /B	IF /R	IF /P	IF /MP
 <p>TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	TP	T/MP

Ejemplo de Evaluación Geomecánica por GSI (Índice de Resistencia Geológica)

Labor: CR 321

ZONA: CENTRO

NIVEL: 2400

Estando en la labor tenemos que realizar el siguiente análisis:

En la TABLA No. 1

- ESTRUCTURA (Grado de Fracturamiento)

Se observa 15 fracturas por metro lineal, roca trabada, Muy Fracturada: MF.

- CONDICION SUPERFICIAL (Resistencia)

Se observa al golpe de la picota se rompe con 2 golpes
Roca Regular: R

Se tiene una roca Muy Fracturada a Regular: MF/R

En la TABLA No. 2

- Se tiene un rango de valores RMR 40-60
- Presenta factores influyentes: presencia de agua.
- Tenemos un nuevo rango de valores RMR 40-50.

En la TABLA No. 3

- Se Aplica el sostenimiento de color Verde por los factores influyentes
Perno Sistemático de 8 pies a 1.0mx1.0m triangular o rombo con malla electrosoldada.

6.2 ANALISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES POR METODO DE CONVERGENCIA

6.2.1 INTRODUCCION

En un cuerpo compuesto de una distribución continua de materia tendrá una deformación cuando esta sujeto a un conjunto de fuerzas y esfuerzos, esto es las relativas posiciones de puntos en el cuerpo serán alterados con respecto al otro y con respecto a un punto fijo de un sistema de coordenadas. Las técnicas matemáticas para describir estas deformaciones en un cuerpo esta sujeto a un análisis básicamente geométrico.

La deformación de un cuerpo es el cambio del tamaño esto ocurre como un resultado de desplazamientos relativos entre puntos de cuerpo teniéndose deformaciones y movimientos.

6.2.2 DEFINICIONES

Dos tipos de deformaciones pueden ocurrir en un cuerpo, uno es el cambio en la longitud a lo largo de su línea y el otro cambio en el ángulo de intersección de dos líneas. El cambio de longitud por unidad original de longitud en forma lineal es definido como una deformación longitudinal se tiene la expresión:

$$\epsilon = \frac{\text{Lim}}{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\delta L}{\Delta L}$$

Donde:

δL : Es el cambio en la longitud del segmento.

ΔL : Es la línea de segmento.

El desarrollo matemático siguiente esta basado asumiendo las cantidades de ϵ y γ entonces son comparadas a unidades que sus productos son insignificantes, en la vecindad de un punto P en un cuerpo, las deformaciones son los cambios con la posición de un cuerpo en forma lineal en forma de áreas medianas con el cuerpo.

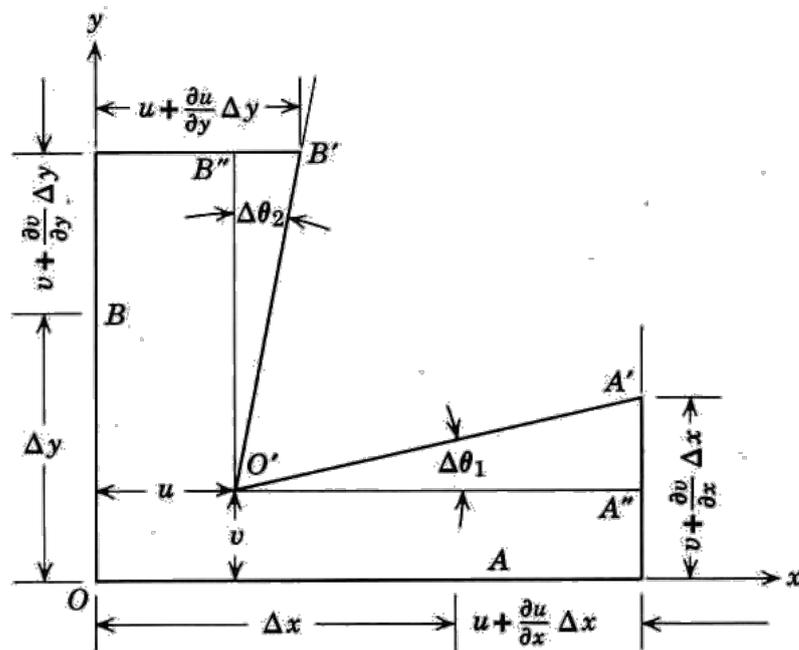


Fig. 6.2.2.1 Relación Desplazamiento – Deformación

La Teoría lineal de la elasticidad esta basada sobre el principio de suposición de esfuerzos y deformaciones.

En la Fig. 6.2.2.1 se presenta la coordenada rectangular y un nuevo sistema paralelo rectangular que corta un cuerpo de deformaciones.

La referencia de los ejes Ox y Oy son asumidas a coincidir con los sitios de un elemento antes de la deformación. Después de la deformación un punto el punto O ha sido movido O' , el punto A ha sido movido a A' , y el punto B ha sido a B' . El desplazamiento de un punto será representado por tres componentes rectangulares u , v , y w , paralelamente a los ejes x , y , y z . Estos desplazamientos son asumidos para ser funciones continuas de las coordenadas (x, y, z) . En consecuencia si u es el desplazamiento de un punto O en la dirección x , el desplazamiento de un punto vecino A en la dirección x es:

$$u + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) (\Delta x) .$$

Desarrollamos las derivadas parciales y los productos están en deformaciones son mínimas comparadas a la unidad y esto es la vecindad de un punto la deformación es homogénea.

En la Fig. 6.2.2.1 la longitud de la línea del segmento $O'A''$ esta dada por:

$$O'A'' = \Delta x + u + \frac{\partial u}{\partial x} (\Delta x) \quad - \quad u = \Delta x + \frac{\partial u}{\partial x} (\Delta x)$$

Y la longitud de la línea de segmento AA' es:

$$AA' = v + \frac{\partial v}{\partial x} (\Delta x) - v = \frac{\partial v}{\partial x} (\Delta x)$$

Por consiguiente la longitud de la línea del segmento $O'A'$ está dado

$$O'A' = \sqrt{\left(\Delta x + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x\right)^2} = \Delta x \sqrt{1 + 2 \frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2}$$

Expandiendo la expresión y sacando del radical nos da el siguiente término

$$O'A' = \Delta x \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right)$$

En consecuencia

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$$

Por la referencia de la Fig. 6.2.2.1 y recordando estos ángulos $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$ son mínimos y estas deformaciones son mínimas comparadas a la

unidad, las siguientes ecuaciones pueden ser escritas:

$$\tan \Delta\theta_1 = \Delta\theta_1 = \frac{A'A''}{O'A''} = \frac{(\partial v/\partial x) \Delta x}{\Delta x + (\partial u/\partial x) \Delta x} = \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\tan \Delta\theta_2 = \Delta\theta_2 = \frac{B'B''}{O'B''} = \frac{(\partial u/\partial y) \Delta y}{\Delta y + (\partial v/\partial y) \Delta y} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

Por definición de deformación de corte, modulo de rigidez γ_{xy} , en el ángulo AOB es $\Delta\theta_1$ y $\Delta\theta_2$, por consiguiente

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

Deformaciones y Rigideces:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} & \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} & \gamma_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \epsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} & \gamma_{zx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned}$$

6.2.3 DEFORMACIONES EN UN PLANO

El problema a ser considerado esta determinado de componentes de deformación en una dirección dado el punto P, dado un sistema de componentes cartesianos de deformación en el punto P.

En la Fig. 6.2.3.1 a la definición de deformación esta dada

$$\delta x = \Delta x \epsilon_x$$

El cambio en la longitud de Δr es δr y esta dado por:

$$\delta r = \delta x \cos \theta = \Delta x \epsilon_x \cos \theta$$

La longitud de la variación de radio

$$\Delta r = \frac{\Delta x}{\cos \theta}$$

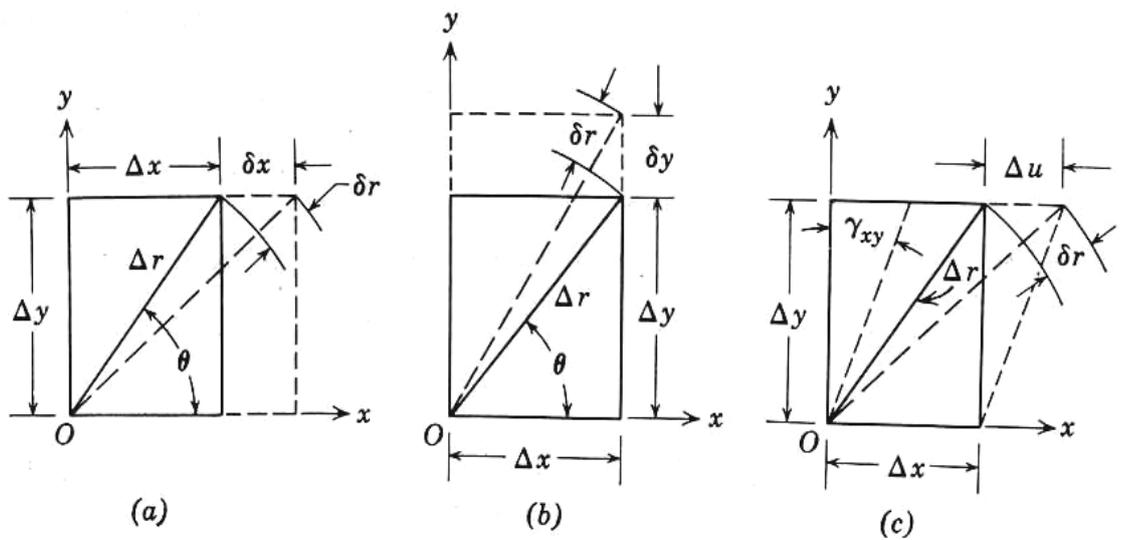


Fig. 6.2.3.1 Deformaciones Normales después de la Rotación

Por el uso de el principio de superposición las Eqs. a, b y c pueden ser añadidas juntas y dar el total normal de deformación en la dirección de

Δr como un resultado de las deformaciones normales ϵ_x y ϵ_y y la deformación de cizalla γ_{xy} . Así

$$\epsilon_\theta = \epsilon_x \cos^2 \theta + \epsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad 6.2.3.4$$

Simplificando la Eq. 6.2.3.4 mediante identidades trigonométricas da:

$$\epsilon_\theta = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \quad 6.2.3.5$$

La tensión de corte γ_θ en el elemento hace un ángulo con el eje x este cambio angular es el ángulo recto y es la algebraica suma de $d\theta$ y $d\theta_1$.

