

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA**

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: caracterización geomecánica de la mina Merceditas

Autor: Cristobao Margarido Lino Icuma

Tutor: Ms.C Osmany Mondéjar Oquendo

Moa, 1998

**!A más altura, peor golpe;
INDICE.**

	<i>Página</i>
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS – MINERAS DE LA REGION.	2
I.1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio.....	2
<i>Merceditas, El Cobre, Túneles Populares</i>	
I.2. Características geológicas de las zonas de estudio.....	3
<i>Merceditas, El Cobre, Túneles Populares</i>	
I.3. Tectónica de los yacimientos.....	5
<i>Merceditas, El Cobre, Túneles Populares</i>	
I.4. Agrietamiento de los macizo.....	7
<i>Merceditas, Túneles Populares y El Cobre.</i>	
I.5. Tecnología de laboreo y características de las labores.....	12
I.5.1 Tecnología de laboreo.....	12
<i>Merceditas, El Cobre, Túneles Populares</i>	
I.5.2 Características de las labores.....	13
<i>El Cobre, Merceditas, Túneles Populares</i>	
I.6. Propiedades físico mecánicas de las rocas	14
I.6.1 Propiedades masicas.....	
I.6.2 Propiedades de resistencia.....	15
I.6.3. Resultados de las propiedades fisico-mecánicas.....	16.
<i>Merceditas, El Cobre, Túneles Populares</i>	
I.7 Análisis de estabilidad de las excavaciones existentes.....	18
<i>Deere, Barton, B.Torres, Wickhan.</i>	
I.7.1 Resultados del calculo de estabilidad.....	21
 CAPITULOII: CALCULO DE LAS CARGAS ESTATICAS.....	 25
II.1. Mecanismo de acción de la presión minera.....	25
II.2. Hipótesis de calculo de presión minera.	
<i>El Cobre Mercedita y los Túneles Populares.....</i>	27
II.4 Resultados de calculo de las cargas estáticas.....	30
CAPITULO III: CALCULO DE LAS CARGAS DINAMICAS ACTUANTES.....	35
III.1. Conceptos Básicos	35
III.2. Esfuerzos Iniciales Dinámicos.....	35
III.3. Criterios de Análisis.....	38
III.4. Calculo de las Cargas Dinámicas para cada zona de estudio.....	39
III.5. Análisis del campo de esfuerzo dinámicos.....	44
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFIAS.....	49

!A más altura, peor golpe;

INTRODUCCIÓN.

En el trabajo se analiza la temática de la evaluación de las cargas actuantes en las excavaciones subterráneas, para ello se toman como objetos de estudio dos minas subterráneas(El Cobre y Merceditas) y los Túneles Populares del municipio Moa.

Como es conocido el sostenimiento de las excavaciones subterráneas en cualquier de los casos, ocupa gran parte de los costos de construcción, por lo que se hace necesario definir con precisión las cargas que actúan para poder realizar un proyecto adecuado del sostenimiento que garantice la seguridad y longevidad de las obras, pero que a la vez sea racionalmente económico.

En el presente trabajo se hace una valoración geológica y de algunas propiedades físico-mecánicas de los macizos rocoso estudiados y se evalúa su estabilidad empleando para ello varios de las clasificaciones geomecánicas mas difundidas.

Como aporte significativo de este trabajo se hace una valoración de las cargas dinámicas que pueden actuar en cada obra a causa de la acción del efecto sísmico.

Esto se justifica plenamente teniendo en cuenta que las obras se encuentran ubicadas en regiones donde hay afectación sísmica y muchas de las excavaciones estudiadas están a poca profundidad(Túneles Populares), o enclavadas en zonas de afectación tectónica(Merceditas).

!A más altura, peor golpe;

CAPITULO I: CARACTERISTICAS GEOLOGO-MINERAS DE LAS REGIONES DE ESTUDIOS

I.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LOS YACIMIENTOS.

MINA MERCEDITAS

Se encuentran ubicada en la región Moa-Baracoa en la parte noreste de la provincia Holguín, y en la parte del macizo montañoso Sagua-Baracoa, la ubicación de las minas de cromo según las coordenadas de Lambert son las siguientes:

<i>X1=706250</i>	<i>Y1=200000</i>
<i>X2=706250</i>	<i>Y2=199400</i>
<i>X3=707150</i>	<i>Y3=199400</i>
<i>X4=707150</i>	<i>Y4=200000</i>

A este grupo pertenecen las Minas Cayo Guam, Cromita, Merceditas y Amores; alguno de ellos ya abandonados y en proceso de rehabilitación y la mina Merceditas objeto de nuestro estudio actualmente en explotación.

Esta mina se encuentra a 240Km de la ciudad de Holguín y a 50 km. al sudeste de Moa en los márgenes del río jaraguá

MINA EL COBRE

El yacimiento esta ubicado en las estribaciones norte de las montañas de la sierra Maestra en la parte sur de la provincia Santiago de Cuba y 13km al oeste de la ciudad Santiago de Cuba. Las coordenadas geográficas según Lambert son:

X=592000 -- 594000

Y=159800 -- 155400

La región del yacimiento se caracteriza por un relieve complejo accidentado, las cotas absoluta constituyen 300-400m, alcanzando cerca del yacimiento 800m el pico "El Cobre".

***!A más altura, peor golpe;
Abundan los valles profundos y las estribaciones montañosas de las direcciones meridionales con pendientes suaves hacia las zonas del mar caribe los declives de las son abruptas con pendientes hasta 40 grados.***

TUNELES POPULARES MOA

Las excavaciones se ubican en el municipio de Moa en la provincia de Holguin. Los macizo rocosos pertenecen a la formación Sagua Baracoa.

Las coordenadas geográficas del yacimiento según Lambert:

X1=655000 X2=702000

Y1=222000 Y2=224500

I.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

MINA MERCEDITA

Se considera que generalmente, los yacimientos de cromita son de origen automagmáticas y son derivadas del magma peridotítico.

En la región de estudio se desarrolla principalmente los cúmulos ultramáficos maficos. La parte baja corresponde a los cúmulos ultramáficos y se dividen en tres paquetes de determinada composición petrográfica.

a)- La parte inferior del paquete de los cúmulos ultramáficos afloran al noreste de la región y está cubierto por cortezas de intemperismo, no conociéndose su composición la parte media que le sigue es predominante harzburgítica con dunitas y enstánticos. Después de este paquete aumenta la presencia de dunitas estas rocas se van intercalando con capas anteriores de manera irregular y su espesor puede variar de algunos centímetros a metros. En las dunitas se puede diferenciar claramente los cristales de cromoespinelos. Los cuerpos de cromita conocidos en este paquete (yacimiento Mercedita) se asocia a la parte superior de esta y están representadas por una serie de cuerpos lenticulares de un espesor de 10 a 15 m y una longitud de 1,2 Km.

!A más altura, peor golpe;

b)- El segundo paquete esta representado por intercalaciones de harzburgítica y dunitas con una cantidad de enstatitas, así como dunitas, ortopirocenitas alivínicas y poco frecuentemente capas de yerzolititas. Los horizontes productivos tienen un espesor de 50 a 80m.

c)- El tercer paquete se caracteriza por tener estructura homogénea y da fin al corte acumulativo de esta región. Su posición no esta clara, aunque que litológicamente es muy gradual, lo que dificulta la separación de paquetes entre estas dos litologías. En este horizonte no se observan acumulaciones de cromita de iteres industrial. El espesor de este paquete varia de 50 a 120 m.[13]

EL COBRE.

El campo metalífero el cobre esta relacionado con la zona de articulación del anticlinario sierra maestra con el sinclinal de cuba oriental en la llamada formación el cobre representada por un paquete de roca volcanigenos sedimentaria de edad (plioceno-eoceno) y un amplio desarrollo de fallas disyuntivas y diferentes intrusiones. El yacimiento se caracteriza por tener una constitución geológica y compleja determinada por varios sistemas de fallas, las más considerables son del sistema sub-meridional con la dirección noreste sub-meridional. El sistema sub-latitucional real de falla esta representado por la falla grande el cobre, la misma buza bruscamente al sur con ángulos de 75-85 grados, tienen un ancho de 100-200m y se considera la estructura de conducción del magma y de control 67, localización la mineralización, dicha falla pertenece al tipo de zona tectónicas de larga duración y ubicación profunda. El sistema de falla sub-meridionales divide al yacimiento en una serie de bloques que forma una estructura de bloques escalonados del bloque mineral principal, los diferentes bloques se diferencian por el grado de manifestación del metamorfismo, así como por el carácter de mineralización. El buzamiento de esta falla es de 70-85grados su ancho oscila entre 20-60m caracterizado por la alteración y facturación de las rocas. Es precisamente en un bloque levantado donde se encuentra.[15]

TUNELES POPULARES MOA

El área se caracteriza fundamentalmente por la intensidad con que actúan los procesos de meteorización, destacándose en gran medida el imtemperismo de tipo químico y con resultado del mismo la formación de una típica corteza laterítica dando lugar al yacimiento de tipo residual en Ni, Fe, y Co.

!A más altura, peor golpe;

Las condiciones claves para la formación y desarrollo de la corteza de este tipo son las siguientes:

1)- Existencia de un macizo rocoso de composición ultrabásica.

2)- Existencia de un clima cálido y húmedo.

3)- Presencia de un relieve casi plano que no permita que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y transporte de los productos de meteorización.

4)- Existencia de un sistema de grietas y fisuras de diversos orígenes.

La combinación de estos factores en el territorio Moa es evidente por la presencia de potentes horizontes lateríticos en la corteza de meteorización con propiedades geotécnicas muy particulares que como base natural de las construcciones se pueden considerar suelos especiales.

En la zona de estudio la columna estratigráfica esta formada por cuatro capas estratigráficas:

Lateritas ferroginosas: es la que aparece en parte superior de rojo oscuro y con alto contenido de minerales de hierro y bajo contenido de níquel.

Lateritas niquelíferas: aparece por debajo de la capa anterior ,esta constituidas por suelos arcillosos de color marrón a rojo por lo general ricas en niqueles y sílice

Serpentinita meteorizada: esta zona posee un alto grado de alteración y en ocasiones se presenta con intercalaciones de periodititas alteradas muy agrietada y de Lateritas, lo cual la hace mas inestable.

Serpentina no alteradas: Esta roca esta en buen estado y posee estabilidad.[9]

1.3 TECTONICA DE LOS YACIMIENTOS.

MINA MERCEDITAS

El área donde se realizan los trabajos se encuentra en una zona de gran actividad tectónica.

Existen dislocaciones posminerales representadas por zonas de fragmentación y agrietamiento abierto tanto en las rocas encajantes como en los cuerpos minerales.

El máximo exponente de la tectónica posmineral es la falla sublatitudinal jaragua que pasa a lo largo del contacto ultramáfico con garbos. Con esta falla esta relacionada una formación de una amplia zona de fracturas que tiene una de hasta 300m, esto es una dislocación tectónica posmineral- de grandes dimensiones.

***!A más altura, peor golpe;
Dentro de los límites del yacimiento se observan dislocaciones tectónicas su desplazamiento de las minas y rocas encajantes, una falla característica de este tipo es la que pasa a lo largo del río Jaragua, ella participa en la división del yacimiento en los bloques.***

Puede observarse que entre los lentes 3 y 5 existe una falla con desplazamiento de extensión nordeste. Este desplazo el bloque occidental a una distancia de 50 a 60m al norte.

El macizo se encuentra afectado, lo cual provoca la configuración de los diferentes sistemas de grietas existentes.

Las rocas se presenta con ángulos subverticales de modo que al ser laboreados los bloques quedan sueltos como se observan en las excavaciones provocando irregularidades en su forma .

MINA EL COBRE

La tectónica juega un papel importante en el campo menífero el Cobre en la fase inicial como controlador de la mineralización y en la fase posterior como elemento disyuntivo de esta, indicada en la fase de diques de intrusiones subvolcánicas.

El cobre con el desarrollo de una serie de estructuras anulares vulcanotectónicas, la principal de las que en un gran volcán de escudo al que llama ermitaño, dentro del que se ubican varios estratos volcánicos. Hacia la periferia de una de estas se ubica el yacimiento sobre un volcán de cima o cúspide.

El caldero de la cima está representado por una depresión redondeada con una profundidad mayor de 300m. Las E.V.T están muy afectadas por la tectónica pre y pos mineral, en estos se destacan las fallas magmas conductoras del grabien de derrumbe boniato la que controla el vulcanismo y la manifestación de la mineralización hidrotermal de temperaturas medias en los estadios temprano y tardío de la ruptura media en los estadios medios y tardíos de la formación E.V.T

El yacimiento está ubicado en un núcleo o intersección de las fallas de diferentes direcciones y edades respecto al evento mineralizante. A lo largo del yacimiento puede ubicarse la falla el cobre que se extiende al este de Gitanilla con división latitudinal atravesando todo el yacimiento. Presenta un amplio rastro con fuertes alteraciones hidrotermal, esta estructura la definen varios sectores como el principal controlador de la mineralización, con un marcado desarrollo del complejo hidrotermal inframineral. Otro sistema importante son las fallas secundaria y podemos ubicarlas como fallas preintaminales con direcciones de (55-65°) bien definido al norte del yacimiento entre los perfiles 3 y 14 y el sector Gitanillas.

