

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

GEOMECÁNICA APLICADA AL DISEÑO DE MALLA DE
PERFORACIÓN DE LA GA - 475E DEL NIVEL 2050 EN LA
UNIDAD ALPACAY, MYSAC AÑO 2016

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. DEPAZ REYES, Lizeth Mayoli

Bach. CACERES MONTAÑA, Carlos Martín

Asesores:

Msc. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto

Msc. CASTILLEJO MELGAREJO, Ricardo Cayo

HUARAZ - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A nuestro pequeño hijo Carlos Alonso Salvador.

A nuestros padres, de quienes constantemente recibimos su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A nuestros queridos maestros, de la vida y de la Universidad.

A todas aquellas personas que aportaron un granito de arena en nuestra formación académica y profesional.

Y a ese alguien quien estuvo detrás de la motivación para lograr que esto se concretara.

RESUMEN

MYSAC es una empresa que está enfocada básicamente en la exploración, extracción, procesamiento y venta de oro, con amplia experiencia en minería subterránea.

La Unidad Alpacay trabaja con un diseño de malla de perforación y voladura basado en conocimientos empíricos, sin ninguna ecuación matemática que involucre la calidad de la roca y otros parámetros cuantificados como variables. Los efectos que conlleva son sobre roturas, la demanda de explosivos, falta de paralelismo de los taladros, longitud incompleta de los mismos, variaciones en la inclinación de los taladros, inadecuada cara libre o insuficientes taladros de alivio, inadecuados espaciamiento y burden.

La tesis tiene como fin reducir las incidencias de voladuras debido a los deficientes diseños de malla que se realiza. En la U. Alpacay se desarrollaron proyectos de profundización y preparación de diferentes vetas, labores que abrieron acceso para explotar recursos minerales. Se realizaron estudios técnicos referentes a las incidencias de voladuras deficientes en las distintas labores y secciones, se evaluó los diseños de perforación y voladura anteriores al presente trabajo.

El objetivo principal del estudio es diseñar la malla, para la GA 475 E según el tipo de roca (calidad de roca y RMR), para cumplir con dicho objetivo se llevó a cabo las siguientes tareas:

- Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR).
- Mapeo geomecánico.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación fueron mediante el método de causa efecto, los diseños de perforación han sido implementados en la unidad como estándares de trabajo.

PALABRAS CLAVE: Geomecánica, Diseño de Malla.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis titulado “Geomecánica Aplicada al Diseño de Malla de Perforación de la GA – 475 E del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, Mysac Año 2016” es el resultado del estudio y principalmente de la experiencia en la misma. Adicionalmente muchas de las afirmaciones y conclusiones que se van a encontrar en el trabajo son producto de la interacción con el personal técnico, y personas especializadas en el tema.

La tesis ha sido estructurada a través de cuatro capítulos:

Capítulo I: Generalidades; este capítulo describe el entorno físico, como son la ubicación de la Mina en estudio, topografía y los Recursos Naturales de la misma. Se describe también el entorno geológico, la geología regional, local y económica.

Capítulo II: Fundamentación; abarca los antecedentes de la investigación, la teoría necesaria para el desarrollo, se consideraron temas respecto a geomecánica y a voladura.

Capítulo III: Metodología; Enfoca el problema, la descripción, los objetivos, la hipótesis y el diseño de la investigación.

Capítulo IV: Resultados de la Investigación; en este capítulo se hace una descripción de la realidad y procesamiento de datos, se calcularon los datos necesarios.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN	III
PALABRAS CLAVE.....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. ENTORNO FÍSICO	1
1.1.1. Ubicación y Acceso	1
1.1.2. Topografía.....	1
1.1.3. Recursos Naturales.....	2
1.2. ENTORNO GEOLÓGICO.....	2
1.2.1. Geología Regional.....	2
1.2.2. Geología Local	3
1.2.3. Geología Económica	8

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO (Marco referencial)	10
2.1.1. Antecedentes de la Investigación.....	13
2.1.2. Definición de Términos	14
2.1.3. Consideraciones Geomecánicas para el Diseño de Malla de Perforación .	16
2.1.3.1. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó	19
2.1.3.2. Principales Características Estructurales del Macizo Rocosó.....	20
2.1.3.3. Propiedades Geomecánicas De La Roca Ga - 475 E Del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, MYSAC.....	21
2.1.3.4. Clasificación Geomecánica de Bieniawsky para hallar el RMR .	22
2.1.4. Consideraciones para el Diseño de Malla de Perforación	30

2.1.4.1. Errores de Perforación.....	31
2.1.4.2. Diseño de Arranques en Minería Subterránea	32
2.1.4.3. Distribución y Denominación de Taladros	36
2.1.5. Cálculos de los Parámetros para el Diseño de Perforación	38
2.1.5.1. Cálculo del Burden por el Modelo Matemático de PEARSE	38
2.1.5.2. Calculo del Espaciamiento	39
2.1.5.3. Cálculo del Número de Taladros.....	40

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. EL PROBLEMA.....	41
3.1.1. Descripción De La Realidad Problemática	41
3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema.....	42
3.1.3. Objetivos.....	43
3.1.4. Justificación de la Investigación.....	43
3.2. HIPÓTESIS.....	43
3.3. VARIABLES.....	44
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
3.4.1. Tipo de la Investigación	45
3.4.2. Nivel de la Investigación	45
3.4.3. Diseño de la Investigación.....	45
3.4.4. Población y Muestra.....	46
3.4.5. Técnicas, Instrumentación de Recolección de Datos.....	46
3.4.6. Forma de Tratamiento de los Datos	47

CAPÍTULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	48
4.1.1. Cálculo del RMR (Rock Mass Rating) GA-475E	48

4.1.1.1. Estimación de la Resistencia Compresiva a partir de la Dureza al Rebote SCHDMITH.....	48
4.1.1.2. Cálculo del RQD	49
4.1.1.3. Espaciamiento de Discontinuidades.....	50
4.1.1.4. Condición de Discontinuidades	50
4.1.1.5. Presencia de Agua.....	50
4.1.2. Cálculo de Parámetros de Perforación para el Diseño de Malla de la GA-475 E.....	50
4.1.2.1. Cálculo del Burden con el Modelo Matemático de PEARSE	52
4.1.2.2. Cálculo del Espaciamiento	53
4.1.2.3. Cálculo del Número de Taladros.....	53
4.1.3. Diseño de Malla de Perforación de la GA-475E del Nivel 2050	54
4.1.4. Análisis e interpretación de la información (Contrastación de Hipótesis)	56
4.1.5. Discusión de Resultados	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	62