Ninguno de ambos $d\theta$ y $d\theta_1$ incrementa el ángulo recto, γ_θ esta dado Por

$$\gamma_\theta = -2\epsilon_x \sin \theta \cos \theta \quad 6.2.3.6$$

De la Fig. 6.2.3.2 b en la definición de deformaciones

$$\delta y = \Delta y \epsilon_y$$

También

$$r d\theta = \delta y \cos \theta$$

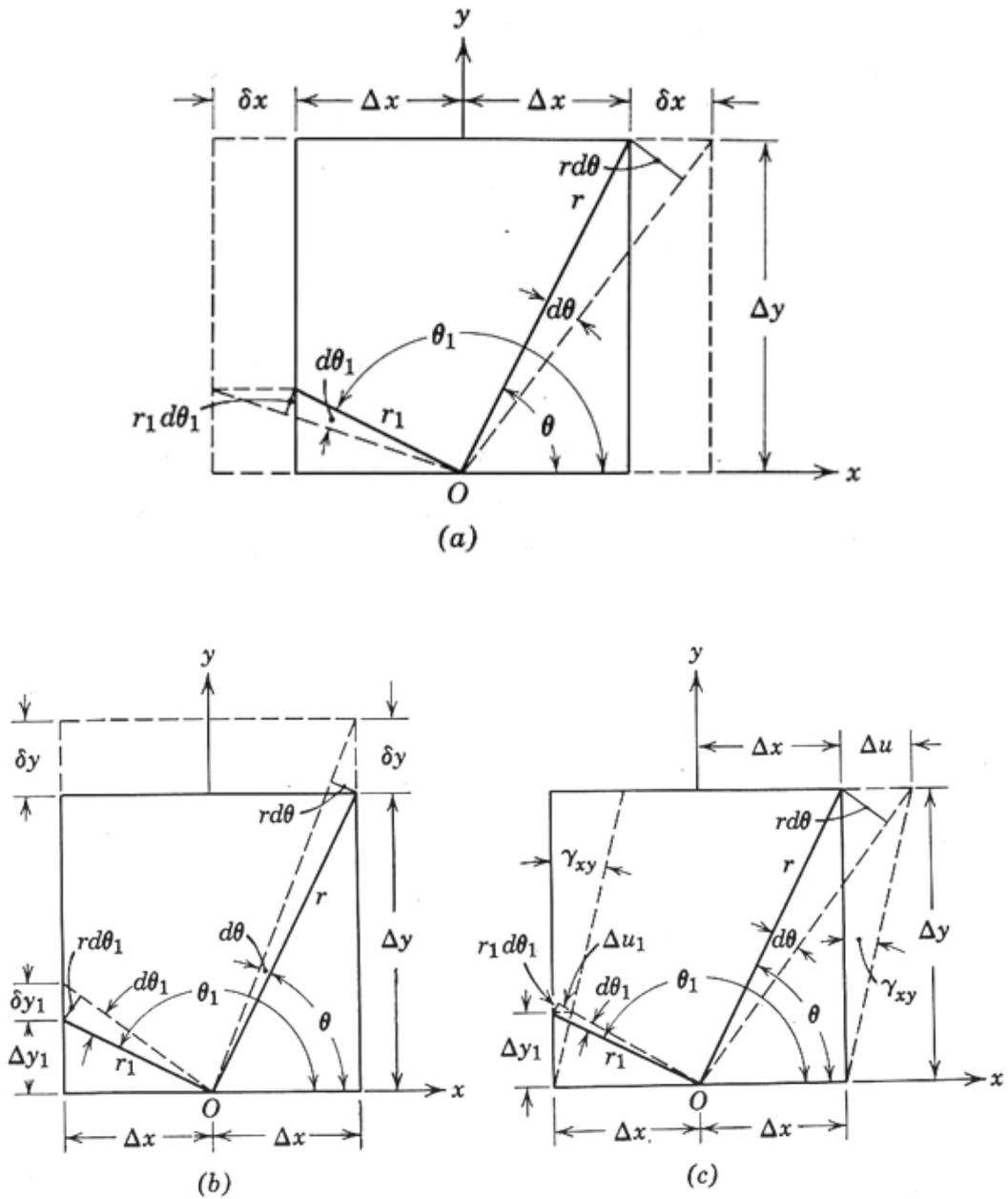


Fig. 6.2.3.2 Deformaciones por corte después de la rotación

La longitud del radio r es

$$r = \frac{\Delta y}{\sin \theta}$$

También

$$d\theta = \epsilon_y \sin \theta \cos \theta$$

En una similar forma esto puede ser presentado como $d\theta_1$ es

$$d\theta_1 = \epsilon_y \sin \theta \cos \theta$$

El esfuerzo de corte γ_θ es la suma algebraica de $d\theta$ y $d\theta_1$. Ninguno de estos dos diferenciales $d\theta$ y $d\theta_1$ decrece el ángulo recto, nosotros obtenemos:

$$\gamma_\theta = 2\epsilon_y \sin \theta \cos \theta \quad 6.2.3.7$$

De la Fig. 6.2.3.2 c nada con γ_{xy} es mínimo

$$\Delta u = \Delta y \tan \gamma_{xy} = \Delta y \gamma_{xy}$$

$$\Delta y = r \sin \theta$$

$$\Delta u = r \gamma_{xy} \sin \theta$$

$$r d\theta = \Delta u \sin \theta$$

Entonces
$$d\theta = \gamma_{xy} \sin^2 \theta$$

En forma similar esto se puede presentar como

$$d\theta_1 = \gamma_{xy} \cos^2 \theta$$

La tensión cortante es la algebraica suma de $d\theta$ y $d\theta_1$. Ninguno de este diferencial incrementa el ángulo recto y el $d\theta_1$ decrece el ángulo recto se obtiene

$$\gamma_{\theta} = \gamma_{xy}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad 6.2.3.8$$

$$\gamma_{\theta} = -2(\epsilon_x - \epsilon_y) \sin \theta \cos \theta + \gamma_{xy}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad 6.2.3.9$$

Simplificando mediante identidades trigonométricas nos da:

$$\gamma_{\theta} = \gamma_{xy} \cos 2\theta - (\epsilon_x - \epsilon_y) \sin 2\theta \quad 6.2.3.10$$

La derivada de esfuerzo normal ϵ_{θ} con respecto a θ iguala a cero y da:

$$\frac{d\epsilon_{\theta}}{d\theta} = -(\epsilon_x - \epsilon_y) \sin 2\theta_1 + \gamma_{xy} \cos 2\theta_1 = 0$$

Desarrollado para θ nos da

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\gamma_{xy}}{\epsilon_x - \epsilon_y}$$

6.2.4 ROSETA DE DEFORMACIONES

La deformación normal de un punto puede ser determinada experimentalmente más fácilmente y con mayor precisión que tensiones de deformación. Estos para calcular la deformación principal de una serie de tensión normal requeridos.

$$\epsilon_{\theta} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \quad 6.2.4.1$$

Inspeccionando las Eq. 6.2.4.1 presentando ϵ_x, ϵ_y y γ_{xy} puede ser determinada si tres valores de ϵ_θ son determinadas en tres conocidas direcciones θ_1, θ_2 y θ_3 , que generan deformaciones normales $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ con sus respectivos ángulos, resultan en tres ecuaciones que pueden ser resueltas simultáneamente por ϵ_x, ϵ_y y γ_{xy} .