*!A más altura, peor golpe;
El tercer sistema son las fallas transversales al nordeste que afectan y deforman las estructuras minerales. Este sistema presenta buzamiento abrupto de (60–70°) generalmente en ellos se emplazan diques de andesita y andesito-basalto. Están muy desarrollado en todo el yacimiento, lo mismo gitanilla que hacia la zona de la cantera.*

TUNELES POPULARES

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la zonas son sumamente complejas, siendo muy difícil en las secuencias más antiguas, el desciframiento de las mesoestructuras plegadas, dada la monotonía litológica que presenta, no obstante los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas (Vulcanógenas Metamórfitas) existen tres dislocaciones de plegamiento fundamentales:

Nordeste –Sudeste, Noroeste-sudeste, y Norte-Sur.

También la tectónica disyuntiva es igualmente compleja, pudiendo destacar en la región los siguiente sistema de dislocaciones.

- Sistema de manto tectónico, cuyo rumbo coincide con la dirección general del plegamiento de las secuencias más antiguas y con la cual se asocian pequeñas fallas inversas de ángulos abruptos y grietas de cizallamiento.

- Sistema de fallas de dirección Oeste-Noroeste, Este-Sudeste, las cuales provocan el emplazamiento lateral de los contactos del sistema anterior.

- Sistema de fallas de dirección Norte-Noroeste, Sur- Sudeste y Noreste-SurSuroeste, las cuales intervienen en la división en bloques de la región.

- Sistema de falla mas jóvenes con dirección aproximada Este-Oeste, constituyendo un sistema paralelo al rumbo de falla Bartlett.[5]

I.4 AGRIETAMIENTO.

MINA MERCEDITA Y TUNELES POPULARES.

Es el factor más importante a la vez más difícil de evaluar en el estudio geomecánico de los macizos serpentiniticos debido a que se presenta con una irregularidad notable tanto por su litología, tipología y génesis como por su característica y manifestaciones.

Dentro de las grietas tectónicas presentes en la serpentina están aquellas microestructura primarias relacionadas con los proceso de formación de las rocas ultrabasicas afectadas por grietas originadas por cambios de volúmenes en el proceso de serpentizacion, las cuales en conjunto incluyendo las grietas tectónicas son muy propensas a deformarse por los procesos

!A más altura, peor golpe; exógeno en los que se destaca el fenómeno de erosión y meteorización que ensanchan, profundizan las mismas, además de los fenómenos gravitacionales ,de movimientos de bloques y dilatación debido a las fuerzas (tensiones) por el propio peso de estas rocas fragmentadas en pedazos de diferentes y forma .

Según se puede observar en este macizo debido a la heterogeneidad de las propiedades físico - mecánicas y a la alta plasticidad de las rocas al originarse fenómenos tensionales en la superficie de los bloques preexistentes con propiedades comunes.

La gran difusión de las propiedades físico mecánicas trae aparejado la aparición de un fenómeno típico y además crítico a este macizo el cual se conoce como estructura leudinas, que ocurre cuando un paquete de rocas plástica se encuentra en horizontes de rocas duras y frágiles las cuales se parten en pedazos. La grieta de separación por efecto de la tracción se observa bastante aislada y en muchas ocasiones se confunden con aquellas grietas no tectónicas originadas por efectos gravitacionales o por la acción del laboreo, por otras actividades propia de la minería.

Debido a estas características el agrietamiento del macizo, poseen una variación entre una zona y otra, por lo que se distinguen tres grandes casos para su estudio.

CASO A.

Es aquel donde la estructura predominante es en bloques bastante perfectos o regular de tamaño considerables. Presentan un agrietamiento planar bien definido o regular con matriz rocosa fuerte y de poca altura. Este comportamiento casi no aparece en las minas analizada debido a la formación de un agrietamiento artificial producto del sistema de laboreo, el cual no permite establecer el tamaño orinal del bloque, esta facturación secundaria provoca en un macizo que es estable, la formación y caída de la cima de rocas hasta que aparezca una superficie generalmente en el astil izquierdo de la galería de Mina Merceditas, una superficie en forma de bloques grandes y bastantes pulidos, lo que evidencia anteriormente de una zona en forma de bloques grandes dimensiones formadas generalmente por dos sistemas de grietas. Generalmente esta asociada a un aumento de la reseña de la excavación.

Es más frecuente en las galerías de Mina Merceditas en él aparecen bien definidos tres sistema de grietas y a veces va siempre acompañado de un diaclonado desordenado producto del sistema de laboreo o asociado a movimientos por dilatación térmica del macizo de origen sísmico.

Las grietas son planares y sistemáticas con una interacción entre ellas de tipo equivalente, son maderablemente abiertas(2.5-8mm) continuas.

!A más altura, peor golpe;

Su morfología es plana suave o llana con paredes ligeramente alterada con material de relleno secundario, calcita, serpofita y algunas veces aparecen cristales de cuarzo este logra una fuerte cohesión de entre partículas y facilita la unión de los bloques cuando un elevado coeficiente de fricción, son estables y se disuelven con dificultad en ellas se observa poca actividad del agua lo que conlleva a afirmar que la circulación de este a través de ella es muy poca o ninguna. Además existe relleno de las partículas pendientes de la distribución de las caras de juntas el espaciamiento medio de las grietas es de 28.5cm.

CASO B

La estructura predominante es de cuñas o pirámides con forma y volúmenes irregulares con un mayor numero de sistemas de grietas y menos espaciamiento. Matriz rocosa de puente a media con una alteración visible.

Es el caso que mas frecuente en la mina estudiada siendo además esta la zona mas inestable cuando se asocia ala aparición de un sistema de grietas predominantes en la misma dirección que la galería y ubicada por su eje, ocurren desprendimientos asociados a la variación del estado tensiones en el contorno y la variación de la cohesión de las sustancias cementantes que unen las partículas y pedazos de roca. En el techo aparece una considerable sobreexcavación.

Este se pone de manifiesto en casi todas las galerías analizadas en la mina Cayo Guam y Cromitas, dándole una estructura al macizo en forma de cuña, pirámides con discontinuidades algo mas unidos que en el caso anterior. Generalmente aparecen de 3-4 sistemas acompañados de un diaclasado no organizado pero de características similares a las sistematizadas.

La abertura de la grieta es pequeña (2-6cm) con una longitud que varia (20-48cm) en espaciamiento medio de (18.5cm), las paredes son de tipo planas algo rugosa con una alteración moderna. El relleno es del tipo anterior aunque aparece además algo de carbonato en algunos caso son discontinua en pequeñas longitudes, menores de 1m generalmente aparecen un sistema en la misma dirección al túnel convirtiéndose este en un sistema crítico a la hora de evaluar la estabilidad

CASO C

Estructura de aspectos brechificados o triturados con pequeños fragmentos anulares hasta redondeado, agrietamiento caótico en todo su sentido. Matriz rocosa de valores de

*!A más altura, peor golpe;
resistencia mas baja, mayor alteración y humedad aparece con bastante frecuencia en galerías de Minas Amores con una elevada estabilidad asociada a la falla con sentido desfavorable el desordenamiento caótico de este agrupamiento que en bien es interno y profundo ,conforma un sistema estable macizo excavación independientemente que ocurran cambios tensionales bruscos en el contorno de la excavación ,generalmente las características del cemento no varia o cuando ocurre, solo ocurre la caída de pequeños fragmentos de rocas que en ningún momento debe considerarse como perdida de estabilidad . La aparición de este fenómeno esta asociada a disminución de la reacción del área de la excavación.*

Este se pone de manifiesto en Minas Amores y en algunos casos en Mercedita.

Las grietas son cortas discontinuas con una distribución muy difusa tanto en sistematicidad como en elementos de yacencia o espaciales a una distancia pequeña (<5cm) catalogándose de muy fuerte con esparcimiento medio de 0.03m. Estructuralmente el macizo es muy irregular, apenas pueden definirse la forma y tamaño de las cuñas. Los fragmentos en su mayoría son angulares y en algunos caso tienden a ser redondos. No se puede hablar de la existencia de familia de juntas en esta zona ya que solamente se observa caótico sin un orden ni familiarización. El relleno es similar aunque la cantidad de este compuesto por el material de destrucción de la junta aumenta.

EL COBRE:

El yacimiento esta relacionado con la falla regional el cobre la cual se extiende en dirección latitudinal y se limita al sur y norte por dos fajas de facturación de rocas. El yacimiento también esta atravesado por fallas de segundo orden y dirección submeridional que desarrolla complementariamente la estructura de una serie de bloques. El propio macizo encajante tiene una serie de fallas pequeñas, gracias a los cuales en el se forma una red de grietas y pliegues con direcciones caóticas.

En el área del yacimiento se manifiesta dos tipos genéticos de grietas:

1-Agrietamiento de origen tectónico, ampliamente distribuido y que guarda una relación genética y especial con las dislocaciones disyuntivas presentes en el área del yacimiento entre ellos la falla regional el cobre.

2-Agrietamiento no tectónico asociado a la zona de corteza de intemperismo donde se desarrolla varios tipos genéticos de grietas no tectónicas, entre ellos:

- grietas de estratificación*
- grietas de enfriamiento o primarias*

!A más altura, peor golpe;

- ***grietas de intemperismo***
- ***grietas de diagénesis***
- ***grietas de descarga***
- ***grietas de productos de explosiones artificiales***
- ***grietas de deslizamiento***

De todos ellos los que mejor se manifiestan en el área del yacimiento son los tres primeros. En la formación del cobre también se desarrolla grietas no tectónicas. Las particularidades de estas grietas son :

- ***Relación con los horizontes superficiales e incluso con los superiores de la corteza terrestre***
- .
- ***Para cada tipo petrográfico de roca se forma una estría de diferentes tamaños y formas.***
- ***Irregularidad en el rumbo.***
- ***Ausencia como regla de un sistema determinado.***

A medida que aumenta la distancia de la falla regional hacia el norte y hacia el sur ,la intensidad de agrietamiento disminuye. Cuando se realizó el estudio de agrietamiento en el nivel +30 se efectuaron las mediciones por tramos de 9,10,12 y 15m, donde se observaron cambios en los sistema de grietas a todo lo largo de la galería las mismas son continuas rellenas con material arcilloso, milonitizado, con superficie rugosa y no muy frecuente lisas con un espesor de 0,2 a 4cm y una distancia promedio de 20 a 40cm con cero de afluencia de agua , también se puede observar en algunos tramos zonas mineralizadas donde las grietas están rellenas de material mineralizado, principalmente piritas .

Durante el recorrido efectuado se apreció en los distintos puntos, dos a tres familias de diaclasas con otras diaclasas ocasionales o secundarias a causa de los trabajos de perforación y explosivos con una ligera alteración.

Los aspectos evaluados en el agrietamiento son :

Distancia entre grietas

Abertura de las grietas

Presencia de agua

Índice de alteración

Índice de rugosidad

Sistema de grietas

Ángulo de buzamiento

Acimut de buzamiento

!A más altura, peor golpe;

I.5 TECNOLOGIA DE LABOREO Y CARACTERISTICAS DE LAS EXCAVACIONES HORIZONTALES Y INCLINADAS EXISTENTES.

I.5.1 TECNOLOGIA DE LABOREO:

MINA MERCEDITAS

El método de laboreo de excavaciones horizontales existente en las minas se realizo con un frente único utilizando los trabajos perforación y voladura con explosivos.

En la mina se realizo un socavón principal (M-1) del cual se desprende un ramal de galerías que constituyen el nivel inferior. Estas excavaciones tienen diferentes dimensiones de sus secciones las cuales se han determinado basándose en su destino y al equipamiento utilizado para su construcción.

El laboreo de las excavaciones inclinadas se realizo también del mismo modo utilizando los trabajos de perforación y voladura.

La perforación de las barrenas se realizo con diferentes tipos de perforadoras entre las cuales podemos citar: PR-24; PR-25; VV-4, estas son manuales y neumáticas, también se utilizan se utilizan PT-29; BR-220 y la PA-27B, la carga de la roca se realiza con cargadoras del tipo NL-12VB, y el transporte de la misma en vagonetas traicionadas por una locomotora eléctrica ALO-2, las capacidades de las vagonetas son 0,75m³, y son de fabricación checa, polaca y cubana.

MINA EL COBRE.

El método de laboreo de las excavaciones existente en la mina se realiza con un frente único utilizando los trabajos de perforación y explosivos.