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1. ENTORNO FÍSICO

1.1.1. UBICACIÓN Y ACCESO

a. Ubicación

La Mina Alpacay, políticamente se ubica en la Región de Arequipa, Provincia de Condesuyos, distrito de Yanaquihua. Está enmarcado dentro de las coordenadas geográficas 15°47'52" Latitud Sur y 72°57'23" Longitud Oeste, las altitudes van entre 1,790 a 2,700 m.s.n.m. *Ver Anexo N°01.*

a. Acceso

El acceso principal a minera Yanaquihua se desarrolla a través de las siguientes vías que se describe en el siguiente cuadro:

RECORRIDO	LONGITUD	SITUACION VIAL	TIEMPO
Arequipa - Corire (valle de Majes)	154 Km	Carretera Asfaltada - Panamericana Sur	3.0 horas
Corire - Chuquibamba	73 Km	Carretera Asfaltada	1.5 horas
Chuquibamba - Yanaquihua	61 Km	Carretera Afirmada	2.0 horas
Yanaquihua - Campamento	20 Km	Carretera Afirmada	0.3 horas
TOTAL	308 Km		6.8 horas

Fuente: Plan de Minado MYSAC.

1.1.2. TOPOGRAFÍA

El relieve topográfico es desde moderadamente a abrupto, con pendiente entre 40° y 50°, en las áreas donde hay restos de depósitos morrénicos.

En otros sectores las pendientes alcanzan entre 60° y 70°.

Clima:

El área de la mina se le considera un clima cálido ya que se localiza a una latitud de 2700 m.s.n.m. y por ser colindante con terreno árido existente en el área. La temperatura máxima es de 20 a 25° C, y la mínima oscila entre 5° C y 10° C., con poca precipitación de lluvias (Enero - Marzo). Las temperaturas de 5° C se presentan con frecuencia por las noches.

1.1.3. RECURSOS NATURALES

La vegetación es muy poca ya que se encuentra en una zona árida donde se encuentra los cactus y algunas plantas silvestres.

En las zonas bajas de la Mina existen valles que se dedican a la agricultura y en su mayoría la producción de frutas y pequeñas ganaderías de vacunos, porcinos y equinos, que circundan la zona minera.

Por otro lado se encuentran especies silvestres como el zorro, vizcacha, perros salvajes, pequeñas aves, etc. Animales que viven en altitudes de los 2700 metros.

El agua necesaria para las operaciones de la mina y consumo doméstico, cuenta con las autorizaciones necesarias para el abastecimiento de agua del río Piñoq, del distrito de Yanaquihua.

Suministro de energía eléctrica:

Las necesidades energéticas de la empresa son satisfechas mediante una línea de transmisión de 12 km de longitud que conecta a la unidad minera con la red nacional, a través de un contrato suscrito con SEAL hasta por 500 Kw MYSAC cuenta además, para casos de emergencia, con un grupo electrógeno de 344 KVA.

1.2. ENTORNO GEOLÓGICO

1.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El depósito Alpacay es un yacimiento aurífero, mesotermal, filoniano, relacionado con la mineralización aurífera en rocas intrusivas en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca-Ocoña. Este depósito ha sido trabajado

desde la Colonia y ha producido alrededor de 150 mil onzas de oro que provienen de un grupo de aproximadamente 50 vetas, y posee recursos importantes que permitirá la explotación por las siguientes décadas.

La mineralización es errática, se presenta en columnas de riqueza discontinuas de pocos metros hasta más de 100 metros y su relleno es mayormente de cuarzo-hematita-limonita.-pirita. Oro nativo con calcopirita-galena-esfalerita subordinados; en profundidad estos ensambles gradan a cuarzo-pirita-chalcopirita.

En las exploraciones y desarrollos, la política de MYSAC es incrementar el nivel de reservas, para lograr este objetivo se desarrolla un agresivo programa mensual de avances lineales y verticales que son vitales para encontrar y renovar nuestras reservas.

Así mismo, se intensifica las exploraciones en nuevas áreas como la zona de Pechugón donde existe un potencial en las vetas Pechugón, Mayra, Johana, Lucero y Pamela. La exploración igualmente se dirige a encontrar nuevas menas en profundidad.

1.2.2. GEOLOGÍA LOCAL

1. Estratigrafía Local:

Dentro del contexto geológico se exponen diferentes unidades litológicas, de naturaleza intrusiva, sedimentaria y volcánica, cuyas edades varían desde el Cretáceo Inferior hasta el reciente.

Las rocas más antiguas de la región la constituyen los meta - sedimentos y las secuencias anfibolita gnéicas del Precámbrico. Sobre éstas, en discordancia angular se emplaza una deposición sedimentaria de origen continental, correspondiente al miembro superior de la Formación Moquegua (Terciario Medio-Oligoceno-Mioceno), supra yacente en algunas zonas, se encuentra el volcánico Sencca, que le corresponde una edad Terciario Superior (Plioceno Medio - Superior) (Salvador Mendivil 1965), constituido por rocas volcánicas tufáceas.

En los alrededores se constata además la presencia del Grupo Barroso asociados al estrato volcán Coropuna compuesto mayormente por tobas dacíticas a riódacíticas, sobre yaciendo en discordancia erosional sobre el volcánico Sencca.

Instruyendo a las anteriores están las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa.

Cubriendo toda la secuencia estratigráfica se encuentran los depósitos cuaternarios representados por depósitos aluviales, fluviales etc. Los cuales contienen materiales sueltos de composición muy heterogénea y de potencias variadas.

a. Formación Moquegua

Esta formación de origen continental fue estudiada por J. Adams. 1906 y posteriormente por Steiman, en 1930; quien la subdividió en dos miembros: Superior e Inferior.

Los componentes de esta formación son de origen continental y está constituido por depósitos clásticos, los cuales se han acumulado a lo largo de una depresión de considerable amplitud, entre las estribaciones andinas y la Cordillera de la Costa.

Sus elementos litológicos son de variada composición, tanto en sentido vertical como horizontal, presentándose en capas y lentes irregulares; factores por lo que se le considera de origen continental, en el que predominó periodos de intensas y copiosas lluvias y una erosión muy acentuada, lapso en el cual hubo actividad volcánica (derrames alternados), habiendo sido erosionados y transportados por las aguas posteriormente. Se halla en la zona de Encarna, próxima al Cerro Tiquimbro, donde los estratos que lo constituyen se extienden en forma sub horizontal.

El contacto inferior se encuentra en no concordancia con el cuerpo intrusivo y en la parte superior infra yace en discordancia angular al volcánico Sencca.