Sustituyendo estos valores en la Eq. 6.2.4.1 da las siguientes tres ecuaciones

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= \epsilon_x \\ \epsilon_2 &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ \epsilon_3 &= \epsilon_y\end{aligned}$$

Resolviendo estas tres ecuaciones da

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \epsilon_1 \\ \epsilon_y &= \frac{1}{3}(2\epsilon_2 + 2\epsilon_3 - \epsilon_1) \\ \gamma_{xy} &= \frac{2}{\sqrt{3}}(\epsilon_2 - \epsilon_3)\end{aligned}\tag{6.2.4.2}$$

Por medio de las Eq. 6.2.4.2, 6.2.4.11, 6.2.3.12 y 6.2.3.13 las principales deformaciones y sus direcciones pueden ser obtenidas como

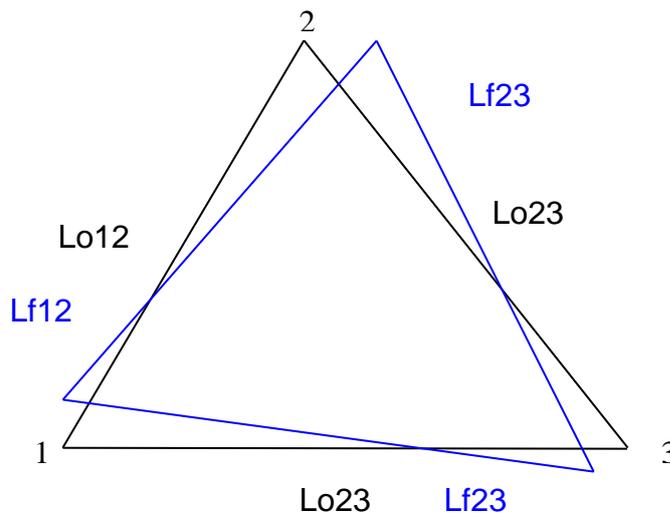
$$\epsilon_p = \frac{1}{3}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$$

$$\epsilon_q = \frac{1}{3}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) - \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$$

y

$$\theta_{p,q} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(\epsilon_2 - \epsilon_3)}{2\epsilon_1 - \epsilon_2 - \epsilon_3} \quad 6.2.4.3$$

Grafico del Triangulo Equilátero para Análisis de Deformaciones



Lo12 = Longitud Inicial del lado 12

Lo23 = Longitud Inicial del lado 23

Lo31 = Longitud Inicial del lado 31

Lf12 = Longitud final del lado 12

Lf23 = Longitud final del lado 23

Lf31 = Longitud final del lado 31

$$\Delta L_{of} = L_f - l_o$$

ΔL_{of} = Variación de Longitud del lado final al inicial

$$\Delta l_{12} = \text{Variación de Longitud del lado 12}$$

$$\Delta L_{23} = \text{Variación de Longitud del lado 23}$$

$$\Delta L_{31} = \text{Variación de Longitud del lado 31}$$

$$\epsilon_{of} = \Delta L_{of} / L_o$$

ϵ_{of} = Deformación unitaria del lado final al lado inicial

$$\epsilon_{12} = \Delta L_{12} / L_{o1}$$

ϵ_{12} = Deformación Unitaria del lado 12

$$\epsilon_{23} = \Delta L_{23} / L_{o2}$$

ϵ_{23} = Deformación Unitaria del lado 23

$$\epsilon_{13} = \Delta L_{13} / L_{o3}$$

ϵ_{13} = Deformación Unitaria del lado 13

T_o = Tiempo Inicial

T_f = Tiempo final

$$\Delta T_{of} = T_f - T_o$$

ΔT_{of} = Variación de tiempo final al inicial

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1$$

ΔT_{12} = Variación de tiempo del punto 2 al punto 1

$$\Delta T_{23} = T_3 - T_2$$

ΔT_{23} = Variación de tiempo del punto 3 al punto 2

$$\Delta T_{13} = T_3 - T_1$$

ΔT_{13} = Variación de tiempo del punto 3 al punto 1

$$V_{o12} = \Delta T_{12} / \Delta L_{12}$$

V_{o12} = Velocidad Inicial del lado 12

$$V_{o23} = \Delta T_{23} / \Delta L_{23}$$

V_{o23} = Velocidad Inicial del lado 23

$$V_{o13} = \Delta T_{13} / \Delta L_{31}$$

V_{o13} = Velocidad Inicial del lado 13

$$V_{f12} = \Delta T_{12} / L_{f12}$$

V_{f12} = Velocidad final del lado 12

$$V_{f23} = \Delta T_{23} / \Delta T_{23}$$

V_{f23} = Velocidad final del lado 23

$$V_{f13} = \Delta T_{13} / L_{f31}$$

V_{f13} = Velocidad final del lado 23

$$\Delta V_{of} = V_f - V_o / \Delta T_{of}$$

ΔV_{of} = Variación de velocidad final al inicial

$$\Delta V_{12} = V_2 - V_1 / \Delta T_{12}$$

ΔV_{12} = Variación de velocidad del punto 2 al punto 1

$$\Delta V_{23} = V_3 - V_2 / \Delta T_{32}$$

ΔV_{23} = Variación de velocidad del punto 3 al punto 2

$$\Delta V_{13} = V_3 - V_1 / \Delta T_{31}$$

ΔV_{13} = Variación de velocidad del punto 3 al punto 1

$$a_{12} = (\Delta V_{12}) / \Delta T_{12}$$

$$a_{12} = (V_{f12} - V_{o12}) / \Delta T_{12}$$

a_{12} = aceleración del punto 2 al punto 1

$$a_{23} = (\Delta V_{23}) / \Delta T_{23}$$

$$a_{23} = (V_{f23} - V_{o23}) / \Delta T_{23}$$

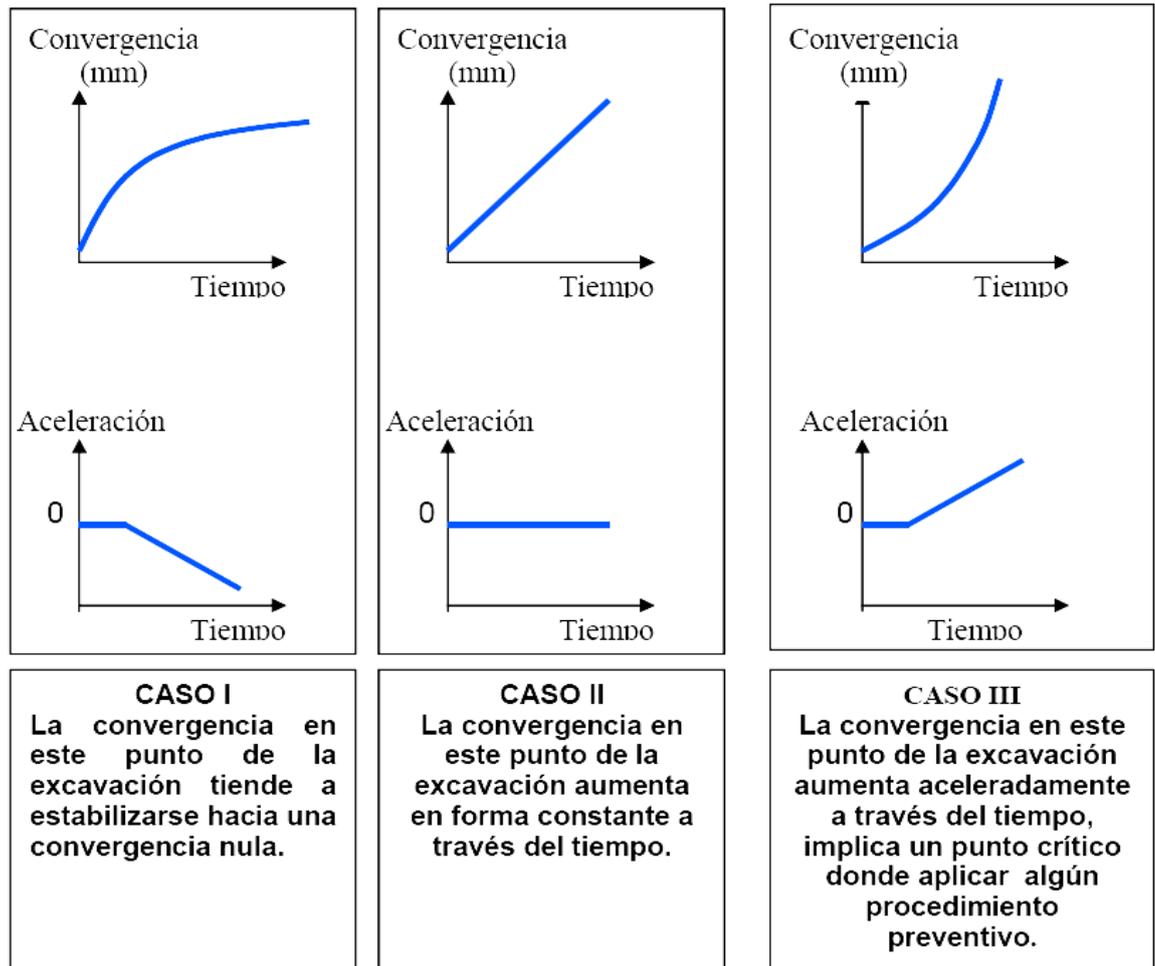
a_{23} = aceleración del punto 3 al punto 2

$$a_{13} = (\Delta V_{13}) / \Delta T_{13}$$

$$a_{13} = (V_{f13} - V_{o13}) / \Delta T_{13}$$

a_{13} = aceleración del punto 3 al punto 1

Todas las ecuaciones se llevan a una hoja de cálculo obteniéndose los Gráficos:



CUADRO 6.7 Casos de Tendencia en la Convergencia a lo largo del Tiempo

De las ecuaciones 6.2.5.3

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_p$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_q$$

Entonces

$$\sigma_1 = \varepsilon_1 \times E$$

$$\sigma_3 = \varepsilon_3 \times E$$

E = modulo de Young

$$E = 10 \exp (RMR-10)/40$$

Ejemplo: Aplicación de Medición por Convergencia (Deformaciones)

Estando en la labor se procede a tomar los datos: fecha, hora, longitudes de los puntos entre si, presiones atmosférica y temperaturas, luego se introduce a una software (hoja de calculo) haciendo las correcciones respectivas para su procesamiento en base a las algoritmos y procedimientos anteriormente descritos, teniendo como producto la deformación (convergencia), velocidad y aceleración.