En la mina se realizó una galería principal de la cual se desprende un ramal de galería que constituye el nivel +30, su sección transversal se ha dimensionado basándose en su destino y al equipamiento empleado para su construcción. En las excavaciones inclinadas también se realizan trabajos de perforación y voladura. La perforación de las barrenas se realiza con perforadoras manuales y neumáticas como en el caso anterior, y la carga de la s rocas se realiza con las maquinas cargadoras, y el transporte en vagonetas traccionadas por locomotoras eléctricas ALO-2.

TUNELES POPULARES

El método de laboreo empleado aquí es de apertura de varios frentes a la vez, que se interceptan en su interior utilizando los trabajos de perforación y explosivo(la perforación se realiza con perforadoras neumáticas.) Y a veces se utiliza el arranque con martillos(manualmente), en tramos de poca estabilidad. La carga de las rocas se realiza con

*!A más altura, peor golpe;
carretillas y palas manuales. Las excavaciones horizontales existentes están dimensionales
también basándose en su destino.*

I.5.2 CARACTERISTICA DE LAS EXCAVACIONES.

MINA EL COBRE.

*En la mina el cobre ya existe un sin número de excavaciones inclinadas y horizontales con
determinadas funciones, donde existen trabajos de apertura, preparación y explotación.*

*Nuestro trabajo se realizó en el nivel +30 donde existe una galería principal que va del pozo
4 al pozo 3, con una dirección 70 NE, con un ancho de 2,30 m, y una altura de 2,50 m, y una
longitud de 226 m, interceptándose con ella una galería de ventilación que llega hasta el pozo
5 con una dirección de 35NW, y una longitud de 66,00m.*

MINA MERCEDITAS

*Se explota el yacimiento por el modo subterráneo desde el año 1981, con perspectivas de
continuar la explotación por el mismo modo. La razón por la cual este se emplea este modo
de explotación en el yacimiento es producto al relieve montañoso y los resultados obtenidos
de los gastos mínimos reducidos del laboreo subterráneo y a cielo abierto, donde resulto el
modo subterráneo por ser más factible.*

*En la etapa de exploración geológica la mina fue aperturada por medio de tres
excavaciones, que fueron contribuyendo inicialmente para las labores de explotación
geológica así como para la explotación de cuerpos minerales. Para la explotación de este
yacimiento se ha utilizado un método de la clase I, con la zona de arranque abierta. Según la
clasificación de Aguscheko, ya que las rocas son de buena estabilidad y fortaleza así como
la mena*

TUNELES POPULARES

*Los túneles, como su nombre indica tienen funciones muy variadas ya que se son
excavaciones que se construyen con el objetivo de la protección popular en caso de guerra.
Sus dimensiones varían en dependencia del lugar y destino de cada caso desde 1-3m de
ancho y 1,5-2,3m de altura, las excavaciones tienen por lo general una forma de sección con
paredes rectas y techo abovedada. Ver fig1.(Este caso también se da en las excavaciones de
las tres zonas de estudio).*

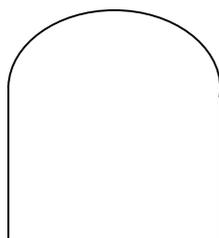


Fig. 1 Sección transversal con paredes rectas y techo abovedado.

!A más altura, peor golpe;

1.6 PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LAS ROCAS.

La variación de las propiedades físico mecánicas de un macizo rocoso depende de una serie de factores, los cuales están condicionados a su vez por una serie de situaciones inherentes a su formación, dentro de estas pueden mencionarse: Granulometría, composición mineralógica, textura, proceso de formación del mineral, edad del macizo, etc. Además están condicionados por la influencia de los trabajos minero que sobre estas influyen (métodos de laboreo, método de sostenimiento empleado, y las características de la excavación).

1.6.1 Propiedades masicas de las rocas.

MASA VOLUMETRICA: *generalmente las rocas están compuestas por tres fases (sólido líquido y gaseoso) en su estado natural. La masa volumétrica representa el peso de la unidad de volumen de todas las rocas o muestras incluyendo las tres fases o es lo mismo que la relación entre el peso de la roca(Q) y el volumen que ella ocupa(V), matemáticamente se expresa así:*

$$\gamma_v = \frac{Q}{V} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

DENSIDAD: *Es la relación que existe entre la masa de la muestra y el volumen que ocupa su fase sólida o esqueleto; para su determinación se utilizo el método pignometrico, el que se basa en la variación del peso del pignometro lleno con liquido, al cambiar parte de este liquido por el material investigado(triturado), este es él mas usado para su elevada exactitud, lo que está condicionado en gran medida por la probabilidad de excluir del volumen de las rocas el que ocupa los poros y grietas, esto se logra al desmenuzar previamente las rocas para eliminar el volumen que ocupa los poros y grietas, matemáticamente se expresa así:*

$$\gamma_e = \frac{G}{V_s} ; \text{ T/m}^3$$

Donde: G--- Peso de la muestra a ensayar en T.

Vs--- Volumen que ocupa en la fase sólida m³.

POROSIDAD: *La porosidad de la roca se valora mediante el coeficiente de porosidad, ya que es la relación entre el volumen que ocupan sus poros y el volumen total de ellas.*

***!A más altura, peor golpe;
Cuantitativamente, la porosidad total puede determinarse a partir de la densidad y la masa volumétrica por la expresión sgte.***

$$P = (\gamma_e - \gamma_v) / \gamma_e * 100$$

Donde: γ_e ----- Densidad de la roca T/m^3 .
 γ_v ----- masa volumétrica T/m^3 .

HUMEDAD: Es la cantidad de agua que contiene la roca en sus poros ,grietas y oquedades, se puede determinar a través de la siguiente expresión:

$$W = \frac{P1 - P2}{P2} * 100\%$$

P1- Peso de la muestra antes de secarse(g).

P2- Peso de la muestra después de secarse(g).

1.6.2 Propiedades de resistencia de las rocas.

Es de gran importancia el conocimiento de las propiedades mecánicas de las rocas, porque para una misma roca no son constantes ya que varían en dependencia de sus condiciones geológicas y cargas actuantes etc.

Los principales factores que influyen o que predeterminan las propiedades mecánicas de las rocas son:

Profundidad de yacencia.

Tectónica de la región y su régimen.

La naturaleza de la resistencia de la roca se caracteriza por ser de una gran complejidad, sus características y magnitudes pueden variar en grandes límites, en dependencia de una serie de factores, como son:

Tamaño de los granos componentes.

Tipo de composición del cemento mineral .

Porosidad, humedad y agrietamiento.

Tamaño y forma de las muestra a ensayar.

!A más altura, peor golpe;

Resistencia a Compresión: El método empleado para determinar la resistencia a la compresión fue mediante el ensayo de testigos en un estado uniaxial, o sea, sometiendo las muestras de las rocas a cargas uniaxiales al colocarlas en los platos de la prensa.

Resistencia a la Tracción: Es uno de los índices principales usados en la evaluación de la resistencia de la roca, ya que ella puede fallar al superar las tensiones su resistencia a la tracción. Este índice puede ser determinado utilizando diferentes métodos, Regulares, Semirregulares, e irregulares. En este caso se empleo el método BRASILIANO.

1.7 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS OBTENIDOS.

@ Propiedades masicas de las rocas.

Tabla1. EL COBRE[8]

TIPO DE ROCAS	M VOL. (g/cm³)	COEF. VAR.(%)	DENS. (g/cm³)	VAR. (%)	POROS (%)	VAR. (%)
TOBAS DE DIFERENTES GRANULOMETRIA	2.09	2.10	2.75	3.60	2.75	8.61
PORFIRITAS ANDESITICAS	2.56	0.87	2.75	0.72	2.75	9.72
TUFITAS ALTERADAS	2.56	1.83	2.73	0.36	2.73	6.86
ARENISCAS TOBACEAS	2.49	2.80	2.91	0.68	2.91	2.88

Tabla 2. MERCEDITA[13]

TIPO DE ROCA	M. VOL. (g/cm³)	VARIAC (%)	DENS. (g/cm³)	VARI. (%)	HUME. (%)	VARIAC. (%)
HARZBURGUITA	2.55	11.59	2.68	10.71	1.46	2.21
PERIDOTITA	2.83	10.95	2.66	10.71	0.734	7.88
CROMITA	3.92	11.02	3.98	11.02	0.115	6.09
DUNITA	2.66	14.70	2.77	10.39	1.14	4.97

Tabla3. TUNELES POPULARES [5]

TIPO DE SUELO	DENSID. HUME-DAD KN/m³	DENSIDAD SECA KN/m³	HUMEDAD (%)	PESO ESPECIFICO KN/m³	POROSIDA D(%)
Suelos lateríticos finos (arena muy fina mezclada con arcilla limosa, densidad baja, salinadas consistencia sólida)	23,18	22,63	2,48	32.0	1.7

!A más altura, peor golpe;

@ Propiedades de resistencia:

Tabla4. MINA EL COBRE[8]

TIPO DE ROCA	R_C MPA	VARIACION(%)	R_T MPA	VARIACION (%)
TOBAS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS	67.9	6.30	3.64	5.71
PORFIRITICAS ANDESITICAS	25.4	5.24	5.32	6.29
TUFITAS ALTERADAS	41.3	4.22	7.83	7.81
ARENISCAS TOBACEAS	85.0	5.86	3.71	4.52

Tabla5. MINA LA MERCEDITA [13]

TIPO DE ROCA	R_C MPA	VARIACION(%)	R_T MPA	VARIAC.(%)
HARZBURGUITA	38.09	29.73	10.820	25.58
PERIDOTITA	40.19	29.73	7.016	23.41
CROMITA	32.6	23.63	8.362	26.82
DUNITA	39.453	27.257	5.44	24.20

Tabla6. TUNELES POPULARES[5]

TIPO DE ROCA	R_C KPA	R_T KPA
Suelos lateríticos finos (arena muy fina mezclada con arcilla limosa, densidad baja, salinadas consistencia sólida)	1209,9	1601,3

Breve análisis de los resultados obtenidos para los diferentes casos:

1.7 ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE LAS EXCAVACIONES

Las clasificaciones geomecánicas son sistemas específicos donde se obtienen distintos parámetros geológicos y propiedades mecánicas para evaluar y definir el comportamiento del macizo rocoso. Mediante descripciones cualitativas y cuantitativas y una valoración de los parámetros de los índices de calidad, se llegan a establecer determinadas que describen el comportamiento al que se le puede asociar ciertas propiedades e incluso correlación con parámetros de diseños y elementos de sostenimiento, partiendo siempre de ciertos criterios empíricos.

Los principios generales de las clasificaciones son:

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

1- Relaciones empíricas.

2- Parámetros de fácil identificación.

3- Sencillos y fácil de aplicar.

4- Desarrollados principalmente a partir de la década del 70 alcanzando gran aceptación.

Han sido ampliamente comprobados y su utilidad fiable es indiscutible, aunque para su empleo debe tenerse en cuenta las limitaciones .

La mayoría de ellos han sido concebidos para describir cuantitativamente los macizos rocoso y no como procedimiento de diseño, sin embargo las clasificaciones mas recientes se consideran métodos empíricos de diseño.

La estabilidad fue evaluada por 4 métodos, todos conocidos, el RQD de Deere, el método propuesto por Barton y otros, la clasificación de Bieniawski con algunas concesiones de F.Torres, y el método propuesto por Wickhan y otros(RSR). Los que se describen brevemente a continuación:

I- ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD) DEERE 1963.

Se obtiene un índice cuantitativo basado en el porcentaje que se obtiene de un testigo. Se presupone que la perforación se realizo con una corona de diamantes.

$$RQD = \frac{\text{Longitud recuperado del testigo}}{\text{longitud perforada}} * 100\%$$

El índice RQD se puede obtener también por la formula siguiente.

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v; \quad J_v \text{ -- \# total de juntas del macizo por m}^3.$$

A partir de los valores obtenidos de RQD, Deere propone una clasificación de los macizos.

Tabla7. Deere.

<i>RQD(%)</i>	<i>CALIDAD DE LA ROCA</i>
<i>HASTA 25</i>	<i>MUY MALA</i>
<i>25-50</i>	<i>MALA</i>
<i>50-75</i>	<i>NORMAL</i>
<i>75-90</i>	<i>BUENA</i>
<i>90-100</i>	<i>MUY BUENA</i>

!A más altura, peor golpe;

II – METODO DEL INSTITUTO NORUEGO DE GEOTECNIA (PROPUESTO POR BARTON).

Este consiste en calcular el índice Q que representa la calidad del macizo rocoso utilizando 6 índices:

$$Q = RQD / J_n * J_r / J_a * J_w / SRF$$

Donde :

J_n- intensidad de fracturación.

J_a- índice de alteración de la fractura .

J_r- índice que caracteriza la rugosidad y continuidad de las juntas.

J_w- coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF - coeficiente de influencia del estado tensional

En función de Q se establece una clasificación del macizo rocoso.

Tabla 8. Clasificación de las rocas por Barton.