Yacen a los conglomerados algunos mantos de tufos riolíticos blancos, con una potencia variable. De una coloración diversa, debido al intemperismo, generalmente de color gris verdosa, estos tufos se intercalan con areniscas tufáceas, lodolitas y areniscas, con lentes de conglomerados; presenta una potencia de 15 m. aproximadamente.

b. Volcánico Sencca

En la zona se hacen presentes las rocas volcánicas, representadas por el Volcánico Sencca, presentándose en forma de pequeños afloramientos aislados, cubriendo directamente las rocas del Batolito de la Costa.

Es de edad Terciario Superior, (Plioceno), fue estudiado por Salvador Mendivil en 1965, quien le asigna ese nombre; son rocas volcánicas de naturaleza tufáceas.

Este volcánico se expone en el Cerro Chiuca, Cerro Apacheta cubriendo en parte las rocas del complejo Ígneo.

Litológicamente está constituido por tufos de composición dacítica o riolítica, de color gris claro y rojizo, poseen textura homogénea con una cohesión apreciable, macroscópicamente se han determinado los siguientes minerales:

- Feldespato potásico
- Plagioclasas
- Cuarzo
- Vidrio Volcánico
- Biotita.

Además contienen fragmentos de pómez, escoria y lavas que pueden ser redondeadas, subredondeadas y angulosos y de tamaño variable.

Su mejor exposición se observa hacia el N-E de la Bocamina de Cerro Rico y al N-W de la intersección de la quebrada Chifle y de la quebrada de Sesirne, el espesor es variable, va desde pocos metros hasta 50 m.

Los volcánicos de la zona de estudio por su similitud litológica y posición estratigráfica con los que afloran en Ocoña (Mendivil y Castillo), en la Mina de Posco (Quintanilla - Hoover Del Carpio), y por los estudios de Jenks en 1948 en el área de Arequipa, se les asigna una edad Plioceno Superior (Terciario Superior). La distribución es amplia en los cuadrángulos de la Yesera, Ocoña, Arequipa, etc.

c. Volcánico Barroso

La denominación de Formación Barroso fue dada por Wilson y García (1962), a un conjunto volcánico estudiado en el cuadrángulo de Palca; posteriormente S. Mendivil (1965) lo considera como Grupo y lo describe como una serie de derrames piroclásticos cuyos afloramientos se presentan conformando conos, cúpulas irregulares y bancos de posición horizontal con suaves inclinaciones.

La formación Barroso en el área del presente estudio está representada por volcánicos que afloran al N - W de la planta de la unidad minera Yanaquihua, en la quebrada Sambullay con un espesor aproximado de 20m.

2. Depósitos Clásticos Recientes

Están representados por depósitos aluviales, coluviales, eluviales; que están compuestos por un conjunto heterogéneo de rocas inconsolidadas, compuestas por arcillas, arenas, limos, cenizas, conglomerados y gravas en matriz arenosa y detritos de rocas adyacentes, cuyo espesor va de unos centímetros hasta 3 m. de diámetro.

- **Depósitos aluviales**

La deposición del material aluvial se efectuó en la quebrada Alpacay, en la cual está formado por guijarros subredondeados, de diferentes tamaños y en menor proporción por arenas gruesas, finas y limo. La mayor parte de los clastos son de composición Ígnea y en menor proporción por cuarcitas y pizarras; su mayor tamaño es de 3 m. La potencia de estos depósitos se puede estimar en unos 15 m.

3. Rocas Ígneas Intrusivas

En la zona de estudio esta unidad litológica es de mayor importancia y predominio, se observa rocas granodioríticas y como también los diques de composición andesítica, a estas rocas se le considera como rocas integrantes del Batolito Costanero Peruano y se le asigna una edad

Cretáceo Superior a Terciario Inferior, según Steiman 1930 y Jenks 1948.

De modo general las podemos considerar a estas rocas faneríticas, ya que a simple vista podemos apreciar la mayoría de sus minerales. Asimismo se observa el dique de composición andesítica, que presenta una textura afanítica formando un complejo granodiorita-andesítica.

Se tiene Stocks y Apófisis de granito rojo y diorita gnéssica del Paleozoico Inferior, expuestas en Ático, Ocoña y Camaná.

Los afloramientos de estos plutones son en forma paralela a la línea de costa, atravesados por un sistema de fracturamiento variable en rumbo y buzamiento, en general se presentan de color gris parduzco.

Los diques andesíticos que se encuentran intrusionando a la diorita-granodiorita, son de grano fino (afanítico) a veces porfirítico, presentando potencias variables; están relacionadas a la mineralización.

a. Granodiorita

Esta unidad petrográfica es la de mayor volumen del Batolito de la costa, regionalmente es la roca más predominante en los afloramientos.

La granodiorita, granito y Tonalita, forman el grupo de las rocas silícicas (ácidas) caracterizadas por presencia de cuarzo, en exceso del 10%, con feldespatos alcalinos, plagioclasa sódica.

Los afloramientos se exponen en los cerros adyacentes presentan fuerte fracturamiento, bloques de variados tamaños, zonas con fuerte alteración, ya sea química o por cambios de temperatura (físico).

Esta roca plutónica se encuentra como roca encajonante de las vetas auríferas, en tal sentido ha sufrido un proceso de alteración propilítica, producida por soluciones deutéricas calientes e hidratadas, que acompañaron el emplazamiento de los diques andesíticos.

b. Andesita

Las rocas ígneas intrusivas de la zona están atravesadas por diques de anchos y longitudes variables de composición andesítica, con direcciones más o menos paralelas entre sí; muchos de ellos asociados a estructuras mineralizadas de oro. Estos diques lamprofídicos según Shand, son considerados como rocas mesocráticas a melanocráticas (de acuerdo al color), compuestos por minerales oscuros en mayor cantidad. Estos diques presentan diferentes grados de alteración, se les considera del Terciario Medio-Inferior ya que son más recientes que los plutones que corta. Estas rocas Hipohabisales se distribuyen en diques con dirección notoria N-W predominando la dirección E-W con inclinación N-E o S-W. Muchos de estos diques están asociados a estructuras mineralizadas de oro, en cuyo caso la andesita se ubica como caja de tales vetas; esta roca ha sufrido una alteración hidrotermal, ocasionando una propilitización y en menor escala silicificación.

La roca es característica por su color gris verdoso claro, textura afanítica, fuerte fracturamiento y presencia de alteración propilítica, la cual se manifiesta en el color verde opaco, que presenta la andesita propilitizada.