RESUMEN DE HOJA DE CÁLCULO

Estación de Convergencia

Labor : CR 92227
Zona : Profundización
Punto : # 5

Fecha	Deformación (mm)	Velocidad (mm)/s	Aceleración (mm)/s ²
01/04/05	0.00	0	
02/04/05	0.40	0.40	0.147
03/04/05	0.90	0.90	0.331
04/04/05	1.70	1.70	0.625
05/04/05	2.80	2.80	1.030
06/04/05	4.80	4.80	1.766
07/04/05	6.50	6.50	2.391
08/04/05	7.90	7.90	2.906
09/04/05	9.20	9.20	3.384
10/04/05	10.20	10.20	3.752
11/04/05	10.90	10.90	4.010
12/04/05	11.20	11.20	4.120

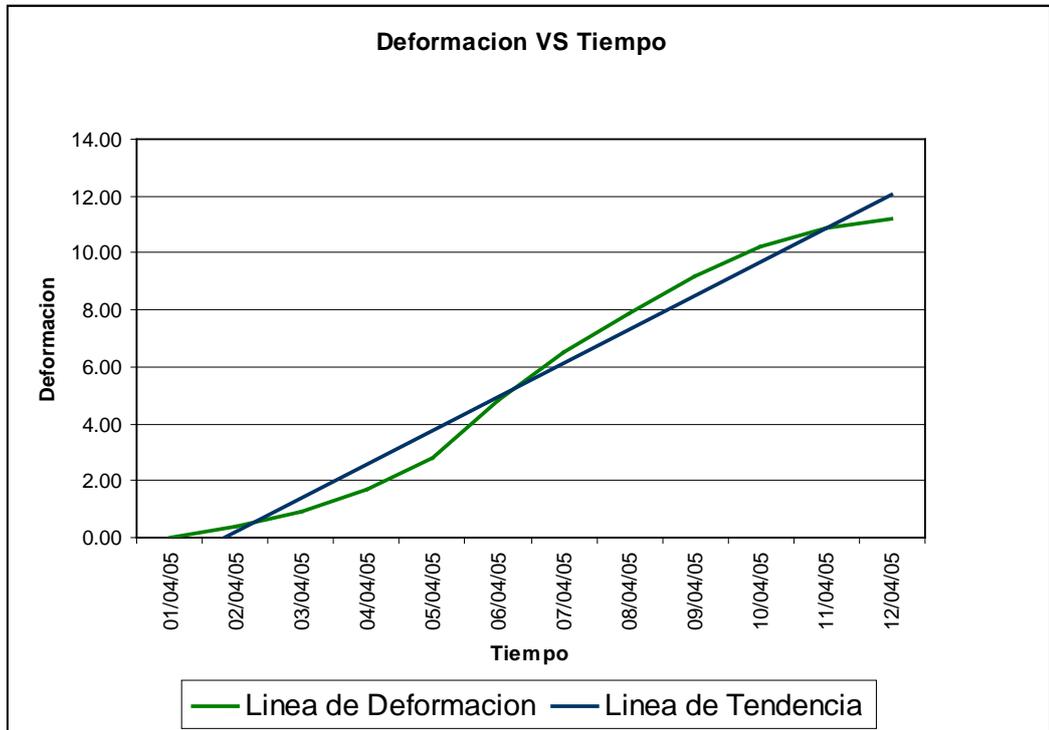


Grafico 6.1 Deformación vs. Tiempo

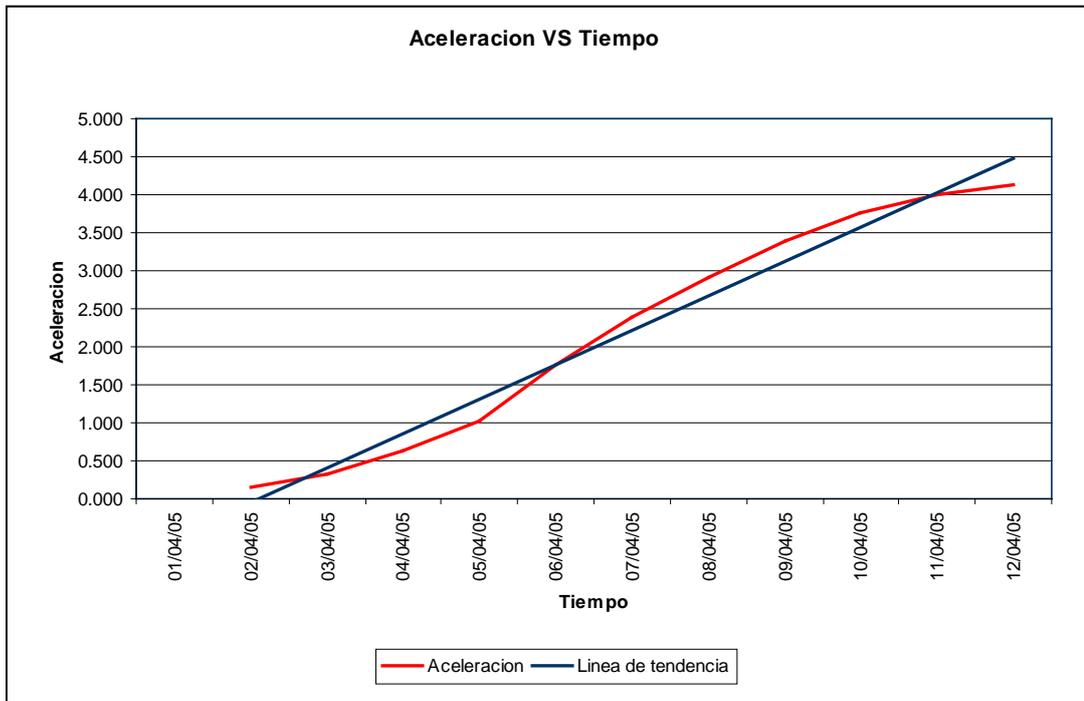


Grafico 6.2 Aceleración VS Tiempo

Análisis de Data y Gráficos

- En la construcción de gráficos **Deformación VS Tiempo** y **Aceleración VS Tiempo** se crea un línea de tendencia (línea de color azul) que nos ayuda a interpretar el comportamiento de la estabilidad de la excavación a lo largo del tiempo.

- Se observa mediante la data que la deformación aumenta con el tiempo generandose el aumento de la velocidad y por consecuente la aceleración que se visualiza en los gráficos de **Deformación VS Tiempo** y **Aceleración VS Tiempo**.
 - Mediante el conjunto de casos mas frecuentes se deducieron tres **CASOS GLOBALES** que anteriormente se han descrito como gráficos con data histórica, por la comparación de gráficos tenemos uno similar al caso III que consiste en el sistema acelerado nos indica que tenemos que **reforzar con sostenimiento la labor**.

CAPITULO VII

CONSIDERACIONES GEOMECANICAS EN PROFUNDIZACION MINA

Las labores mineras subterráneas, cuyos componentes son estructuras complejas para ejecutar trabajos en dichas labores mineras, es necesario poseer el máximo conocimiento del macizo rocoso.

Antes de iniciar los trabajos de laboreo de minas, los esfuerzos originales se encuentran en equilibrio relativo, que ante la perturbación del medio, estos se reacomodan provocando el desprendimiento del macizo. Se suma a esto, el aumento de la presión litostática debido a la profundidad de las excavaciones.

Mediante el avance de la profundización mina necesitamos la información previa a la excavación se hacen logueos geomecanicos se modela por tipo litológicos y RMR así como el estructural identificando las estructuras como fallas, diaclasas y sistemas asociados con el objetivo de prevenir la entrada

zonas de diferente cizallamiento y su aplicación con el sostenimiento adecuado.

Es un requisito básico y fundamental que todo trabajador de mina debe conocer su ambiente de trabajo, esto implica el conocimiento de la calidad de la roca y la manera de contrarrestar su potencial riesgo de desprendimiento.

Una de las condiciones necesarias para que el sostenimiento se realice eficientemente luego de realizada una excavación, es la correcta indagación y evaluación de la estructura del macizo, este es el punto de inicio confiable para seguir en la tarea de seguridad y productividad.

Teniendo en cuenta el tipo de labor minera permanente minera ($ESR = 1.6$ Relación Roca Sostenimiento de la Excavación) para la mina se aplica el sostenimiento mecanizado como Pernos, Shotcrete, Malla y Cimbras que poseen mayor tiempo de vida útil a diferencia del sostenimiento convencional como la madera de corta duración.

La profundidad de la operaciones ha traído altos esfuerzos la consecuente deformación del terreno la observación cualitativa y cuantitativa de este fenómeno mediante el monitoreo subterráneo tenemos el objetivo de evaluar si la excavación tiende a ser estable o inestable con el monitoreo de convergencia.

En las zonas de altas concentraciones de esfuerzos inducidos por el minado, ocurren una serie de mecanismos complejos, entre los cuales el

almacenamiento de la energía de deformación, lo cual constituye una fuente de energía sísmica que puede generar un colapso de rocas.

La energía de deformación es ocasionada por las concentraciones de esfuerzos debido a las excavaciones realizadas también a la presencia de fenómenos geológicos como los desplazamientos y las características inconsistentes de la masa rocosa.

Tener en cuenta los desplazamientos en las excavaciones, la información del movimiento, deformaciones y control es muy importante. Mediante los resultados obtenidos se puede predecir la estabilidad de la excavación y su comportamiento conforme pasa el tiempo llamado también reológico.

La metodología aplicada en la profundización para el control de la estabilidad de las labores mineras es el siguiente:

- Identificar tipos de falla del macizo rocoso mediante la geología estructural nos da la información del sistema de fallamiento y familias para la ubicación de las estaciones de convergencia.
- Interpretación y análisis de la data tomada en el campo y su procesamiento y resultados obtenidos para tomar decisiones.
- Determinación de la forma y extensión de la zona relajada en el entorno de la labor que son los Dominios Estructurales.
- Los criterios para su ubicación son: Aspecto Estructural, Intersección de labores, calidad de roca, hidrológica, alteración, litología.
- Establecer condiciones de seguridad con la comunicación en la toma de datos con el área operativa, señalar y limitar el área de trabajo.
- Observar las presiones de la masa rocosa alrededor de la excavación.