<i>Tipo de roca</i>	<i>Q</i>
<i>Pobre</i>	<i><52</i>
<i>Regular</i>	<i>52-57</i>
<i>Buena</i>	<i>57-60</i>
<i>Muy Buena</i>	<i>60-63</i>

III- CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIASKY-TORRES.

Esta constituye una de las clasificaciones más mensurables, objetivas y prácticas de todas, parte de la clasificación de Bieniawski con correcciones hechas por el licenciado F. Torres, para un mejor uso en nuestro país, el cual incluye el coeficiente de fortaleza, así como las consideraciones y los efectos de orientación de las grietas.

Esta además de los parámetros mencionados (fortaleza según Protodiakonov y la orientación de las grietas respecto al túnel) incluye un coeficiente RQD de Deere, el esparcimiento de las grietas, condiciones de fracturas y aguas subterráneas, estos factores tienen las cualidades al

*!A más altura, peor golpe;
ser sumadas con sus signos determinan el valor de RMM que varía de (0-100Mpa) para en
dependencia de estas clasificar las rocas en(tabla 9).*

Tabla 9. RMM de Bieniawski y Torres.

CLASIFICACION DEL MACIZO	VALOR DE RMM (Mpa)
<i>Muy Bueno</i>	<i>90-100</i>
<i>Bueno</i>	<i>70-90</i>
<i>Regular</i>	<i>50-70</i>
<i>Malo</i>	<i>25-50</i>
<i>Muy Malo</i>	<i><25</i>

IV – INDICE DE CALIDAD RSR(Rock Structure Rating):

Propuesto por WICKHAN, de concepción análoga al de BARTON, este autor desarrolla este índice el cual se obtiene por la expresión siguiente:

$$RSR = A + B + C$$

Donde:

A – Parámetro en función de la litología y estructura del macizo.

B – Parámetro que relaciona la orientación de la fractura y la dirección de la perforación

C – Parámetro que caracteriza las condiciones hidrogeológicas.

En función del RSR se establece una clasificación del macizo rocoso.

Tabla 10. Clasificación de RSR.

RSR	TIPO DE ROCA
<i><52</i>	<i>Pobre</i>
<i>52-57</i>	<i>Regular</i>
<i>57-60</i>	<i>Buena</i>
<i>60-63</i>	<i>Muy Buena</i>

!A más altura, peor golpe;

1.7.1 RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LA ESTABILIDAD SEGÚN LOS DIFERENTES CASOS Y LUGARES EN ESTUDIO.

Mina MERCEDITA. “ El calculo aquí se realiza por casos.”

Según Deere:

Tabla 11.

INDICE O PARAMETRO	CASO A	CASO B	CASO C
Jv(grietas /m²)	12,69	23,15	32,6
RQD	73,12	30,60	7,78
CLASIFICACION EN CALIDAD	Normal	Mala	Muy Mala

Según Barton:

Tabla 12.

INDICE	CASO A	CASO B	CASO C
RQD	73,12	30.60	7,78
Jn	6-12	12-15	15-20
Jr	1,5-2	1,5-2	1,5-2
Jw	1-0,66	0,66-1	0,66-1
Ja	2-4	2-4	1,5-4
SRF	2,5-5	2,5-5	5-10
Q(%)	0.75	0,38	0,017
CALIDAD DEL MACIZO	Buena	Mala	Muy Mala

Según Bieniasky- Torres

Tabla 13.

INDICE	CASO A	CASO B	CASO C
Coficiente de RQD	17	6	3
Coficiente de fortaleza	7-10	6-7	5-7
Espaciamiento de fracturas	20-25	5-10	5
Coficiente de fractura	20-25	10-12	0-12
Orientación de fractura	2-5	5-10	5-12
Cantidad de agua	4-7	4-7	4-7
RMM(%)	66-79	36-52	5-16
CALIDAD DE LA ROCA	BUENA	REGULAR	MUY POBRE

**!A más altura, peor golpe;
MINA EL COBRE: Aquí se realiza el calculo de la estabilidad por tramos.**

Según Barton.

Tabla 14. Galería principal[8]

INDICES	Tramo I	Tramo II	Tramo III	Tramo IV	Tramo V	Tramo VI	Tramo VII	Tramo VIII	Tramo IX
Q	14,8	14,7	14,6	14,8	6,39	6,14	29,6	2,67	2,36
RQD	99,1	98,3	97,7	98,7	98,9	99,7	98,7	82,3	70,8
Jn	4	4	4	4	9	9	12	9	4
Ja	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Jr	3	3	3	3	3	3	3	3	3
JW	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
CLASIFC	Buena	Buena	Buena	Buena	regular	regular	Buena	Regular	Regular

Según Wickhan

Tabla 15. Galería Principal.[8]

INDICES	Tramo I	Tramo II	Tramo III	Tramo IV	Tramo V	Tramo VI	Tramo VII	Tramo VIII	Tramo IX
Q	14,8	14,7	14,6	14,8	6,39	6,14	29,6	2,67	2,36
RMR	62	61	61	61	62	61	62	65	54
Sep.Griet	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Ja	18	18	18	18	14	18	14	18	15
Jr	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Jw	10	10	10	10	10	10	10	10	10
RSR	59,3	60,1	58,6	60,1	60,1	59,3	60,1	55,5	53,9
CLASIFC	Buena	Buena	Buena	Buena	regular	regular	Buena	Regular	Regular

Según Bieniawski.

Tabla 17. Galería principal [8]

INDICES	Tramo I	Tramo II	Tramo III	Tramo IV	Tramo V	Tramo VI	Tramo VII	Tramo VIII	Tramo IX
A. Grieta	3	1	1	1	3	1	3	3	3
RQD	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Rc	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ja	3	3	3	3	3	3	3	7	7
Jr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JW	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S. Grieta	20	20	20	20	20	20	20	20	20
RMR	62	61	61	61	62	61	62	56	54
CLASIFC	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

!A más altura, peor golpe;

TUNELES POPULARES

Tabla 16. Resumen de la estabilidad obtenida por Barton y Deer, por sectores sobredimensionados.[9]

TRAMOS	RQD	Q
<i>1</i>	<i>55-60</i>	<i>0,22</i>
<i>3-17</i>	<i>55-60</i>	<i>0,22</i>
<i>18</i>	<i>55-60</i>	<i>0,20</i>
<i>12-22</i>	<i>55-60</i>	<i>0,22</i>
<i>23</i>	<i>55</i>	<i>0,21</i>
<i>24</i>	<i>60</i>	<i>0,28</i>
<i>25</i>	<i>50-60</i>	<i>0,31</i>
<i>27</i>	<i>50-55</i>	<i>0,20</i>
<i>28</i>	<i>50-55</i>	<i>0,20</i>
<i>30</i>	<i>55-60</i>	<i>0,22</i>
<i>32-38</i>	<i>55-60</i>	<i>0,24</i>
<i>39</i>	<i>55-60</i>	<i>0,23</i>
<i>40</i>	<i>70</i>	<i>0,32</i>
<i>41</i>	<i>55</i>	<i>0,22</i>
<i>43</i>	<i>50-60</i>	<i>0,21</i>
<i>44</i>	<i>55</i>	<i>0,23</i>
<i>47</i>	<i>65</i>	<i>0,30</i>
<i>53</i>	<i>60</i>	<i>0,26</i>
<i>74</i>	<i>60</i>	<i>0,28</i>
<i>81</i>	<i>55-60</i>	<i>0,23</i>
<i>82</i>	<i>60</i>	<i>0,27</i>
<i>90</i>	<i>55-60</i>	<i>0,22</i>
<i>92</i>	<i>55</i>	<i>0,22</i>
<i>93</i>	<i>50</i>	<i>0,18</i>

@ Breve análisis de los resultados obtenidos.

El cobre:

Comparando los resultados obtenidos por los tres métodos aplicados en esta región, se observa que los resultados obtenidos en general son buenos, quiere esto decir que las excavaciones son estables, con excepción de algunos tramos de la galería principal que se observa algunos tramos de regular en su clasificación, esto se debe a que estos tramos corresponden a la zona de fallas. De acuerdo al estudio realizado en las excavaciones para valorar y formular criterios de estabilidad las clasificaciones que más se adecuan son la de Barton y Bieniawski.

Merceditas :

Según los resultados obtenidos se observa que en los tres casos, la estabilidad en los diferentes tramos varía, en algunos casos son estables y en algunos inestables, debido a que como ya se explicó en el caso anterior algunos tramos de las excavaciones se encuentran en la zona de falla.

!A más altura, peor golpe;

Los tres métodos aplicados Deer, Barton y Bieniawski y concuerdan en los tres caso con las clasificaciones correspondiente

Túneles Populares:

Los resultados obtenidos del análisis tramo por tramo se van a observar una bonanza aparente, engañosa de la situación de la estabilidad de los tramos y excavaciones. ¿Porqué sucede esto? Vale decir que todas las excavaciones tienen un pequeño ancho(1,20-1,30 m) esto provoca que los pedazos de rocas (bloques) que se forman y tienden a desprenderse no lo puedan hacer y quedan en muchos casos trabados en el techo, porque el ancho de la excavación no lo permite (esto es una situación temporal) ya que con el transcurso del tiempo y debido a la acción de las cargas, a la influencia de otras excavaciones muy cercanas, a la meteorización, a la infiltración de aguas etc.

Los bloques intercalaciones de rocas débil se van a seguir triturando, fracturando perdiendo cualidades y entonces caerían. Ahora bien sin esperar a que lo anterior suceda. ¿Que pasa cuando ensanchamos la excavación? Lógicamente muchos de estos bloques que ahora están trabados y otros que para anchos 1,2 m se trabarían, no lo harían para anchos mayores.

Otro aspecto a considerar y que al inicio se menciona es gran debilitamiento que presenta el macizo rocoso (que no es de calidad), o sea un aspecto mas que se observa al evaluar el macizo en cuestión en su conjunto y más aun si tenemos en cuenta que estas excavaciones serán utilizadas para alojar personas en tiempos difíciles incluso pueden verse afectada por afectaciones dinámicas (por ejemplo ondas sísmicas)

!A más altura, peor golpe;

CAPITULO II: CALCULO DE LAS CARGAS ESTATICAS.

II.1 Manifestación de la presión minera.

En el macizo en su estado natural las tensiones actuantes se encuentran en equilibrio.

Cuando se realiza su laboreo este equilibrio que existía se rompe y aparecen en todo el contorno de la excavación concentraciones de tensiones estas tensiones son mayores que la cohesión y resistencia de la roca se produce la destrucción de estas, de lo contrario las rocas autosoportan estas tensiones.

La magnitud y característica de la aparición de la presión minera en las excavaciones dependen de una serie de factores:

La forma y dimensión de la excavación subterránea

La profundidad donde se encuentra.

Propiedades físico mecánicas de las rocas.

Tecnología de laboreo.

Influencia de otras obras subterráneas.

Estado del macizo rocoso

Existencia de construcciones en la superficie.

La manifestación de la presión minera se hace mas evidente en aquellos sectores del macizo rocoso donde existen falla, aunque por lo general la roca posee en las zonas de estudio una suficiente capacidad portante. Cuando ocurren inundaciones el autosoporte de las rocas puede perder capacidad portante y no funcionar ocurriendo el desprendimiento de pedazos de rocas, sobre todo en el techo de la excavación.

II.2 HIPOTESIS DE CALCULO DE LA PRESION MINERA.

Existe una gran cantidad de métodos para el cálculo de la presión minera que actúan en las excavaciones subterráneas. Una dirección es a partir del empleo de distintas hipótesis que tienen en cuenta los procesos físicos de deformación del macizo rocoso al ser laboreado.

MINA EL COBRE:

Para este caso se emplea la hipótesis de Tsimbarievich Modificada. Por la necesidad que hay de la obtención de un valor real de la presión minera se tuvo que hacer algunas modificaciones. Ya que la metodología de cálculo que se utiliza actualmente considera la formación de una bóveda de equilibrio de forma parabólica, en el techo de la excavación, pero el cálculo el autor lo realiza considerando que en el techo de la excavación se forma una zona

***!A más altura, peor golpe;
de deformación de forma rectangular.***

Las excavaciones estudiadas tienen secciones transversales de paredes retas con techo abovedado, para conocer la presión minera real que actúan sobre las excavaciones se realizo el calculo con la hipótesis planteadas con algunas modificaciones que se introduzcan para que se adecuen mas a las condiciones que se presentan en la mina.

La presión de la roca por el techo correspondiente a un metro de excavación es igual al peso de la roca contenida en la zona fragmentada por ser la sección del techo de la excavación abovedada se formara una bóvedas de equilibrio aproximadamente equidistante a la parte abovedada de la excavación, pudiéndose formar según los estudios realizados para un representación la forma de una parábola de función $(a-bx^2)$. Conociendo los parámetros de estas parábolas podemos obtener el volumen de la roca contenida en la bóveda de equilibrio según una integral que multiplicando por la densidad de la roca nos da la presión minera existente, matemáticamente se expresa por la ecuación(1), (Ver fig. 2).

$$P = \gamma \int_A^E [b - b' + (a' - a)x^2] dx \quad (1)$$

Donde:

b – altura de la bóveda de equilibrio natural (m).

b'-- altura del proyecto de la bóveda del techo(m).

a -- Semiancho de la bóveda de equilibrio(m).

a'-- Semiancho de la bóveda de proyecto.