1.2.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA

En Alpacay existe una treintena de vetas que son de importancia y que han sido parcialmente trabajadas en el pasado pero que encierran importantes reservas en profundidad. La estructura principal de este depósito es la veta **troncal** la cual posee hasta 3 clavos mineralizados de 200-300 metros de largo a lo largo de 2 kilómetros de recorrido, posee una potencia entre 0.5 a 2 metros y ha sido reconocida hasta la cota 1,800 m, destacan igualmente la veta el rey que fue la más rica en tiempos de Alpacay Mining. *Ver Anexo N°02.*

La actividad minera en la actualidad se concentra mayoritariamente en 5 vetas en la zona Santa Teresita que son La Despreciada, Silvana, Kathy, B2 y B1, y también en la veta Encarna. De ellas proviene el mineral oxidado para la planta de lixiviación. La zona de oxidación en las vetas

varía entre los 100 y 200 metros notándose que en el nivel 2050 aparece ya mineral primario.

La mineralización es errática, se presenta en columnas de riqueza discontinuas de pocos metros hasta más de 100 metros y su relleno es mayormente de cuarzo-hematita-limonita-pirita, oro nativo con calcopirita-galena-esfalerita subordinados; en profundidad estos ensambles gradan débilmente a cuarzo-pirita-calcopirita. *Ver anexo N°04 y N°04.*

Se han definido tres épocas principales de mineralización que son:

1. Calcopirita-molibdenita-cuarzo
2. Pirita-cuarzo-oro,
3. Pirita-cuarzo-calcita oro-calcopirita, esfalerita-galena.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO (Marco Referecial)

- **Perforación y voladura**

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así, partiendo de esta definición, esta tecnica es aplicable a cualquier método de explotación, bien en minería, bien en obra civil, donde sea necesario un movimiento de tierras, la técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. De esta forma, se tienen dos tecnologías claramente diferenciadas: la tecnología de la perforación y la tecnología de diseño y ejecución de voladuras. (*Bernaola Alonso, Castilla Gómez, & Herrera Herbert, 2013*).

- **Diseño de mallas de perforación en minería subterránea**

El diseño de mallas de perforación es un conjunto de taladros que se perforan en un frente y que su diseño debe tener una geometría, simetría, ubicación, dirección, inclinación y profundidad determinada. El diseño se realiza con el objetivo de:

- Reducir los gastos de perforación y cantidad de explosivos
- Obtener un buen avance

- Mantener el tamaño o sección de la labor uniforme
- Determinar el orden y salida de los taladros

La malla de perforación es la forma en la que se distribuye los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación del burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad del taladro, las operaciones de voladura subterránea difieren de las voladuras en minería superficial, ya que carecen de la cara adicional de alivio que es normal en muchas de las operaciones de superficie. En operaciones subterráneas, tenemos sólo una cara en la cual debemos perforar y ser capaces de crear alivio perpendicular a esa cara utilizando los primeros taladros que detonan. Si no se crea el alivio apropiado cuando detonan los primeros taladros, el resto de la voladura provocará muy poca fragmentación y se soplará. (EXSA, 2009).

EXSA, (2009) en los túneles, la roca está más confinada y una segunda cara libre debe ser creada paralela al eje de los taladros, la segunda cara libre se produce por un corte en el frente del túnel que puede ser ya sea taladros de alivio perforado paralelamente al corte que se aplicara de acuerdo a las características del Macizo rocoso (estudio geomecánico de la roca), en general, las voladuras de túneles son de alguna manera sobrecargadas para producir una fragmentación más fina ya que los efectos desastrosos del sobrecargado de los taladros son disminuidos por el confinamiento dado en el túnel.

EXSA, (2009) como resultado del confinamiento adicional y la falta de caras libres desarrolladas, el tiempo entre retardos debe ser mayor que los de las voladuras de superficie para permitir el movimiento de la roca y la formación de la cara libre adicional antes de que disparen los taladros subsecuentes.

EXSA, (2009) en las voladuras de túneles, se utilizan generalmente periodos de retardo largos. Si se utilizan retardos de milisegundos, se omiten periodos de retardo para permitir de 75 a 150 milisegundos (como mínimo) entre disparos de taladros. Este incremento en el tiempo de retardo es esencial para permitir que las voladuras de túneles funcionen apropiadamente.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura que son mutuamente dependientes o que están

relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca. Para facilidad de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales que comprende:

Propiedades físicas.

- **Dureza:** Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- **Tenacidad:** Indica aproximadamente entre la dificultad de romperse bajo el efecto de fuerza de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil).
- **Densidad:** Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm³ en promedio. Rocas densas requieren también explosivos rápidos para romperse. Densidad es igual al peso/volumen (g/cm³).
- **Textura:** Forma de amarre de los cristales o granos y su grado de concentración o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- **Porosidad:** Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- **Variabilidad:** Las rocas no son homogéneas en su composición y textura, tiene un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.
- **Grado de alteración:** Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas.

- **Frecuencia sísmica:** Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- **Resistencia mecánica:** Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
- **Fricción interna:** Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
- **Módulo de yung:** Resistencia elástica a la deformación.

- **Radio de poisson:** Radio de concentración transversal o extensión longitudinal de material bajo tensión.
- **Impedancia:** Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con altas frecuencias sísmicas requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

Condiciones geológicas.

- **Estructura:** Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen y formación (macizo, estratos, etc.).
- **Grado de fisuramiento:** Indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas. Son importantes la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisuras y el espaciamiento entre ellos, así como la abertura y los tipos de relleno en las discontinuidades.
- **Presencia de agua:** Define incluso el tipo de explosivo a utilizar.

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1.1. A nivel internacional:

a) La investigación de Kaushik Dey & Phalguni Sen (India escuela de minas) en los principios de “blastability” en el año (1979). Cuyo principal objetivo es la fragmentación por las voladuras y conseguir un tamaño adecuado que se ajusten a nuestras necesidades, así mismo buscar un factor de explosión específico para reducir al mínimo el costo de la minería en general, aproximándonos a un buen resultado utilizando parámetros geomecánicos, un buen diseño y explosivos adecuados.

b) Investigación de Rene Wilfredo Ojeda Mestas, Ing. De Minas en el Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea aplicando un Modelo Matemático de Áreas de Influencia del año (1998), realizado para ejecutar diseños óptimos sin la necesidad de realizar muchas pruebas de campo, y en donde el objetivo es diseñar mallas de perforación y voladura subterránea, aplicando un modelo matemático de áreas de influencia y pronosticar el análisis de la

fragmentación para determinar si es el óptimo.

2.1.1.2.A nivel nacional:

- a) UNCP - Huancayo (2008): Marcañaupa Curo, Rodolfo, la investigación titulada: “Perforación y voladura Basada en el RMR”, Compañía de Minera Aurífera Retamas”.