Para tener en cuenta los parámetros de profundización mina se evalúa todos los factores que inciden clasificándolas en variables controlables e incontrolables, así como las diversas técnicas específicas para la cuantificación

- Identificación de parámetros geomecánicos en profundización
 - Variables incontrolables
 - Campo de esfuerzos in situ
 - Propiedades Geomecánicas de las rocas
 - Litología del macizo
 - Sistemas estructurales
 - Variables controlables
 - Orientación de la excavación
 - Forma de la excavación
 - Dimensionamiento de la excavación
 - Tipo y secuencia de voladura
 - Tipo de sostenimiento
- Cuantificación de los parámetros
 - Técnicas de mediciones de Esfuerzos in situ
 - Ensayos de laboratorio
 - Mapeo geológico – estructural
 - Mapeo geomecánico
 - Técnicas de monitoreo de convergencias
 - Modelamientos matemáticos

- Pruebas de sostenimiento aplicados
- Técnicas de clasificación de rocas.

7.1 ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO, APLICACIÓN Y CONTROLES

Los diversos elementos de sostenimiento a usar son:

- Perno de Fricción o Split set.
- Perno Helicoidal.
- Malla Electrosoldada.
- Shotcrete con fibra o Concreto Lanzado.
- Cimbra

Cabe resaltar que su uso individual o su combinación depende del tipo de roca en la labor con el objetivo de tener un lugar seguro.

7.1.1 SOSTENIMIENTO CON SPLIT SET

Los estabilizadores de fricción (Split Set) están constituidos por un trozo de tubo de acero más ancho que el diámetro de la perforación y que es partido a lo largo por el centro.

La fricción ejercida por los costados del perno lo mantiene en su lugar creando fuerzas que se extienden radicalmente. Este proceso provee la fuerza de fricción que actúa previniendo el movimiento o separación del terreno. En Mina se utiliza splits set de 5 y 7 pies.

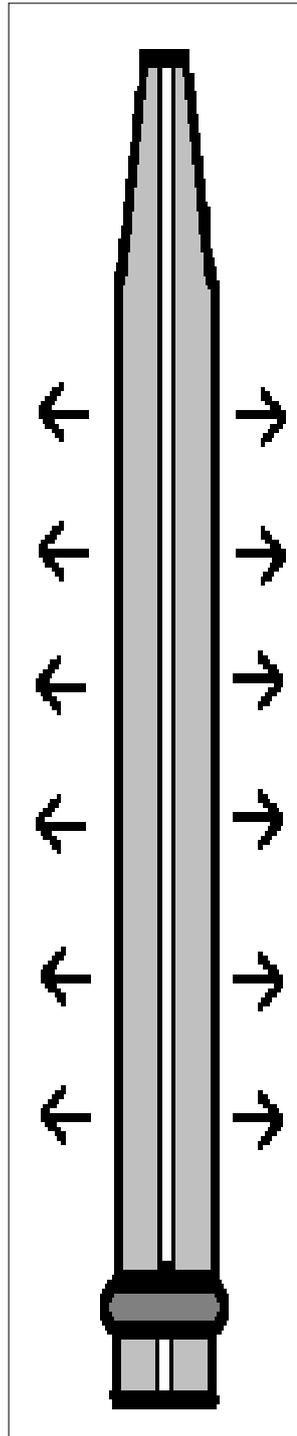


Fig. 7.1.1.1 Perno Tipo Split Set Forma de Actuar

Radialmente

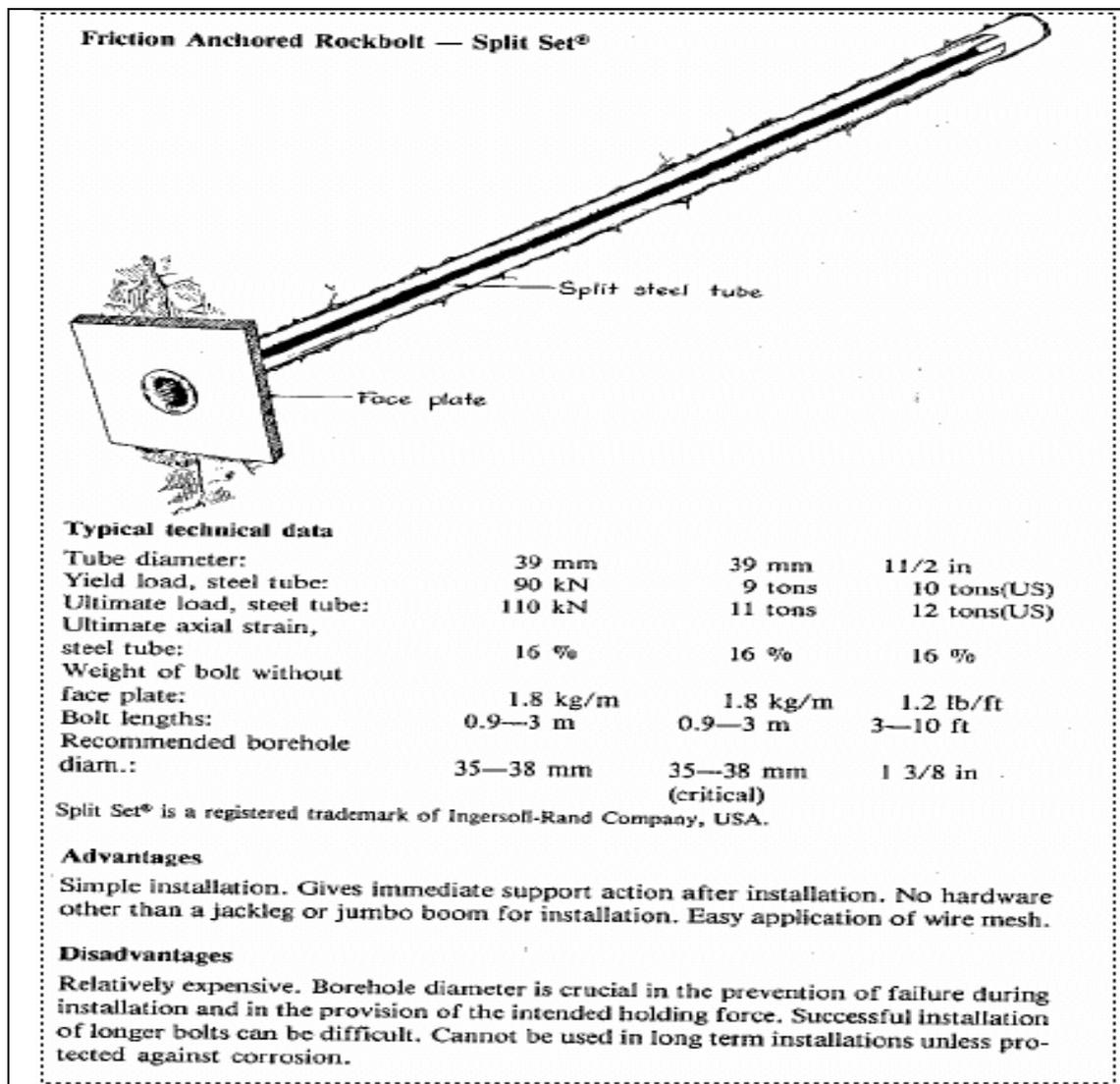


Fig. 7.1.1.2 Características de un Perno de Fricción o Split Set

Los Estabilizadores de fricción están constituidos por un trozo de tubo de acero más ancho que el diámetro de la perforación y que es partido a lo largo por el centro. La fricción ejercida por los costados del perno lo mantiene en su lugar creando fuerzas que se extiendan radicalmente. Este proceso provee la fuerza de fricción (1–1.5 Tn/pie) que actúa previniendo el movimiento o separación del terreno.

Utilizado generalmente en roca severamente agrietada o fracturada sujeta a condiciones de baja tensión

7.1.2 SOSTENIMIENTO CON PERNOS HELICOIDALES

Son pernos consistentes en barras de acero helicoidales, presentan un diámetro nominal de 22mm y una masa de 2.275 Kg. /m. Los pernos van adheridos a la roca con cemento en mortero (lechada de cemento), cemento en bolsa y/o con resina (10min. De fraguado).

En mina se utiliza principalmente para el sostenimiento de labores permanentes pues gracias al material que los une a la roca (cemento y/o resina) pese al paso del tiempo los pernos continuarán trabajando sin verse mermada su resistencia. Son muy dependientes de la forma del taladro y se requiere que este esté completamente llenado del material ligante.

Barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso. El diseño de hilo permite colocar una tuerca que puede rodar longitudinalmente por los resaltes a lo largo de la barra.