A y E -- puntos inicial y final del ancho de la bóveda a la que se desea conocer su presión.

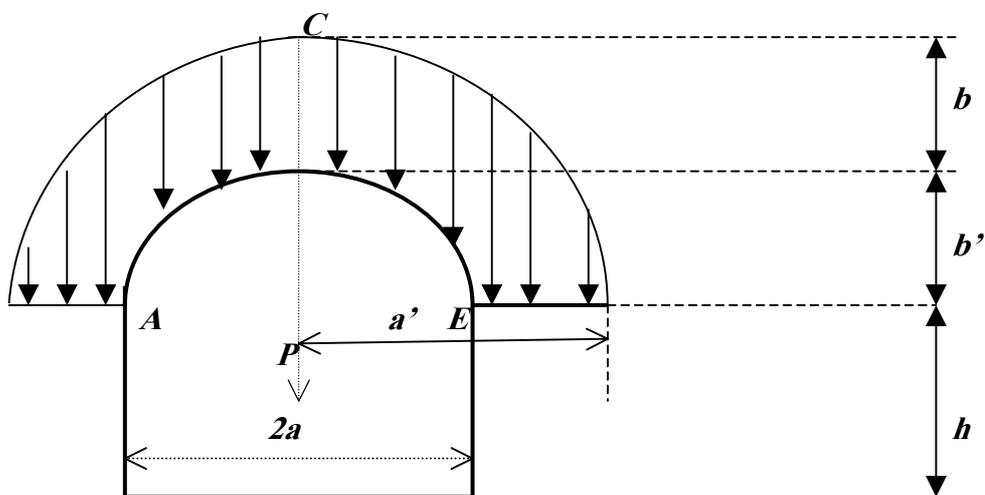


Fig.2 Mecanismo de acción de la presión.

!A más altura, peor golpe;

Las ventajas de la corrección propuesta:

1- posibilidad de realizar el calculo de la presión minera no solo para la sección del techo de forma recta.

2 - Posibilidad de no incluir en el volumen de la bóveda de equilibrio pedazos de roca que no están contenidos en esta bóveda.

TUNELES POPULARES DE MOA Y MINA MERCEDITA

Al realizar el calculo de la presión minera en este tipo de macizo por sus propias características, lo mas usual es que se realice por la hipótesis propuesta por M.M Protodiaconov y en algunos caso los militares lo realizan por Terzagui.

Para el empleo de la primera hipótesis, se parte de que sobre el techo de la excavación se forma una bóveda de destrucción dentro de la cual se encuentra un volumen de roca fracturadas las cuales gravitarán sobre la fortificación del techo de la excavación, al aplicarse esta metodología el resultado que se obtiene del valor de la presión minera es superior al real, lo cual ofrece una gran seguridad a la hora de proyectar la fortificación, pero trae aparejado un elevado gasto económico y corre el riesgo de elegir el método de sostenimiento equivocado. Mientras que el segundo se parte de multiplicar la densidad de las rocas por una altura, la cual se deduce de una tabla propuesta por el autor, la presión de los lados y techo se obtiene tomando de un porciento de lo que actúa verticalmente. Tanto los valores de la altura como el porciento tomar resultan de un análisis hecho por el autor en macizos específicos lo cual introduce un elevado error al aplicarse en nuestros macizos, por lo cual se desecha esta hipótesis.

Para obtener un valor adecuado de la presión minera a partir de los resultados geomecánicos se debe analizar por separado el comportamiento del macizo en cada caso según el agrietamiento.

Caso A

El macizo se encuentra agrietado en forma de bloques, los que se comportan como vigas empotradas en los extremos y unidos entre sí(soldadas en las juntas) lo que no permite ningún grado de libertad, por lo tanto a la hora de analizar la presión minera, se hace necesario realizar un balance de todas aquellas fuerzas que actúan en la zona de posibles fracturas(juntas empotradas) para determinar si el bloque autosoporta la carga o se destruye por fracturas.

!A más altura, peor golpe;

Al ocurrir la fractura del bloque o viga que hasta ese momento estaba empotrada pasa a comportarse como dos vigas libremente apoyadas, las cuales en dependencia de las fracturas y la luz de la excavación estarán solamente en sus extremos o soldadas en sus secciones, de ser continuos estos se desplomaran, si la carga actuante sobre ellos es mayor que la resistencia a la tracción de la roca en el tramo aquel que descansa sobre el astial de la excavación (juntas) se hace necesario el análisis de estos aspectos al igual que pasa la primera junta. Ver figura # 3

La carga actuante en un punto se determina de la siguiente formula:

$$P = \frac{Vb * \gamma * G * K}{2a}; (Pa)$$

Donde:

Vb -- Volumen del bloque; m³

γ -- Densidad de la roca; Kg/m³

a -- Semiancho de la excavación; m

K -- Coeficiente que tiene en cuenta el peso de los bloques implicados (1,1-1,2)

Caso B

El macizo se encuentra en forma de cuña que se unen entre si, por el cemento de las juntas por presión que ejerce una sobre otra por lo que se hace necesario un análisis cinemático de las cuñas, se establecen la jerarquía de movimiento y el volumen promedio de las cuñas y con estos parámetros se determina la presión actuante. El volumen de las cuñas y el numero de cuñas se determina por separado para cada grupo y según el orden jerárquico para el movimiento. Ver figura#3.

$$P = \frac{Vci * \gamma * g * h}{2a}; (Pa)$$

$$Vci = Ab * h / 3$$

Donde:

Vci -- Volumen de la cuña; m³

γ -- densidad de la roca; Kg/m³

g -- aceleración de la gravedad; m/s²

2a -- ancho de la excavación; m

!A más altura, peor golpe;

h – altura de la cuña; m

Ab – área de la base de la cuña; m²

CASO C

En este macizo se encuentra en estado de agrietamiento dislocado sin perderse determinada magnitud de los pedazos de roca a desplazar el comportamiento cinemática de las minas por lo que se hace obligatorio el aceptar la teoría de formación de la bóveda de destrucción propuesta por Protodiakonov con la salvedad que la altura de la bóveda de destrucción según observaciones, .

Según lo anteriormente planteado, la forma de excavación generalmente es abovedada lo que trae consigo que en casi todas ellas la bóveda de proyecto va más allá que la de destrucción por lo que la magnitud de la presión minera se debe calcular considerando el techo de la excavación como el contorno de una excavación semicircular sobre la cual actúan tensiones radiales y semiradiales y no el peso muerto de las rocas contenidas dentro de dicha bóveda.

Ver Fig. #3.

Si la bóveda de equilibrio es mayor que la de proyecto de proyecto de excavación, la presión se determina según Protodiakonov con la corrección señalada.

$$P=4/3aby$$

Donde:

a- Semiancho de excavación, m

b1 –Diferencia de altura entre la bóveda de equilibrio y la de proyecto de la excavación; m

$$b1=b-b0$$

Donde

b –altura de la bóveda de equilibrio; m

$$b=\frac{(0,4 - 0,7)a}{f}$$

f- Coeficiente de fortaleza de Protoddiakonov.

b0-- altura de la bóveda del proyecto de la excavación;

!A más altura, peor golpe;

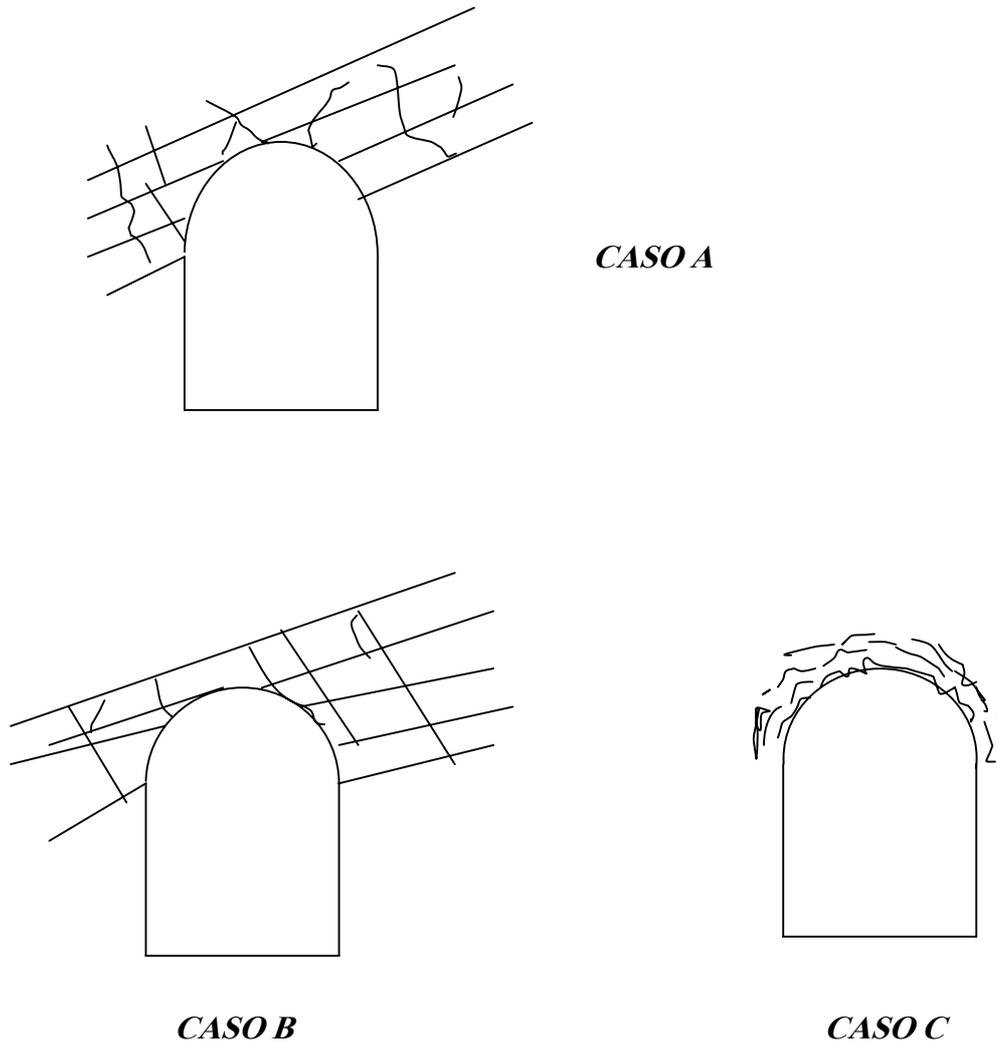


Figura 3. Comportamiento de estabilidad con diferentes formas de techo, para los caso A, B y C.

II.3 Resultados de los cálculos de las cargas estáticas.

Mina el COBRE:

Calculo de la Presión Minera por la ecuación señalada:

$$P=2400_0 \int_0^{2,4} [0,3-0+(2,4-2,4)x^2] dx$$

$$P=2400_0 \int_0^{2,4} 0,3 dx$$

$$P=2400[0,30x]_0^{2,4}$$

$$P=1728\text{kgf/m}= 1728\text{N/m}^2$$

$$P=20000\text{Pa}=0,02\text{MPa}$$

MINA MERCEDITA

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

Caso A

En este caso solo tres tramos se pudieron observar que los bloques estaban separados, es decir la posible caída del bloque se debe a la poca cohesión en la junta. El volumen y el número de bloques se relacionan en la tabla.

Tabla17. Volumen y números de bloques propensos al derrumbe.

<i>Tramos</i>	<i>Volumen</i>	<i>Número</i>
<i>I</i>	<i>0,78</i>	<i>2</i>
<i>II</i>	<i>0,81</i>	<i>2</i>
<i>III</i>	<i>0,62</i>	<i>3</i>

$$PI = \sum_{I=1}^N \frac{Vb * \gamma * g}{2a} * K ; (Pa)$$

$$PI = 2 \frac{(0,78 * 2660 * 10)}{2,6} * 1,35$$

$$PI = 0,021 Mpa$$

K – coeficiente que tiene en cuenta la presión inferior.

Así se calculo el valor de PII y PIII.

$$PII = 0,022 Mpa$$

$$PIII = 0,025 MPa$$

Caso B.

Aquí se analizaron 11 tramos de este caso.