2.1.2.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- ❖ **Roca:** agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables.
- ❖ **Suelo:** agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua.
- ❖ **Macizo rocoso:** conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.
- ❖ **Geomecánica.** Estudia el comportamiento del macizo rocoso.
- ❖ **Matriz rocosa = Roca matriz = Roca intacta:** material rocoso sin discontinuidades, o bloques de roca entre discontinuidades. (Se caracteriza por su densidad, deformabilidad y resistencia; por su localización geográfica; y por su litología, ya sea ésta única o variada).
- ❖ **Discontinuidad:** cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja. (Genera comportamiento no continuo de la matriz rocosa, y normalmente anisótropo).
- ❖ **Mina:** Yacimiento de donde se extrae el mineral rentable mediante un sistema productivo. La extracción se efectúa por etapas: primero se hace exploraciones, luego perforaciones diamantinas y, si se encuentra mineral, se procede a hacer una mina. Se construye una galería principal con una entrada que se llama bocamina.
- ❖ **Yacimiento:** Depósito natural de rocas o mineral rentable, donde

generalmente se abre una mina.

- ❖ **Distancia entre taladros:** Se determina como consecuencia del número de taladros y del área del frente de voladura, normalmente varía de 15 a 30 cm entre los arranques, de 60 a 90 cm entre los de ayuda, y de 50 a 70 cm entre los cuadradores.

Como regla práctica se estima una distancia de 2 pies (60 cm) por cada pulgada del diámetro de la broca. Los taladros de periferia (alzas y cuadradores) se deben perforar a uno 20-30 cm del límite de las paredes del túnel para facilitar la perforación y para evitar la sobre rotura. Normalmente se perforan ligeramente divergentes del eje del túnel para sus topes permitan mantener la misma amplitud de sección en la nueva cara libre a formar. (Camac Torres E. A., 2001).

- ❖ **Longitud de taladros:** Se determinará en parte por el ancho útil de la sección, el método de corte de arranque escogido y por las características del equipo de perforación. Con corte quemado puede perforarse hasta 2 y 3 metros de profundidad, mientras que con corte “V” solo se llega de 1 a 2 m en túneles de pequeña sección, para calcular la longitud de los taladros de corte en v, cuña o pirámide se puede emplear la siguiente relación $L = S * 0,5$, donde s es la dimensión de la sección del túnel en m2.

- ❖ **Arranque:** Son los taladros del centro que se disparan primero para formar la cavidad inicial en el frente, por lo general se cargan 1.3 a 1.5 veces más que el resto de los taladros

- ❖ **Ayudas de arranque:** Son los taladros que rodean a los taladros de arranque y forman la salida hacia ña cavidad inicial. De acuerdo a la dimensión del frente varia su número y distribución, comprendiendo a las primeras contra ayudas, segunda y tercera ayudas ósea ensancha el vacío creado por los taladros de arranque.

- ❖ **Cara libre:** Es la superficie en contacto con el medio ambiente, hacia el cual se desplaza el material cuando es disparado por acción del explosivo. La cara libre en un frente es una sola por ello la función del corte o cuele es abrir o crear otra cara libre, es decir la abertura que se genera después del disparo del arranque ya es otra cara libre. La creación de una cara libre mediante perforación de taladros de alivio con un diámetro mayor al diámetro de los taladros de producción, viene a ser la segunda cara libre

en un frente en minería subterránea, el cual es muy importante e indispensable para la formación de las ondas compresivas y retorno (reflexión) de ondas de tensión provocando así una fragmentación por las ondas compresivas.

- ❖ **Burden:** Es la distancia más corta medido perpendicularmente desde el eje de un taladro hacia la cara libre o taladros de alivio.
- ❖ **Espaciamiento:** Es la distancia lateral entre taladros y taladro de un mismo cuadrante en minería subterránea.
- ❖ **Malla:** La malla de perforación es la forma en la que se distribuye los taladros para realizar una voladura, considerando básicamente la relación del burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad del taladro
- ❖ **Taladro:** Cavidad cilíndrica en la cual se deposita explosivo de acuerdo a un factor de carga.

2.1.3. CONSIDERACIONES GEOMECÁNICAS PARA EL DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN EN LA GA-450, NV 2050.

Cuando se diseñan labores mineras subterráneas para propósitos de perforación y voladura de un yacimiento minero, se ponen de manifiesto una serie de condicionantes y problemas que se relacionan con el comportamiento mecánico del macizo rocoso que deben de tomarse en cuenta a fin de hacer más racional dicha actividad minera, es por ello que para determinar el comportamiento geomecánico en las labores de interior mina, debemos tener en cuenta:

A. Mapeo geológico

- Mapeo estructural
- Mapeo línea de detalle

B. Mapeo geomecánico

- Mapeo por estaciones/celda/ventanas
- Mapeo geotécnico de sondajes
- Mapeo para voladura.

Todo ello nos con lleva a tener un modelo geológico global de la mina y definición de parámetros relevantes que nos orienta a zonificar por distintas unidades geológicas y dominios con características geotécnicas distintas, que apoya para el análisis de detalle de la infraestructura minera (Ejemplo: Diseño de perforación, voladura, sostenimiento, etc.), en nuestro caso haremos un análisis enfocado a la perforación.

A continuación, haremos un detalle general de la información de los tipos de mapeos que se requiere antes de realizar un diseño adecuado de una malla de perforación y voladura en la GA - 475 E del NV 2050.

A. Mapeo Geológico:

- El objetivo es conocer en detalle la geología de la mina.
- Parámetros a mapear: Tipo de roca, discontinuidades mayores y menores, alteración, mineralización, otros.
- ¿Cuándo se mapea?: Cada vez que tengo nuevos desarrollos o avances.

- Mapeo estructural – Línea de detalle

- El Objetivo es establecer un modelo estructural global de la mina (preferentemente 3D).
- Parámetros a mapear (Línea de Detalle): Fallas mayores, diques, contactos o planos de estratificación con características de falla (rumbo, manteo, espesor salbanda y zona fracturada). En general cualquier discontinuidad mayor.
- ¿Cuándo se mapea?: Cada vez que se tenga un desarrollo nuevo, a fin de actualizar y validar modelo.

Uso y aplicaciones:

- ✓ Detección de posibles mecanismos de inestabilidad.
- ✓ Análisis de estabilidad global o a escala mayor.
- ✓ Interpretación de resultados de monitoreo geomecánico.
- ✓ Apoyo al diseño (Perforación, sostenimiento, etc).

B. Mapeo Geomecánico (Estaciones/Ventanas/Celdas)

- Los objetivos son obtener, caracterizar y cuantificar estadísticamente las discontinuidades del macizo rocoso.
- Parámetros a mapear: Discontinuidades (mayores, menores) y sus características (ver cartilla).
- ¿Cuándo se mapea?: Para definir la ingeniería básica y de detalle de un proyecto en forma dirigida, cuando se manifiestan cambios importantes en la geología para optimizar un proyecto.