Fig. 7.1.2.1 Perno Helicoidal Suelto



Fig. 7.1.2.2 Perno Helicoidal en Roca

ASTM A615-89		GRADO 60		400 MPa	
FLUENCIA		RUPTURA		MODULUS YOUNG	
Kg / mm²	Psi	Kg / mm²	Psi	N / mm²	
42.2	58,016	63.3	78,321	40,000	
Diámetro nominal mm (")	Sección mm²	Peso Kg/M	Fluencia kN	Ruptura kN	
19.1 (3/4")	284	2.235	113.5	153.2	
22.0 (7/8")	389	2.98	157	211.9	
25.4 (1")	510	3.973	201.1	271.5	

Cuadro 7.1.2.1 Características y Dimensiones del Perno Helicoidal

Calculo de la longitud del Perno Helicoidal (L)

$$L = 2 + 0.15 \times B / ESR$$

Donde:

B: Ancho de la excavación

ESR: Relación Roca Sostenimiento de la Excavación (ESR=1.6)

$$L = 2 + 0.15 \times 4\text{m} / 1.6 = 2.4\text{m}$$

$$L = 2.4\text{m (metros)}$$

$$L = 8' \text{ (pies)}$$

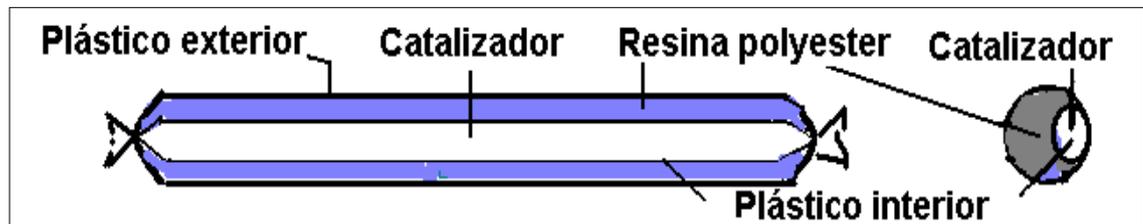
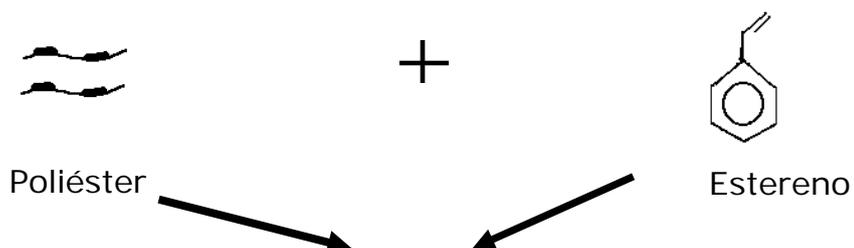


Fig. 7.1.2.3 Características de la Resina

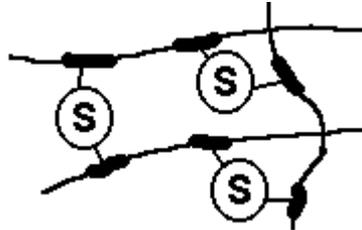
Tiempo de fragua y dimensiones:

Rápido	30 segundos	28mm x 305 mm
Lento	2 – 4 minutos	28mm x 305 mm

PROCESO QUIMICO



Peróxido (catalizador)



Cartuchos de Cemento “Cem-Bolt

El cartucho contiene una base de cemento con aditivos especiales en un envase de plástico pre-perforado.

Tiempo de fragua Normal 24 horas / Rápido 8 horas

Remojar la cantidad de cartuchos requerido por 5-10 minutos antes de la instalación.

Dimensiones:

30mm x 305mm

50 cartuchos / caja

Razón agua: cemento = 0,3:1,0



Fig. 7.1.2.4 Cartucho Cembolt

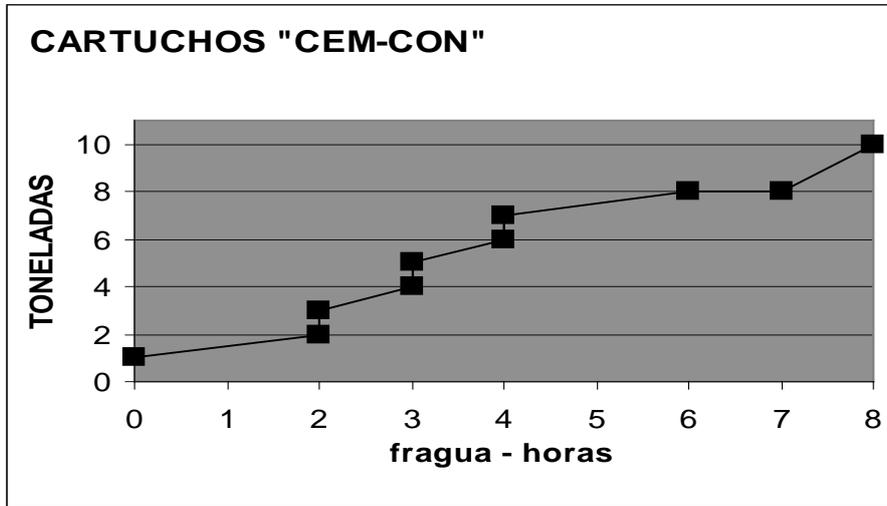


Grafico 7.1.2.1 Toneladas VS Tiempo

7.1.3 COMPORTAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO TIPO PERNO

Efecto Viga: En rocas estratificadas o con sistemas de fracturas paralelas, el perno ayuda a sostener el desplazamiento relativo de los estratos o lajas, aumentando la rigidez de la viga compuesta creando ligazón entre bloques.

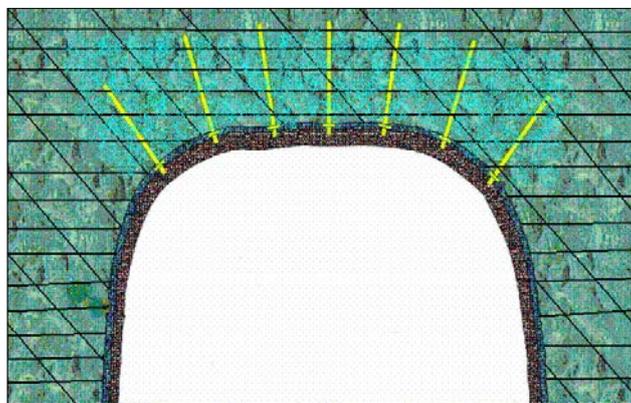


Fig. 7.1.3.1 Comportamiento de los Pernos Tipo Viga

7.1.4 SOSTENIMIENTO CON MALLA ELECTOSOLDADA

La malla electrosoldada se usa en combinación con splits set o pernos helicoidales, tanto en labores por lo general temporales. La malla consiste en una cuadrícula de alambres de acero de 10mm de cuadrícula por 4.2 mm. De diámetro, soldadas en su punto de intersección cada tres cocadas.



Fig. 7.1.4.1 Malla Electro soldada con Perno Helicoidal

7.1.5 SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE

Su uso esta limitado a zonas malas a muy malas. Su aplicación puede ser con o sin fibra metálica, especialmente en labores permanentes y en forma eventual en temporales. El tipo de shotcrete utilizado es el tipo seco, se cuenta con un mixer de 1.5 m³, que traslada la mezcla hasta el punto de trabajo. Para el lanzado se tienen shotcreteras alivas 260.

Las principales características que indican al concreto lanzado como un elemento efectivo de sostenimiento son:

- El concreto lanzado previene la caída de pequeños trozos de roca de la periferia de la excavación, evitando el futuro deterioro de la roca.
- Mantiene el entrabe de las posibles cuñas o bloques sellando las discontinuidades o grietas producidas por la voladura.
- La acción conjunta del concreto lanzado y la roca produce una fuerza tangencial en la interfase, que impide que la roca y el concreto lanzado se deformen independientemente. Se aplica concreto Lanzado vía seca

DISEÑO DE MEZCLA

La mezcla de concreto debe contener los siguientes porcentajes de componentes secos:

- Cemento : 15 – 20% en peso
- Agregado fino (máx. 9.5 mm.) : 40 – 50%
- Agregado grueso (max. 12.5 mm.) : 30 – 40%
- Relación agua/cemento:
 - Mezcla seca : 0.3 – 0.5
- Acelerante : 12-15 lt /m³
- Fibra Metálica : 20 Kg. / m³

VENTAJAS DE USAR FIBRA

1. Mejoran sus propiedades mecánicas del concreto, haciendo que disminuya su fragilidad, en combinación con pernos de anclaje aumenta su capacidad portante.
2. Aumenta la ductilidad del concreto después de su fisuración.
3. Aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía.
4. Aumenta la resistencia a la tracción.

5. Aumenta la resistencia a la aparición y propagación de grietas por contracción.
6. Aumenta la resistencia al impacto y a la cizalladura.
7. Mejora el comportamiento a la flexotracción.
8. Aumenta la durabilidad del concreto.



Fig. 7.1.5.1 Labor con concreto lanzado

Composición del concreto vía seca

FACTORES	MEZCLA SECA
EQUIPO	<ul style="list-style-type: none">- Bajos costos de inversión- Mantenimiento simple y poco frecuente- Difícil de limpiar.- Equipo compacto y adaptable en túneles con espacios limitados
MEZCLA	<ul style="list-style-type: none">- Se hace frecuentemente en el sitio de trabajo o se lleva la mezcla seca preparada.- No hay buen control de la relación agua-cemento.- La mezcla puede ser transportada grandes distancias.
RENDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none">- En promedio 5m³/hora.
REBOTE	<ul style="list-style-type: none">- Puede ser entre 15-40% en paredes verticales y entre 20-40% en la bóveda.- El rebote forma vacíos en los hastiales.- Alta pérdida de agregados y cemento.

Cuadro 7.1.51 Composición de Shotcrete Vía Seca

7.1.6 SOSTENIMIENTO CON ARCOS METALICOS - CIMBRAS

Este tipo de sostenimiento se aplica en terrenos de muy mala calidad en labores permanentes. Consiste en arcos metálicos de tres piezas de sección tipo H se usan tipo H4 Y H6, el espaciamiento es de 0.5m a 1.5m.

Se prepara una base tipo dado de concreto luego se inserta planchas acanaladas, bolsacreto hasta topear la cimbra y la roca.