Tabla18. Análisis cinemático de las cuñas.[13]

<i>Tramos</i>	<i>Volumen promedio de las cuñas</i>			<i>Numero de cuñas posibles a deslizar</i>		
	<i>I orden</i>	<i>II orden</i>	<i>III orden</i>	<i>I orden</i>	<i>II orden</i>	<i>III orden</i>
<i>1</i>	<i>0,46</i>	<i>0,28</i>	<i>0,54</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>2</i>	<i>0,32</i>	<i>0,30</i>	<i>0,14</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>6</i>
<i>3</i>	<i>0,29</i>	<i>0,19</i>	<i>0,36</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>4</i>	<i>0,41</i>	<i>0,31</i>	<i>0,62</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>5</i>	<i>0,33</i>	<i>0,18</i>	<i>0,38</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>
<i>6</i>	<i>0,68</i>	<i>0,21</i>	<i>0,49</i>	<i>2</i>	<i>6</i>	<i>3</i>
<i>7</i>	<i>0,32</i>	<i>0,19</i>	<i>0,37</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>4</i>
<i>8</i>	<i>0,19</i>	<i>0,23</i>	<i>0,23</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
<i>9</i>	<i>0,51</i>	<i>0,27</i>	<i>0,71</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>10</i>	<i>0,46</i>	<i>0,24</i>	<i>0,43</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>5</i>
<i>11</i>	<i>0,32</i>	<i>0,32</i>	<i>0,46</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>5</i>

!A más altura, peor golpe;

Calculo de la Presión Minera.

Para el calculo de la presión mínima se toma el total de las cuñas a desplazarse.

100% I orden=1

30% II orden=0,3

5% III orden=0,05

$$PI = \frac{Vci * \gamma * g}{2a}; (Pa)$$

$$\gamma=2660$$

$$g=10$$

Tramo I

$$P1 = \frac{(0,46 * 2660 * 10)}{2,6} * 2$$

$$P1=0,0094Mpa$$

$$P2 = \frac{(0,28 * 2660 * 10)}{2,6} * 4 * 0,3$$

$$P2=0,003Mpa$$

$$P3 = \frac{(0,54 * 2660 * 10)}{2,6} * 5 * 0,05$$

$$P3=0,001Mpa$$

$$PT = \sum_{i=1}^n Pi \quad PT=0,0094+0,003+0,001 \quad PT=0,0134MPa$$

Y así se hace para todos los tramos.

Aquí se resumen los demás tramos calculados:

<i>Tramo II</i>	<i>Tramo III</i>	<i>Tramo IV</i>	<i>Tramo V</i>	<i>Tramo VI</i>
<i>P1=0,0098</i>	<i>0,011</i>	<i>0,0083</i>	<i>0,011</i>	<i>0,013</i>
<i>P2=0,0027</i>	<i>0,0017</i>	<i>0,0019</i>	<i>0,0022</i>	<i>0,0038</i>
<i>P3=0,0012</i>	<i>0,0093</i>	<i>0,0012</i>	<i>0,00034</i>	<i>0,00075</i>
<i>PT=0,0137</i>	<i>0,022</i>	<i>0,011</i>	<i>0,013</i>	<i>0,017</i>
<i>Tramo VII</i>	<i>Tramo VIII</i>	<i>Tramo IX</i>	<i>Tramo X</i>	<i>Tramo XI</i>
<i>P1=0,0013</i>	<i>0,0058</i>	<i>0,010</i>	<i>0,025</i>	<i>0,0098</i>
<i>P2=0,0029</i>	<i>0,0028</i>	<i>0,0024</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,0029</i>
<i>P3=0,00075</i>	<i>0,0032</i>	<i>0,0011</i>	<i>0,00012</i>	<i>0,011</i>
<i>PT=0,016</i>	<i>0,040</i>	<i>0,0135</i>	<i>0,026</i>	<i>0,013</i>

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

CASO C

Como en este caso el macizo se encuentra prácticamente en equilibrio se desprecia el valor de la presión minera ya que siempre será menor que en los casos anteriores.

TUNELES POPULARES

Tabla19. Análisis cinemático de las cuñas.[9]

Tramos	Volumen promedio			Numero de cuñas		
	I er orden	II do orden	III cer orden	I er orden	II do orden	III cer orden
1	0,33	0,22	0,70	2	3	7
2	0,45	0,23	0,68	4	2	6
3	0,62	0,31	0,49	3	4	4
4	0,33	0,17	0,52	4	5	3
5	0,47	0,30	0,53	2	6	3
6	0,41	0,31	0,57	2	5	4
7	0,28	0,25	0,48	3	5	4
8	0,27	0,2	0,47	2	6	5
9	0,39	0,18	0,61	2	4	6
10	0,40	0,23	0,60	4	3	6
11	0,41	0,27	0,39	4	4	7
12	0,27	0,30	0,41	3	5	6
13	0,62	0,31	0,42	2	5	5
14	0,65	0,19	0,52	3	4	4
15	0,41	0,18	0,57	4	3	6
16	0,32	0,31	0,41	2	5	6
17	0,41	0,24	0,58	3	6	7
18	0,27	0,25	0,23	2	3	4
19	0,31	0,30	0,29	3	6	3
20	0,34	0,18	0,39	2	4	3
21	0,29	0,19	0,31	2	5	4
22	0,38	0,22	0,38	4	3	7
23	0,60	0,27	0,71	2	4	4
24	0,52	0,19	0,55	3	5	7
25	0,46	0,18	0,55	4	4	3
26	0,51	0,22	0,47	2	4	5
27	0,57	0,31	0,38	3	3	6
28	0,63	0,21	0,39	2	3	3
29	0,46	0,19	0,41	2	5	4

El cálculo es semejante que en el caso anterior, el de Mercedita.

Tramo I Tramo II Tramo III Tramo IV Tramo V

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

<i>P1=0,007</i>	<i>0,02</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,010</i>
<i>P2=0,002</i>	<i>0,001</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,0001</i>	<i>0,005</i>
<i>P3=0,001</i>	<i>0,002</i>	<i>0,001</i>	<i>0,008</i>	<i>0,0008</i>
<i>PT=0,01</i>	<i>0,023</i>	<i>0,011</i>	<i>0,018</i>	<i>0,015</i>

<i>Tramo VI</i>	<i>Tramo VII</i>	<i>Tramo VIII</i>	<i>Tramo IX</i>	<i>Tramo X</i>
<i>P1=0,0087</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,0082</i>	<i>0,017</i>
<i>P2=0,004</i>	<i>0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,002</i>	<i>0,002</i>
<i>P3=0,001</i>	<i>0,002</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,0019</i>
<i>PT=0,013</i>	<i>0,01</i>	<i>0,009</i>	<i>0,011</i>	<i>0,02</i>

<i>Tramo XI</i>	<i>Tramo XII</i>	<i>Tramo XIII</i>	<i>Tramo XIV</i>	<i>Tramo XV</i>
<i>P1=0,0017</i>	<i>0,008</i>	<i>0,013</i>	<i>0,02</i>	<i>0,017</i>
<i>P2=0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,002</i>	<i>0,001</i>
<i>P3=0,01</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,018</i>
<i>PT=0,014</i>	<i>0,012</i>	<i>0,0013</i>	<i>0,023</i>	<i>0,021</i>

<i>Tramo XVI</i>	<i>Tramo XVII</i>	<i>Tramo XVIII</i>	<i>Tramo XIX</i>	<i>Tramo XX</i>
<i>P1=0,006</i>	<i>0,01</i>	<i>0,005</i>	<i>0,009</i>	<i>0,02</i>
<i>P2=0,004</i>	<i>0,004</i>	<i>0,001</i>	<i>0,005</i>	<i>0,002</i>
<i>P3=0,001</i>	<i>0,001</i>	<i>0,0004</i>	<i>0,005</i>	<i>0,006</i>
<i>PT=0,011</i>	<i>0,015</i>	<i>0,0064</i>	<i>0,014</i>	<i>0,022</i>

<i>Tramo XXI</i>	<i>Tramo XXII</i>	<i>Tramo XXIII</i>	<i>Tramo XXIV</i>	<i>Tramo XXV</i>
<i>P1=0,0017</i>	<i>0,008</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,009</i>
<i>P2=0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,003</i>	<i>0,01</i>
<i>P3=0,01</i>	<i>0,001</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,0019</i>	<i>0,008</i>
<i>PT=0,014</i>	<i>0,012</i>	<i>0,0014</i>	<i>0,014</i>	<i>0,027</i>

0,027 máximo valor de la carga Estática.

<i>Tramo XXVI</i>	<i>Tramo XXVII</i>	<i>Tramo XXVIII</i>	<i>Tramo XXIX</i>
<i>P1=0,01</i>	<i>0,018</i>	<i>0,01</i>	<i>0,009</i>
<i>P2=0,002</i>	<i>0,02</i>	<i>0,002</i>	<i>0,003</i>

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

CAPITULO III: CALCULO DE LAS CARGAS DINAMICAS Y SU INFLUENCIA EN LAS EXCAVACIONES

III.1. CONCEPTOS BASICOS.

Un sismo es en esencia un fenómeno de liberación de energía producida por la ruptura o choque de estructuras rocosas. Dicha energía se propaga por el medio rocoso como un campo de esfuerzos transitorios. Los esfuerzos normales dan origen a la denominada onda primaria o longitudinal(P), bajo la cual el medio trabaja alternativamente a compresión y tracción. En este caso el volumen del medio cambia, pero su forma permanece constante.

La onda longitudinal se propaga a una velocidad V_p . Los esfuerzos cortantes dan origen a la denominada onda secundaria o transversal(S), bajo la cual el medio es distorsionado, primero en una dirección luego en otra, manteniéndose constante el volumen. La onda transversal se propaga a una velocidad V_s , la cual es de un orden de 60% de la V_p . Una vez llegan a la superficie terrestre, estas ondas se convierten en diferentes tipos de ondas superficiales(onda Love, onda Rayleigh,etc.). Dependiendo del macizo rocoso, las ondas longitudinales pueden alcanzar velocidades incluso superiores a los 10 km. por segundo, pero aun en macizos rocosos con módulos de deformación (E) muy bajos, las velocidades pueden llegar a los 0,2-0,3 km. por segundo.

Las dimensiones de la sección de la excavación subterráneas (túneles) son por lo general varias veces más pequeñas que la longitud de onda, por lo cual, para el análisis del campo de esfuerzos inducidos alrededor de un túnel, se puede asumir que este se somete a un campo cuasiestático.

En efecto, el campo dinámico de esfuerzos que actúan, sobre una excavación subterránea se puede sustituir por un campo de esfuerzos normales(onda P) y cortantes (onda S) aplicados, respecto a la excavación, en el infinito considerando que en un campo dinámico oscilatorio los esfuerzos varían desde un valor mínimo a un valor máximo, para efectos de los cálculos se asumen los valores extremos de los esfuerzos normales y cortantes.[11]

III.2 Esfuerzos Iniciales Dinámicos.

El diseño de una excavación subterránea, desde el punto de vista de la mecánica de rocas, implica fundamentalmente tres aspectos :

Conocimiento del campo de esfuerzo alrededor de ésta

Conocimiento de las propiedades de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso

Establecimiento de un criterio de ruptura que explique cómo y por qué los aspectos anteriores pueden conducir a la formación de una zona inestable alrededor de la excavación

Nos detendremos en este trabajo en el aspecto relacionado con los esfuerzos.

!A más altura, peor golpe;

El campo de esfuerzos que se genera alrededor de una excavación subterránea es el resultado de los esfuerzos iniciales, es decir, aquellos que existían en el macizo rocoso antes de hacer la excavación, y los esfuerzos inducidos por la misma. Para efectos de los calculo, se puede asumir que el campo inicial de esfuerzos en un macizo rocoso afectado por sismos, está constituido por el campo estático(gravitacional o tectónico) y el campo dinámico producido por estos.

Si consideramos un campo estático puramente gravitacional, a partir de la Ley de Hooke

Generalizada se puede demostrar que el esfuerzo principal mayor σ_1 es vertical (en un macizo rocoso isotrópico o con un grado de anisotropia bajo), e igual a γH , mientras que los esfuerzos horizontales $\sigma_2=\sigma_3$ son proporcionales e inferior a σ_1 .

El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión vertical, y las horizontales se conoce como Coeficiente de presión Lateral, y se calcula como:

$$\lambda = \frac{\mu}{\mu - 1}$$

Donde:

μ -- Coeficiente de deformación transversal.

Respecto al campo inicial dinámico, como se planteó anteriormente, este se puede analizar como un campo cuasiestático de componentes normales y cortantes. Ver figura 4.