Uso en geomecánica:

- ✓ Análisis probabilístico (ángulo cara de banco).
- ✓ Análisis estructural.
- ✓ Ajustes a los parámetros de diseño (ajuste por orientación a parámetro RMR).
- ✓ Orientación de cámaras.
- ✓ Orientación de taludes

- Mapeo geotécnico de sondajes

- Objetivos es Construir modelo geotécnico de la mina.
- Parámetros a mapear: RQD, % de recuperación, fracturamiento, otros parámetros y en caso de sondaje orientado, se puede obtener la orientación de discontinuidades.
- ¿Cuándo se mapea?: Rutinario.

Usos y aplicaciones en geomecánica: modelo geotécnico.

- Mapeo para la voladura

Su objetivo es entregar las variables geológicas que influyen directamente en el resultado de la tronadura.

- Parámetros a mapear; Tipos de roca, fallas y discontinuidades mayores, dureza, grado de fracturamiento, orientación de sistemas principales.
- ¿Cuándo se mapea?: **Previo a cada disparo.**

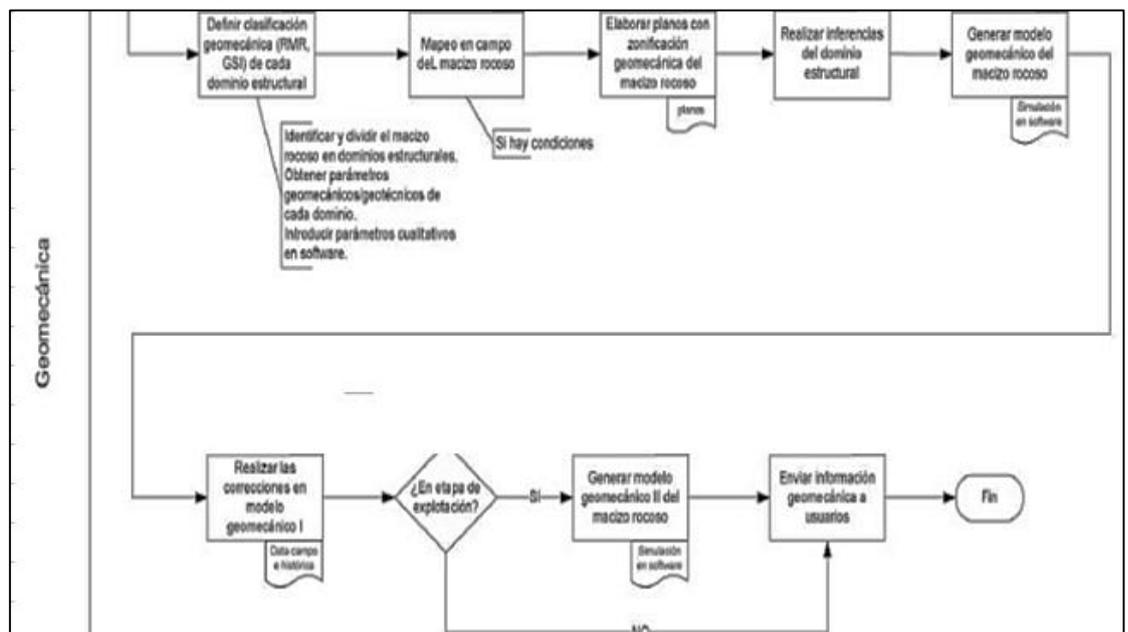
En general estos mapeos nos permiten determinar el comportamiento del macizo rocoso por dominios y con la finalidad de desarrollar una evaluación geomecánica en la GA - 475 E del nivel 2050 en la unidad Alpacay. MYSAC, se realizaron las siguientes actividades:

- ✓ Reconocimiento sistemático del área de operación actual.
- ✓ Obtención y revisión de la información geológica.
- ✓ Medición in situ de las características geomecánicas de la roca (clasificación geomecánica).

La información tomada en la GA – 475 E, durante el mapeo estructural y la caracterización de las discontinuidades, así como los resultados de los ensayos de mecánica de rocas permitieron caracterizar y clasificar geomecánicamente el macizo rocoso (Cajas) y el mineral.

En la clasificación geomecánica se usaron los sistemas de clasificación de macizo rocoso aplicados a obras subterráneas RMR y GSI. La resistencia del macizo rocoso fue estimada con el criterio de falla de Hoek y Brown (2002).

Figura N°01 Diagrama de Flujo Proceso de Mapeo Geomecánico



Fuente: Departamento de Geomecánica MYSAC

2.1.3.1. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó

La principal aplicación de la geomecánica en la minería es optimizar el método de explotación, disminuir los riesgos por desprendimiento

de rocas y optimizar el diseño de la perforación; para el cual se requiere de la utilización de los principios, metodologías de mecánica de rocas, para un adecuado diseño y ejecución de los proyectos.

La descripción de rocas con fines ingenieriles, requiere seleccionar propiedades básicas para obtener parámetros geomecánico del macizo rocoso para su clasificación geomecánica.

La caracterización de las labores se realiza en las labores, subdividiéndolas por estructura y dominios estructurales, facilitando la planificación y el diseño de minado, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Para nuestro caso los elementos básicos de geología que tienen incidencia en la perforación y voladura son:

1. Las características físicas y mecánicas de las rocas que conforman el macizo rocoso.
2. Los rasgos estructurales, esto es la presencia de planos de estratificación, diaclasas principales y secundarias.
3. Otro parámetro que debe tenerse en cuenta en un diseño racional, está obviamente, asociado con los objetivos de la voladura; este otro actor puede conllevar a modificar los diseños en virtud a favorecer la granulometría a lograr, así como a evitar la dilución del material a remover.

El principio de una buena voladura se fundamenta en una buena supervisión al proceso de perforación (Cumplimiento del diseño de la malla de perforación).

2.1.3.2.Principales Características Estructurales Del Macizo Rcoso

El esquema estructural del yacimiento está dominado por dos principales sistemas de lineamientos regionales que corresponden a fallas de dirección noroeste y norte de fallas normales y son interpretados como fracturas conjugadas formadas en respuesta a esfuerzo regional de N-NW eje de tensión y E-NE eje de compresión.

El yacimiento presenta tres dominios estructurales que son definidos por un patrón estructural, definido por fallas mesoscópicas de actitud N80°E/75°SE que corresponde al sistema principal de las vetas más ricas. Caracterizado por fallas subparalelas de fallas normales de salto oblicuo y fracturas de extensión, con buzamientos de alto ángulo (70°-80°), que se presenta en una área de 2 km con un predominio en dirección Este - Oeste.