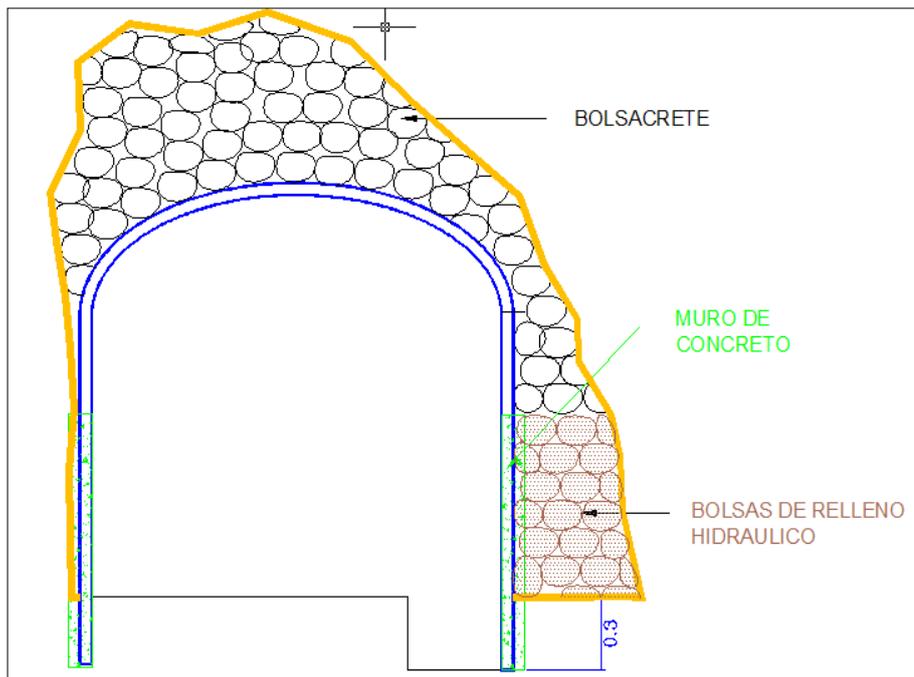


Fig. 7.1.6.1 Diagrama de Colocacion de Cimbras



Fig. 7.1.6.2 Sostenimiento con Cimbras

7.1.7 CONTROLES EN SPLIT SET

Los controles que se realizan para asegurar una buena instalación de split set son:

- Control en el diámetro de la perforación (35 a 38 mm.)
- Se realizan pruebas periódicas con el equipo Pull Tester.
- El split set debe de soporta mínimo 0.85 Tn/Pie.



Fig. 7.1.7.1 Prueba de Pull Test

7.1.8 CONTROLES EN PERNOS HELICOIDALES

Los controles que se realizan son los siguientes:

- El diámetro de perforación debe de estar entre 32 a 38 mm.
- Se coloca en el tope del taladro 2 bolsas de cembolt, luego una resina y finalmente 6 bolsas de cembolt.

- Se realizan en forma periódica pruebas de arranque con el equipo Pull Tester. El perno debe de soportar 2 Tn/Pie como mínimo.
- El perno debe de estar completamente lleno de cemento.



CEMENTO RESINA CEMENTO

Fig. 7.1.8.1 Diagrama de Colocación de Cartuchos Cembolt y Resina

Con el Objetivo de verificar los estándares de carga de los pernos helicoidales realizamos pruebas periódicas a un conjunto luego de 24 horas de instalados.



Fig. 7.1.8.2 Gata Hidráulica con Indicador de carga

PROVEEDOR: ACEROS AREQUIPA						
Longitud del Perno :	240 mm					
Diámetro del perno :	22 mm					
Diametro de Perforación (mm)	Longitud de Encapsulamiento (mm)	Tiempo de Fraguado (horas)	Carga Aplicada (Tn)	RMR	Ubicación Profundización	Observación
38 mm	2100	24	22	III	Rampa 92240	No cede
38 mm	2100	24	21	III	Rampa 92240	No cede
38 mm	2100	24	23	III	Rampa 92240	No cede

Cuadro 7.1.8.1 Pruebas de Arranque de Perno Helicoidal (Pull test)

7.1.9 CONTROLES EN MALLA ELECTROSOLDADA

El control en este caso se realiza diariamente y en forma visual, teniéndose en cuenta lo siguiente:

- La malla debe de estar pegada a la roca.
- El traslape debe ser de tres cocos y el perno debe de instalarse en la cocada central.
- La malla se debe de instalar a 1.5 m. del piso.



Fig. 7.1.9.1 Control de Sostenimiento Perno con Malla

7.1.10 CONTROLES EN ARCOS METALICOS

El control en este tipo de sostenimiento es el siguiente:

- Verificación de la perpendicularidad y alineamiento de los postes.
- Verificación de la profundidad de las zapatas y resistencia del muro de concreto instalado (no debe de ser inferior a 210 kg/cm²).
- Las planchas acanaladas deben de estar soldadas entre ellas y la cimbra.
- Verificar el topeo del techo y hastiales con la roca circundante (verificar si las bolsacreto topean la labor).

7.1.11 DESATADO DE ROCAS

Barretillas para desatar



Fig. 7.1.11.1 Barretilla para desatar roca de aluminio redondo reforzado 1" X 3.0 m

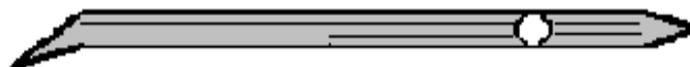


Fig. 7.1.11.2 Barretilla para desatar roca de acero hexagonal 3/4" X 3.0 m

USO DE LAS BARRETILLAS PARA DESATAR

- Avanzar desde el terreno bueno (estable) al malo (inestable)

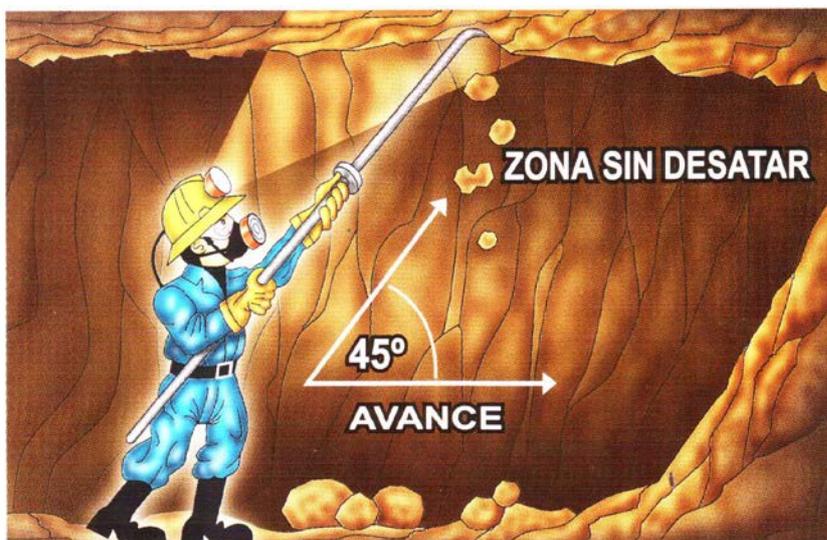


Fig. 7.1.11.3 Procedimiento de desatado de roca

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

- Se observo los diferentes tipos de sostenimiento empleados en las labores de profundización mina así como su optimización por medio de mapeos geomecánicos en los Dominios estructurales, litológicos su modelamiento y simulación por medio de software geomecánico.
- En la supervisión Operativa para su aplicación de sostenimiento en la Labor se capacita al personal involucrado en forma continua, en teoría (Audio Video y Multimedia) y practica (en la excavación) luego una retroalimentación periódica.
- En la colocación de pernos al usar cartuchos cembolt se recomienda remojar como mínimo quince minutos para su absorción de agua luego poner la resina acompañado de cembolt continuar con el perno helicoidal sin la platina y con el adaptador unido al perno mezclar por un minuto los

cartuchos cembolt y la resina para evitar el efecto guante continuar con la platina y tuerca pasado dos días volver a ajustar para obtener una tensión final rígida con el concreto fraguado.

- En la aplicación shotcrete se observa la baja densidad de calibradores por m² mediante arreglos triangulares, se recomienda aumentar la densidad a un calibrador por m² con el objetivo de tener un espesor uniforme en la superficie de la excavación.
- Se obtiene por medio de ensayos de laboratorio la resistencia de un concreto sin fibra a uno con fibra es la mitad de su valor por lo cual recomendamos su uso en labores temporales y el concreto con fibra en labores permanentes, además obteniéndose un fraguado mas rápido por consiguiendo una excavación segura en un menor tiempo continuando en el desarrollo de la mina.
- Como parte del proceso de aplicación de concreto lanzado se recomienda la hidratación después de un día de aplicado para obtener un correcto fraguado y prevenir fisuras y craquelamiento observándose la carencia de este procedimiento.
- Para la instalación de cimbras se recomienda la construcción previa de dados de concreto y obtener mayor verticalidad, estabilidad evitando mayores desplazamientos y deformaciones.

- Se tiene múltiples beneficios al tener un sistema de monitoreo por convergencia como el grado de estabilidad de la excavación por medio de su deformación, velocidad y la aceleración de deformación que registra mediante monitoreo sistemático periódico mediante una programación semanal, mensual, de este estableciendo parámetros máximos de deformación velocidad y aceleración observándose si el terreno es estable, teniéndose como plan de contingencia el desatado de rocas , aplicación y refuerzo de sostenimiento.
- Con el objetivo de verificar el diseño teórico de los elementos de sostenimiento se ha reanudado el envío de muestras de shotcrete a los laboratorios obteniéndose los resultados de los ensayos dentro de un rango de confiabilidad, estableciéndose que sean en forma periódica; para los pernos helicoidales se hacen las pruebas de tracción y arranque, se ha evaluado usar una nueva fibra metálica de ultima generación que según sus características usa menor peso por m³ teniéndose similares resultados , que generaría menor costo por metro cúbico el los materiales asociados y una reducción de costos globales.
- Se recomienda cuando se da el reparto de guardia y se hace el pedido al área de geomecánica para la evaluación de una excavación esta sea desatada, ventilada y regada ahorrando tiempo y teniendo las condiciones de seguridad para continuar con dicha evaluación.

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

- Excavaciones Subterráneas en Roca.
Hoek & Brown
Editorial Mc Graw-Hill 1980
Primera Edición en Español.

- Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock
Leonard Obert
Science Advisor – Mining Research
U.S. Bureau of Mines, Denver, Colorado.

Wilbur I. Duvall
Supervisory Research Physicist
U.S. Bureau of Mines, Denver, Colorado.

- www.acerosarequipa.com.pe
Area Geomecanica

CAPITULO X

APENDICE

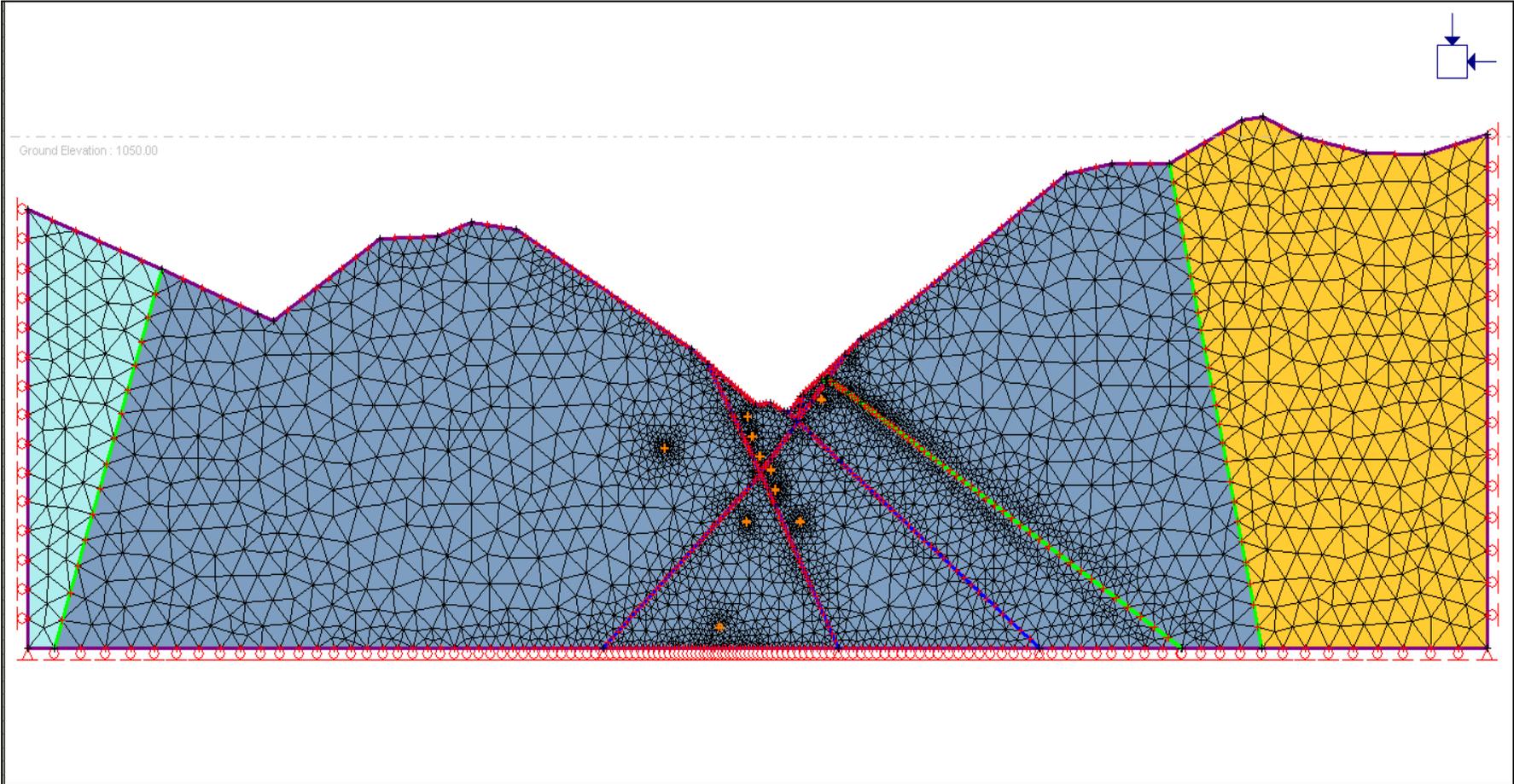
Formato de Cartilla Geomecánica

PROGRESIVA		Tipo de Roca	Clase	Color	Tipo Sostenimiento	Observaciones
De (m)	A (m)					
0+100	0+120	REGULAR-A	III - A	Anaranjado	P.H. 6' E=1.30m	Poner en forma triangular

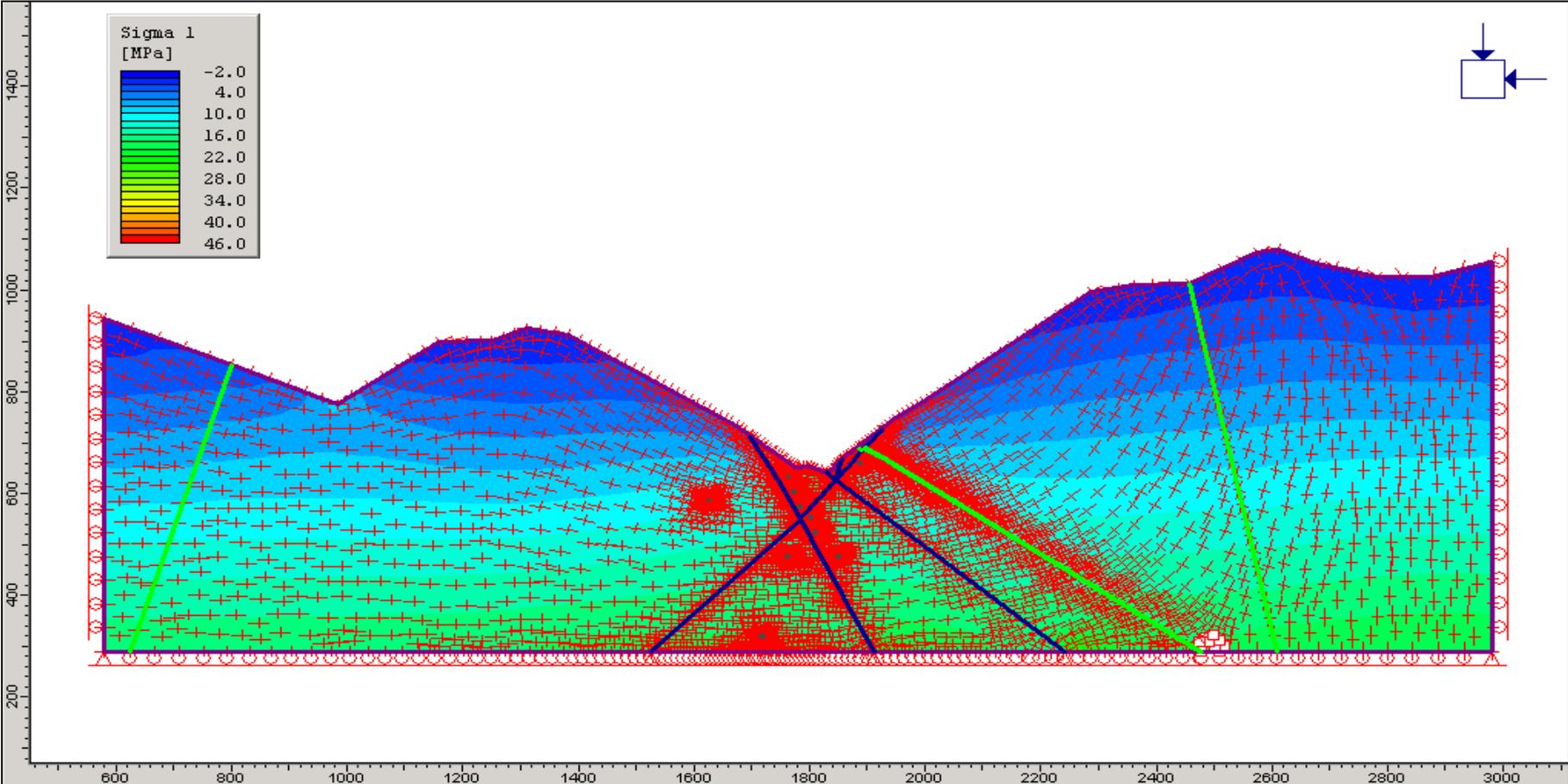
CATEGORIA DE SOSTENIMIENTO						
DESCRIPCION	Tipo de Roca	Clase	Color	Tipo de Sostenimiento Recomendado		
SOSTENIMIENTO MECANIZADO	MUY BUENA	I RMR 80-100	Azul	Ningún Sostenimiento requerido		
	BUENA	II RMR 60-80	Verde	Pernos puntuales de 6' (pies) de longitud		
	REGULAR - A	III RMR 50-60	Amarillo	Pernos sistemáticos de 6' (pies) de longitud espaciados a 1.5m		
	REGULAR - B	III RMR 50-60	Anaranjado	Pernos sistemáticos de 6' (pies) de longitud espaciados a 1.3m		
	MALA	IV RMR 21-40	Rojo	Pernos cementados sistemáticos de 6' (pies) de longitud espaciados a 1m + malla electro soldada + Shotcrete de 2.00" de espesor		
MUY MALA	V RMR 0-20	Marrón	Cimbras metálicas espaciadas a 1 m, con planchas metálicas de sección hexagonal			

SUPERVISOR DE GEOMECANICA	SUPERVISOR DE MINA	SUPERVISOR DE SEGURIDAD
---------------------------	--------------------	-------------------------

Discretizacion del Macizo Rocoso en CMH



ESFUERZOS EN CMH



EQUIPO PULL TEST