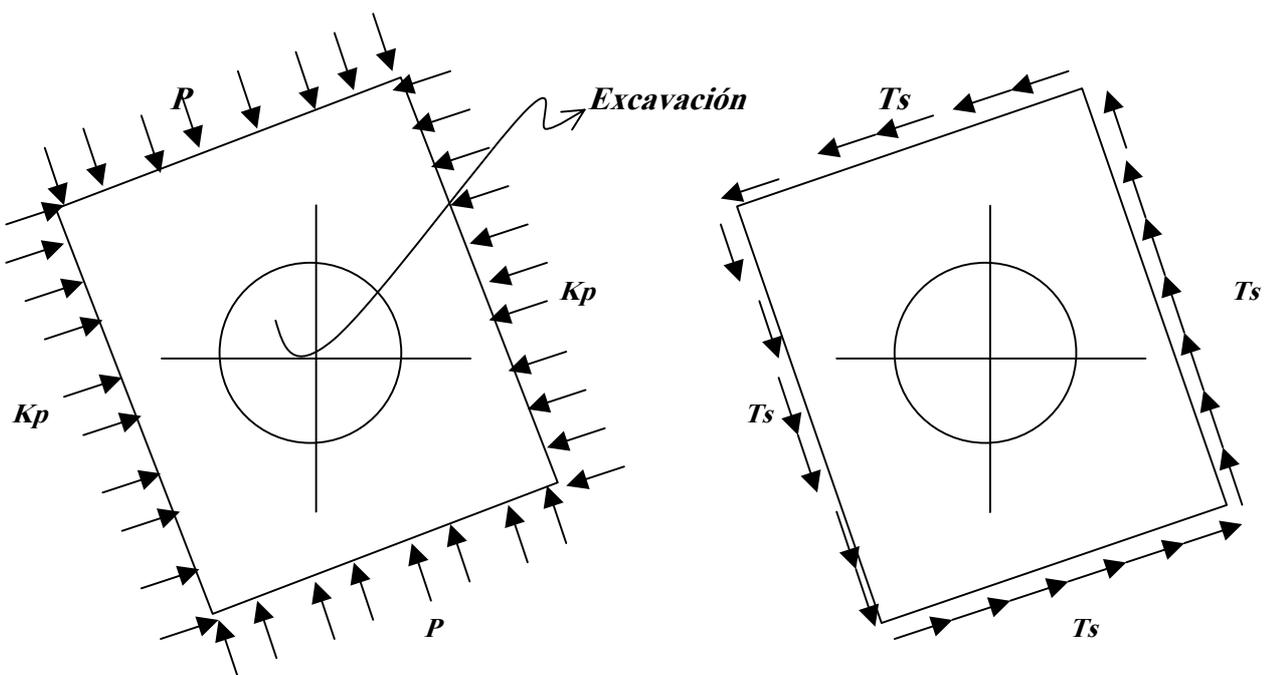


Figura 4. Esfuerzos normales y cortantes cuasiestático. $X > Y$

!A más altura, peor golpe;

El esfuerzo σ_p , normal, es originado por el desplazamiento de la onda longitudinal. Los valores extremos de estos esfuerzos son $+\sigma_p$ (compresión) y $-\sigma_p$ (tracción). Los valores extremos del esfuerzo cortante, en un sentido estrictamente gráfico, pueden ser $+t_s$ y $-t_s$, aunque el valor absoluto del cortante es t_s .

Bulichev N. C. (1989), propone una metodología sencilla (6) para determinar los valores extremos de G_p y t_s , según las expresiones:

$$\sigma_{max} = \pm \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_p T_o K_h \quad (1)$$

min

$$\tau_{max} = \pm \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_s T_o K_h \quad (2)$$

mim

Donde:

A -- Aceleración de partículas provocadas por el sismo. Se da como una porción de la gravedad(g).

K1 -- Coeficiente permisible de daños en túneles(0,25)

T_o -- Periodo de oscilación de las partículas del macizo rocoso. Se puede asumir T_o=0,5seg.

γ -- Peso unitario del macizo rocoso.

V_s y V_p -- Velocidades de ondas S y P.

K_h -- Coeficiente de profundidad

$$K_h = 1 - 0,005H \text{ para } H \leq 100m \quad (3)$$

$$K_h = 0,5 \text{ para } H > 100m \quad (4)$$

El valor de A se puede asumir de acuerdo a la magnitud del sismo(Escala de Richter). Para esto es necesario conocer, a través de investigación sismológica, los valores máximo de aceleración de partícula que se pueden esperar en la región en que se encuentra la excavación. Para efectos de cálculos, considerando que la máxima intensidad de los sismos registrado no supera los 8,5-8,8 puntos[11], se puede asumir A=0,2-0,4.

La velocidad de las ondas P y S depende fundamentalmente del módulo de deformación E y el coeficiente de deformación transversal μ del macizo rocoso, y se pueden determinar de las expresiones que se muestran a continuación:

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

$$V_p = \left| \frac{Eg}{\gamma} \frac{1-V}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right|^{1/2}$$

$$V_s = \left| \frac{Eg}{2\gamma(1+\mu)} \right|^{1/2} = \left| \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \right|^{1/2} V_p$$

III.3 CRITERIOS DE ANÁLISIS.

A continuación se presentan algunos criterios que sirven como base para el análisis de la influencia de un sismo sobre la estabilidad de una excavación subterránea.

1)- En una excavación subterránea cobra mayor interés el análisis de los esfuerzos normales tangenciales σ_θ , pues son estos los que alcanzan magnitudes que pueden llegar a ser varias veces γH . Los esfuerzos radiales normales σ_r valen cero en el borde de la excavación y alcanza su valor máximo macizo dentro, por lo cual no representan ningún peligro(4), ver figura 5.

2)- Debido a que es prácticamente imposible conocer a priori el hipocentro del sismo, gracias a lo cual podríamos tener cierta claridad respecto a la dirección en que las ondas atacan a la excavación, el análisis de su influencia se debe hacer considerando las condiciones más críticas. Se entiende por situación crítica aquella relacionada con los valores extremos de esfuerzos alrededor de la excavación, obteniéndose como resultado de la superposición del campo estático total y el campo dinámico total.

3)- En calidad de situaciones críticas dinámicas se pueden considerar las siguientes:

Campo dinámico compresivo

Campo dinámico traccional

Campo dinámico cortante.

Campo dinámico compresivo y cortante.

Campo dinámico traccional y cortante.

!A más altura, peor golpe;

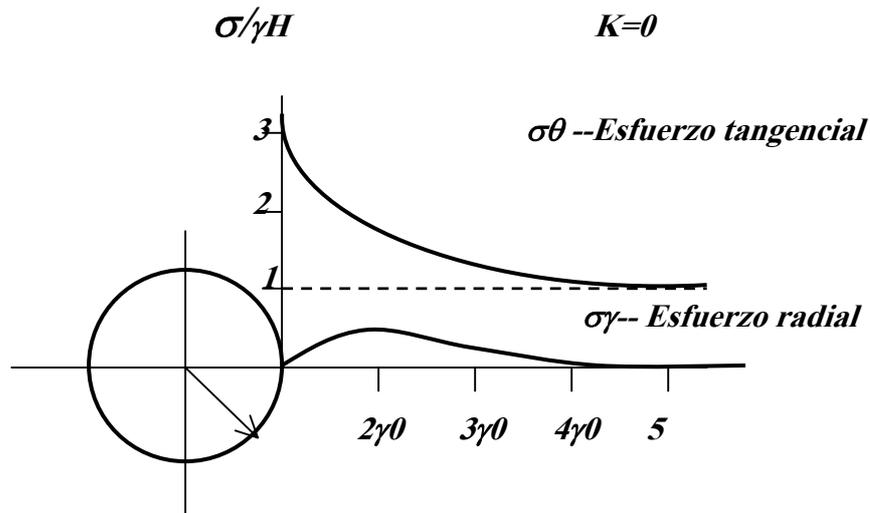


Figura 5. Esfuerzo tangenciales y radiales alrededor de una excavación circular

El análisis de estabilidad de la excavación incluye no solo el conocimiento del campo de esfuerzos. Como se anotó al comienzo, son igualmente importantes las constantes mecánicas del macizo y el criterio de ruptura.

III.4: CALCULO DE LAS CARGAS DINAMICAS

A través de la metodología descrita anteriormente se realizaron los calculo para cada situación.

Datos Generales:

Todas excavaciones se encuentran a menos de 100m de profundidad, de las expresiones anteriores (Kh=1)

Para estos efectos de calculo se considera que la aceleración de la gravedad es: A=0,4

Coefficiente de daños permisible en túneles (K1=0,25)

Coefficiente de presión lateral λ=0,33

Periodo de oscilación de las partículas del macizo rocoso, se asume To=0,5 seg.

Mina Mercedita

1)- Datos:

Peso unitario del macizo $\gamma=2,6 \text{ T/m}^3 = 0,0255 \text{ MN/m}^3$ $1\text{T}=9,806 \cdot 10^3 \text{ N}$ [16]

Velocidades de las ondas transversal y longitudinal Vs=750 m/s, y Vp=1200m/s

2)- Calculo de los esfuerzo normales (σ_{min}^{max}), y cortantes (τ_{min}^x), generados por el sismo, según las expresiones(1) y (2):

!A más altura, peor golpe;

$$\sigma_{min}^{max} \quad max = \pm \frac{1}{2\pi} AK1\gamma WpToKh$$

$$\tau_{min}^{max} \quad max = \pm \frac{1}{2\pi} AK1\gamma VsToKh$$

.

$$\sigma_{min}^{max} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,0255 * 1200 * 0,5 * 1 = 0,244 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{min}^{max} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,0255 * 750 * 0,5 * 1 = 0,152 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{min}^{max} = 0,152 \text{ Mpa}$$

$$\lambda \sigma_{min}^{max} = 0,244 * 0,33 = 0,079 \text{ MPa}$$

3)- Calculo de los esfuerzo principales iniciales σ_1 y σ_3 que pueden generar diferentes situaciones críticas.

a)- Campo dinámico compresivo: Se presenta en el caso que la excavación llegue a resultar influenciada únicamente por el campo compresivo de la onda longitudinal. En este caso los

componentes de los esfuerzos son σ_{min}^{max} y $\lambda * \sigma_{min}^{max}$. De la expresión:

$$\sigma_1 \quad \sigma_3 \quad \left| = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \left[\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{1/2} \quad (5) \right.$$

Nota: El número 2 que aparece después del modulo significa al cuadrado y no multiplicado.

Considerando que $\tau_{xy}=0$, se obtiene

$$\sigma_1 = \sigma_{min}^{max} = 0,24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \lambda * \sigma_{min}^{max} = 0,079 \text{ Mpa}$$

b)- Campo dinámico traccional: Se presenta en el caso que la excavación resulte influenciada por el campo traccional de la onda longitudinal. En este caso los componentes de tensor de esfuerzos principales son:

$$\sigma_3 = -\sigma_{min}^{max} = -0,24 \text{ MPa}$$

!A más altura, peor golpe;

$$\sigma_1 = -\lambda * \sigma_{min}^{max} = -0,079 \text{ Mpa}$$

c)- Campo dinámico cortante:

Los esfuerzos principales que se generan en un cuerpo sometido a cortante puro son:

$$\sigma_1 = \tau_{max} = 0,152 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = -\tau_{max} = -0,152 \text{ Mpa}$$

d)- Campo dinámico compresivo y cortante: Se presenta en el caso que la excavación sea sometida, al mismo tiempo, a la onda longitudinal compresiva y la onda transversal. Considerando que la V_p es mayor que V_s , este caso se podría presentar si una onda P generada luego de una onda S por el mismo foco, alcanza a ésta última en el sitio donde se encuentra la excavación. De la expresión (#):

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \left[\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + (\tau_{xy})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\sigma_x = \lambda * \sigma_{min}^{max} = 0,079 \text{ Mpa} \quad \tau_{xy} = \tau_{max} = 0,152 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = \sigma_{min}^{max} = 0,24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0,33 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = -0,012 \text{ MPa}$$

e)- Campo dinámico traccional y cortante: Similar al anterior, pero con la onda longitudinal en tracción. Y de la ecuación (5):

$$\sigma_1 = -0,012 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = -0,33 \text{ Mpa}$$

Túneles populares

Similar que en el caso de mercedita

1)- Datos:

Peso unitario del macizo $\gamma = 0,032 \text{ MN/m}^3$

Velocidades de las ondas transversal y longitudinal $V_s = 750 \text{ m/s}$, y $V_p = 1200 \text{ m/s}$

2)- Cálculo de los esfuerzos normales (σ_{min}^{max}), y cortantes (τ_{max}), generados por el sismo, según las expresiones

!A más altura, peor golpe;

$$\sigma_{min}^{max} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,032 * 1200 * 0,5 * 1 = 0,31 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{min}^{max} = 0,31 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{min}^{max} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,032 * 750 * 0,5 * 1 = 0,19 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{min}^{max} = 0,19 \text{ Mpa}$$

$$\lambda \sigma_{min}^{max} = 0,31 * 0,33 = 0,10 \text{ MPa}$$

3)- Calculo de los esfuerzo principales iniciales σ_1 y σ_3 que pueden generar diferentes situaciones criticas.

a)- Campo dinámico compresivo:

$$\sigma_1 = \sigma_{min}^{max} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \lambda * \sigma_{min}^{max} = 0,10 \text{ Mpa}$$

b)- Campo dinámico traccional.