La veta en la GA 450E NV 2050, son hospedados y controladas en fallas, Vetas forman clavos de 30 a 80 m. de largo, expuesto en un zoneamiento vertical mayor a 300 m, contenido aurífero (< 3 Oz/t Au).

La mineralización está en fallas hospedantes en rocas graníticas del Complejo Bella Unión y rocas de la súper Unidad Incahuasi (Núñez, 1994). Intrusivos.

Parámetros Del Macizo Rcoso

Son determinantes como variables incontrolables, los cuales tenemos:

- Las propiedades físicas, (densidad, dureza, tenacidad, porosidad).
- Las Propiedades elásticas o de resistencia (resistencia a la compresión, tensión, fricción interna, cohesión).
- Condición geológica (textura, presencia de agua).

2.1.3.3. Propiedades Geomecánicas de la Roca de la Ga-475 E del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, Mysac.

Con la finalidad de obtener muestras de roca representativa y así obtener propiedades geotécnicas del macizo rocoso, se efectuó una campaña de muestreo de la zona principal en explotación, líneas más abajo se detalla dicha información.

Cabe mencionar que en minera Yanquihua, el Método de explotación es corte y relleno ascendente con relleno detrítico, empleándose equipos perforación neumático (tipo jackleg), locomotoras, carros mineros, winches y ventiladores eléctricos. La explotación es conducida a través de empresas contratistas mineras, contamos con una fuerza laboral de aproximadamente

400 trabajadores.

A continuación detallamos las propiedades:

a. Densidad Mineral y Desmonte

Se tomaron muestras representativas de mineral y de rocas (cajas) de las zonas de trabajo, las cuales fueron remitidas al laboratorio metalúrgico de planta de MYSAC; obteniéndose los datos mostrados a continuación:

Cuadro N° 01. Densidades

Muestra	Nivel-Zona	gr/cm3
Mineral	NV 2050	3.20
Caja Piso	NV 2050	2.70
Caj techo	NV 2050	2.70

Fuente: Estudio de explotación en MYSAC

b. Humedad

Se obtuvieron muestras representativas, para ser evaluadas en el laboratorio metalúrgico de MYSAC, en el cual se ejecutaron ensayos de gravedad específica y humedad natural.

Cuadro N° 02. Humedad

Muestra	Nivel – Zona	Humedad (%)
Mineral	NV 2050-GA 475E	1.6
Caja techo	NV 2050-GA 475E	1.8
Caja piso	NV 2050-GA 475E	1.8

Fuente: Área de Geología de MYSAC

2.1.3.4. Clasificación Geomecánica De Biniawski para hallar El RMR

Según Carlos Arturo Pérez Macavilca, (2008) el RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- a. Resistencia Compresiva de la roca.
- b. Índice de Calidad de la Roca
- c. Espaciamiento de Juntas.

- d. Condición de Juntas.
- e. Presencia de Agua.
- f. Corrección por orientación.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Cuadro N°03
Clasificación Geomecánica De Biniawski

Clase	Calidad	RMR	Cohesión (kPa)	Angulo de fricción (°)
I	muy buena	81 – 100	> 400	> 45
II	buena	61 – 80	300 – 400	35 – 45
III	regular	41 – 60	200 – 300	25 – 35
IV	mala	21 – 40	100 – 200	15 – 25
V	muy mala	0 - 20	< 100	< 15

Fuente: “Engineering Rock Mass Classifications”, Bieniawski, Z. T.

A continuación se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación.

Parámetros:

a. Resistencia compresiva de la roca.

Según Carlos Arturo Pérez Macavilca, (2008) la resistencia compresiva “ γ ” de una roca se puede determinar por tres procedimientos:

- **Primer procedimiento**

Estimación de la Resistencia Compresiva mediante el martillo Schmidt de Dureza.

- **Segundo procedimiento**

Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Carga Puntual “Franklin”.

- **Tercer procedimiento**

Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial.

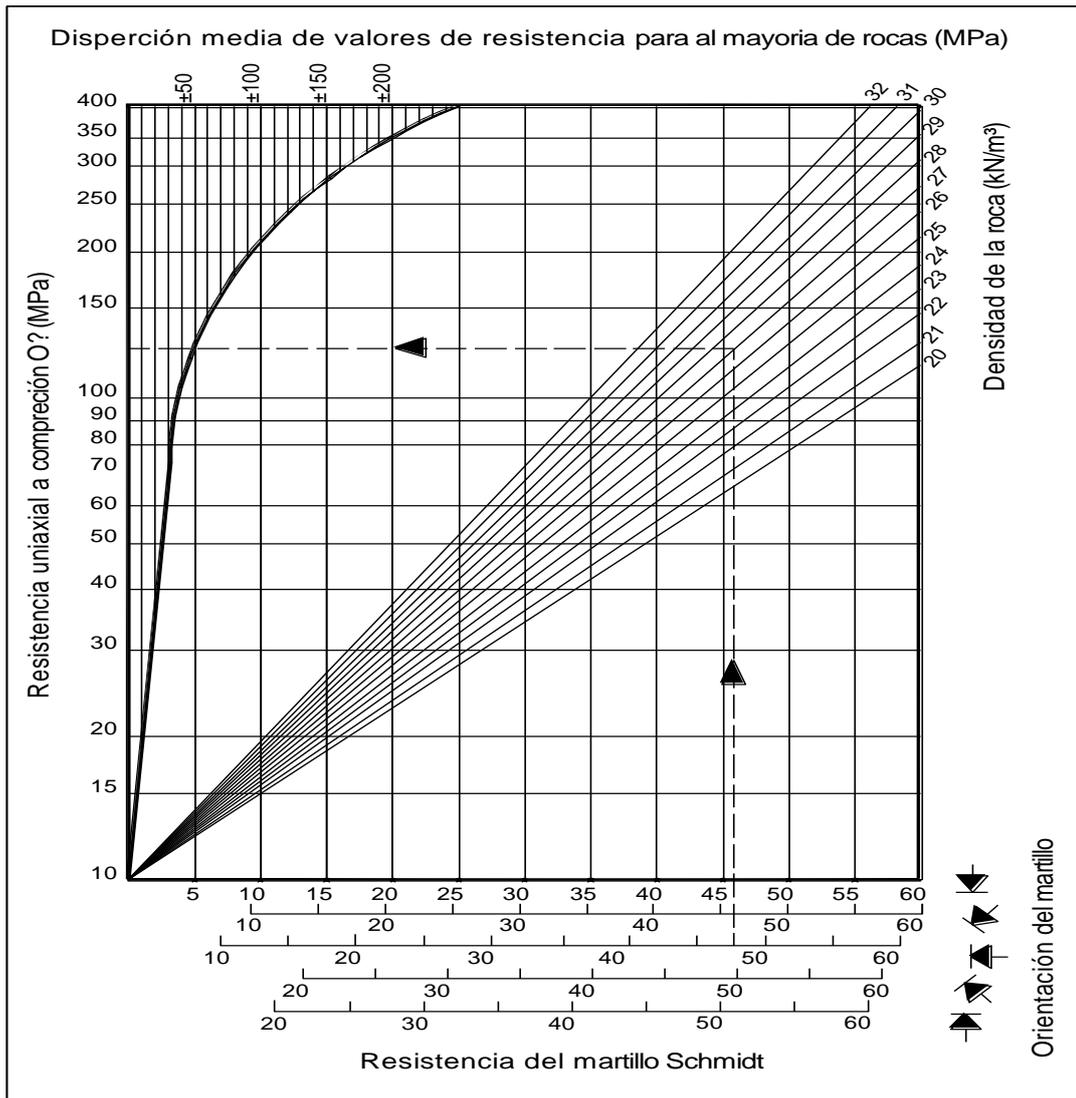
En nuestro caso se realizó la medición con el Esclerómetro o Martillo Schdmith, la misma que estima de forma aproximada de la resistencia a compresión, mediante una correlación con tablas.