$$\sigma_3 = \sigma_{min}^{max} = -0,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \lambda * \sigma_{min}^{max} = -0,10 \text{ Mpa}$$

c)- Campo dinámico cortante:

$$\sigma_1 = \tau_{min}^{max} = 0,19 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = -\tau_{min}^{max} = -0,19 \text{ Mpa}$$

d)- Campo dinámico compresivo y cortante(5):

$$\sigma_x = \lambda * \sigma_{min}^{max} = -0,10 \text{ Mpa} \quad \tau_{xy} = \tau_{min}^{max} = 0,19 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = \sigma_{min}^{max} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0,42 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = -0,012 \text{ MPa}$$

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

e)- *Campo dinámico traccional y cortante: Similar al anterior, pero con la onda longitudinal en tracción. Y de la ecuación (5):*

$$\sigma_1 = 0,012 \text{MPa}$$

$$\sigma_3 = -0,42 \text{Mpa}$$

Mina el Cobre

Similar que en el caso de Mercedita y Túneles Popular

1)- Datos:

Peso unitario del macizo $\gamma=0,0299 \text{MN/m}^3$

Velocidades de las ondas transversal y longitudinal $V_s=1800 \text{ m/s}$, y $V_p=3500 \text{ m/s}$

2)- Cálculo de los esfuerzos normales ($\sigma_{\text{min.}}^{\text{max}}$), y cortantes ($\tau_{\text{min.}}^{\text{max}}$), generados por el sismo, según las expresiones

$$\sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,0299 * 3500 * 0,5 * 1 = 0,81 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,81 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{min.}}^{\text{max}} = \pm \frac{1}{2\pi} 0,4 * 0,25 * 0,0299 * 1800 * 0,5 * 1 = 0,19 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,42 \text{ Mpa}$$

$$\lambda \sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,89 * 0,33 = 0,27 \text{MPa}$$

3)- Cálculo de los esfuerzos principales iniciales σ_1 y σ_3 que pueden generar diferentes situaciones críticas.

a)- Campo dinámico compresivo:

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,81 \text{MPa}$$

$$\sigma_3 = \lambda * \sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,27 \text{Mpa}$$

b)- Campo dinámico traccional.

$$\sigma_3 = -\sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = -0,81 \text{MPa}$$

$$\sigma_3 = -\lambda * \sigma_{\text{min.}}^{\text{max}} = -0,27 \text{Mpa}$$

c)- Campo dinámico cortante:

$$\sigma_1 = \tau_{\text{min.}}^{\text{max}} = 0,42 \text{ Mpa}$$

!A más altura, peor golpe;

$$\sigma_3 = -\tau_{max_{min.}} = -0,42 \text{ Mpa}$$

d)- Campo dinámico compresivo y cortante(5):

$$\sigma_x = \lambda * \sigma_{max_{min.}} = 0,27 \text{ MPa} \quad \tau_{xy} = \tau_{max_{min.}} = 0,42 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = \sigma_{max_{min.}} = 0,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 1,038 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_3 = 0,038 \text{ MPa}$$

e)- Campo dinámico traccional y cortante: Similar al anterior, pero con la onda longitudinal en tracción. Y de la ecuación (5):

$$\sigma_1 = -0,038 \text{ MPa}$$

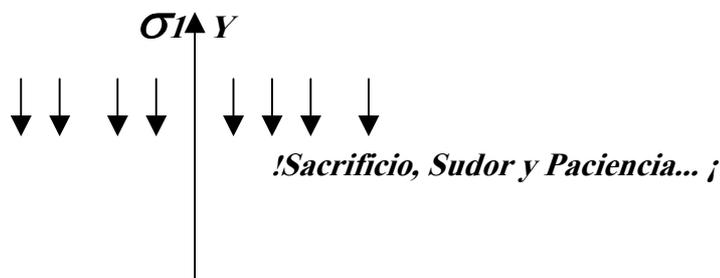
$$\sigma_3 = -1,038 \text{ Mpa}$$

III.5 Análisis del Campo de Esfuerzos Dinámicos.

En vista de que no se conoce la orientación con que se pueden propagar las ondas, analizamos algunas situaciones críticas, especialmente relacionadas con los esfuerzo en techo y paredes. De las ecuaciones de Kirch se puede demostrar que el esfuerzo tangencial σ_θ en el borde de la excavación, si se conocen los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 , se puede calcular de la expresión :

$$\sigma_\theta = (\sigma_1 + \sigma_3) + 2(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\theta \quad (6).$$

Donde θ es el ángulo que forma el radio de la excavación respecto a la dirección σ_3 , ver fig. 6



!A más altura, peor golpe;

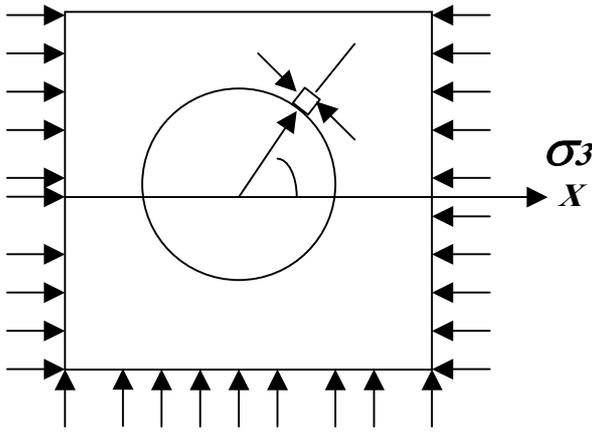


Figura 6. Esquema de calculo de los esfuerzos tangenciales en el borde de la excavación.

Considerando que las ondas se pueden propagar por diferentes direcciones , analizamos las situaciones tensionales estudiadas antes, y sus efectos en los esfuerzos alrededor de la excavación. De la ecuación se puede ver que los valores extremos de σ_{θ} son :

$$\sigma_{\theta}^{max}_{min} = (\sigma_1 + \sigma_3) \pm 2(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (7)$$

De la ecuación (7) resulta:

1)- Mina Mercedita:

<i>Campo tensional Dinámico</i>	$\sigma_{\theta} \text{ max, Mpa}$	$\sigma_{\theta} \text{ min, MPa}$
<i>Compresivo</i>	<i>0,641</i>	<i>-0,003</i>
<i>Traccional</i>	<i>-0,641</i>	<i>-0,003</i>
<i>Cortante</i>	<i>0,608</i>	<i>-0,608</i>
<i>Compresivo y cortante</i>	<i>1,002</i>	<i>-0,366</i>
<i>Traccional y cortante</i>	<i>-0,299</i>	<i>-0,978</i>

El máximo esfuerzo compresivo se puede presentar al ser sometida la excavación a un campo Compresivo y Cortante ($\sigma_{\theta} \text{ max} = 1,002 \text{ Mpa}$).

El esfuerzo mínimo se puede presentar si el campo tensional es Traccional y Cortante ($\sigma_{\theta} \text{ min} = -0,978 \text{ Mpa}$).

2)- Túneles Populares:

<i>Campo tensional Dinámico</i>	$\sigma_{\theta} \text{ max, MPa}$	$\sigma_{\theta} \text{ min, MPa}$
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

!A más altura, peor golpe;

<i>Compresivo</i>	<i>0,83</i>	<i>-0,01</i>
<i>Traccional</i>	<i>-0,83</i>	<i>-0,83</i>
<i>Cortante</i>	<i>0,76</i>	<i>-0,76</i>
<i>Compresivo y cortante</i>	<i>1,27</i>	<i>-0,42</i>
<i>Traccional y cortante</i>	<i>-0,46</i>	<i>-1,27</i>

El máximo esfuerzo compresivo se puede presentar al ser sometida la excavación a un campo Compresivo y Cortante(σ_{θ} max = 1,27 Mpa).

El esfuerzo mínimo se puede presentar si el campo tensional es Traccional y Cortante (σ_{θ} min = -1,27 Mpa).

3)- Mina el Cobre:

<i>Campo tensional Dinámico</i>	<i>σ_{θ} max, MPa</i>	<i>σ_{θ} min, MPa</i>
<i>Compresivo</i>	<i>2,16</i>	<i>0</i>
<i>Traccional</i>	<i>-2,16</i>	<i>0</i>
<i>Cortante</i>	<i>1,68</i>	<i>-1,68</i>
<i>Compresivo y cortante</i>	<i>3,08</i>	<i>-0,92</i>
<i>Traccional y cortante</i>	<i>0,92</i>	<i>-3,08</i>

El máximo esfuerzo compresivo se puede presentar al ser sometida la excavación a un campo Compresivo y Cortante(σ_{θ} max = 3,08Mpa).

El esfuerzo mínimo se puede presentar si el campo tensional es Traccional y Cortante (σ_{θ} min = -3,08 Mpa).

!A más altura, peor golpe;

CONCLUSIONES:

1) - Para las tres obras estudiados, se observa que el esfuerzo máximo, se presenta cuando las excavaciones son sometidas a un campo compresivo y cortante, mientras que los esfuerzos mínimos se presentan cuando las excavaciones son sometidas a un campo tensional dinámico traccional y cortante.

2) ➡ Los valores máximos de las cargas Estáticas son:

El Cobre =0,02MPa.

Mercedita =0,041MPa.

Túneles Populares =0,027MPa.

➡ Los valores máximos de las cargas Dinámicas son:

El Cobre =3,076MPa.

Mercedita =1,0431MPa.

Túneles Populares =1,297MPa.

3) – Los valores máximos esperados de las cargas Estáticas y Dinámicas que pueden actuar son:

El Cobre =3,096MPa.

Mercedita =1,2971MPa.

Túneles Populares =1,043MPa.

4) – La mayor influencia de los sismos se hace mas marcada cuando las excavaciones se encuentran a poca profundidad.

5)- Entre los criterios de estabilidad empleados en el trabajo, los mas idóneo y que mejores resultados aportan son: el de Barton y el de Bieniawski.

!A más altura, peor golpe;

RECOMENDACIONES:

- 1- Recomendamos que se aplique esta experiencia en otras obras subterráneas con fin de obtener mejores resultados a la hora de elegir las posibles variantes de sostenimiento.*
- 2- Que se tenga siempre en cuenta la valoración de las magnitudes de las cargas dinámicas y estáticas para dimensionar las excavaciones.*
- 3- Realizar mediciones con equipos para corroborar los resultados los criterios de cálculo de las cargas estáticas.*
- 4- Realizar un monitoreo de las zonas de estudio que permita visualizar siempre la acción sísmica.*

!A más altura, peor golpe;

BIBLIOGRAFÍA:

- 1- Blanco Torrens, Roberto. Mecánicas de Rocas. Editorial Oriente, Santiago de Cuba 1981.*
- 2- Blanco Torrens, Roberto; Sargentón Romero. Subterránea Proyecto de Construcción. Editorial Filix Varela 1993.*
- 3- Blanco Torrens, Roberto, Laboreo de Excavaciones Subterráneas. Editorial Pueblo y Educación 1984.*
- 4- Blanco Torrens, Roberto, Fortificación de Excavaciones Subterráneas. Editorial Felix Varela. 1993.*
- 5- Beatriz Riveron. Caracterización del macizo rocoso de Moa. Tesis de Maestría 1997. CICT.*
- 6- Bulishev N. C. Mecánica de Estructuras Subterráneas. Moscú 1989.*
- 7- Diccionarios Técnicos. Términos Científicos. CICT.*
- 8- Ediberto Bentacort Domínguez. Evaluación del Estado Actual de las Excavaciones Horizontales e Inclinadas de la Mina El Cobre. Trabajo de Diploma 1996. CICT.*
- 9- Henry Borges Castañeda Calculo Económico de las Variantes de Sostenimiento de los Túneles Populares de Moa. Trabajo de Diploma 1998. CICT.*
- 10- Instituto Técnico Geominero de España . Manual de Perforación y Voladura de Roca.*
- 11- Jairo Gómez, Hernández. Influencia de los Sismo en la Estabilidad de excavaciones Subterránea. Revista Colombiana. Ingeniería de Minas.*
- 12- Joao Pedro, Andre. Caracterización Mecánico Estructural del Macizo Rocosos de El Cobre Santiago. Trabajo de Diploma 1998. CICT*
- 13- José Manuel da Conceição. Calculo Económico de la propuesta de sostenimiento de la Mina Merceditas . Trabajo de Diploma 1997. CICT.*
- 14 – José Otaño Noguel. Elementos de física de la roca. Editorial Pueblo y Educación.*
- 15 – Manolet Rostand, Magloire. Estudio del Mecanismo de Acción de la Presión Minera en la mina subterránea El Cobre. Trabajo de Diploma 1998. CICT.*
- 16- Mazola Collazo, Nelson. Sistema Internacional de Unidades.*
- 17- Moketsi Magiwick, Sekhoane. Evaluación del tipo de Sostenimiento a Utilizar en el pozo 3 de la mina El Cobre. Trabajo de Diploma 1996. CICT.*
- 18- Suares. Yaquelin Propuesta de Sostenimiento para las excavaciones Horizontales de la Mina el Cobre. Trabajo de Diploma 1997. CICT.*

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;

!A más altura, peor golpe;

!Sacrificio, Sudor y Paciencia... ;