El procedimiento considera el peso específico de la roca y se basa en un golpeo con rebotes.

Además se debe tener las siguientes consideraciones ante una medición con el martillo:

- El martillo se aplica en posiciones separadas, una distancia no menor al diámetro de la punta del martillo, se aplica perpendicularmente a la superficie y se eliminan las 5 medidas más bajas y se calcula la media de las 5 restantes.
- Se lleva la media de la dureza al rebote al eje de las X correspondiente a la inclinación del martillo y se traza la vertical hasta que corte a la línea correspondiente al peso específico de la roca.
- A partir de este punto se traza una línea horizontal hasta cortar al eje de ordenadas, obteniéndose la estimación de la resistencia a compresión de la roca en MPa (*ver: Tabla N° 01*).

Figura N°02: Ábaco de Schmidt, para valorizar ensayos con martillo Schmidt.



Fuente: Fuente diapositiva CGI.

b. Índice de la calidad de la roca – RQD

Según Bieniawski, Z. T. (1989) Para determinar el RQD (Rock Quality Designation) en el campo y /o zona de estudio de una operación minera, existen hoy en día tres procedimientos de cálculo, y son:

- **Primer procedimiento**

Se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m.

$$RQD = \frac{\sum \text{trozos} \geq 10}{\text{Longitud Total de Taladro}} \quad (\text{Ecu. 01})$$

- **Segundo Procedimiento**

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras, por metro lineal, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (Detail line) en el área y/o zona predeterminada de la operación minera.

Fórmula matemática:

$$RQD = 100\lambda^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \quad (\text{Ecu. 02})$$

Siendo: $\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de fisuras}}{\text{Espaciamiento}}$

- **Tercer procedimiento**

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras, por metro cúbico, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (Detail line) en el área y/o zona predeterminada de la operación minera.

Fórmula matemática de Palmstrom:

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

Siendo:

J_v: Número de fisuras por metro cúbico. (Índice volumétrico).

Cuadro N° 04
Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca

RQD	Calidad de la Roca
< 25%	Muy Mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Excelente

Fuente: "Engineering Rock Mass Classifications", Bieniawski, Z. T.

***En nuestro caso, utilizaremos el segundo procedimiento (Ecu. 02).**

c. Espaciamiento de juntas

Según Bieniawski, Z. T. (1989) Se ha comprobado que el espaciamiento de juntas tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.

Así resulta que un material rocoso de alta resistencia de 100 a 200 MPa, que esté muy fracturado con un espaciamiento de juntas de 5 cm, corresponde a un macizo rocoso débil. A continuación se presenta la clasificación de **Deere** de los macizos rocosos.

En lo referente al espaciamiento de juntas, que es la que recomienda utilizar en la clasificación geomecánica de Bieniawski.

Cuadro N° 04

DESCRIPCIÓN ESPACIAMIENTO	ESPACIO DE JUNTAS	TIPO MACIZO ROCOSO
Muy ancho	> 3m	Sólido
Ancho	1-3m	Masivo
Moderadamente	0.3-1m	En bloques
Cerrado	50-300m	Fracturado
Muy cerrado	< 50mm	Machacado

Fuente: "Engineering Rock Mass Classifications", Bieniawski, Z.

d. Condición de juntas

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **Apertura:** La apertura de las juntas es un criterio para descripción cuantitativa de un macizo rocoso. La clasificación de Bieniawski es la siguiente:

Cuadro N°05

DESCRIPCIÓN	SEPARACION
Abierta	>5
Moderadamente abierta	1-5 mm
Cerrada	0.1-1 mm
Muy cerrada	< 0.1

*Fuente: "Engineering Rock Mass Classifications"
Bieniawski, Z.*

- **Tamaño:** El tamaño de las juntas influye en la importancia que el material rocoso y la separación de las juntas tienen en el comportamiento del macizo rocoso.
 - **Rugosidad:** En esta clasificación se establecen 5 categorías de rugosidad: muy rugosa, rugosa, ligeramente rugosa, suave y espejo de falla.
 - **Dureza de los labios de la discontinuidad:** Se consideran 3 categorías de dureza: dura, media y blanda.
 - **Relleno:** Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.
- e. **Presencia de agua**
- El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo agua en el macizo rocoso. El criterio que se utilizará será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.
- f. **Corrección por orientación:** A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de una excavación subterránea y una labor minera superficial, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la labor minera que se va ejecutar. Bieniawski ha propuesto la siguiente clasificación:

Figura N°03

Tabla de clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Independiente del Rumbo.
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzam	Buzam	
Buzam	Buzam	Buzam	Buzam			
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

Figura N° 04

Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉

Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo puntual carga	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MP	< 1 MPa
valor			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor			20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor			20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
valor			6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
		valor	15	10	7	4	0		

Fuente: "Engineering Rock Mass Classifications", Bieniawski, Z.

2.1.4. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN.

El diseño de mallas de perforación es un conjunto de taladros que se perforan en un frente y que su diseño debe tener una geometría, simetría, ubicación, dirección, inclinación y profundidad determinada. El diseño se realiza con el objetivo de:

- Reducir los gastos de perforación y cantidad de explosivos.
- Obtener un buen avance.
- Mantener el tamaño o sección de la labor uniforme
- Determinar el orden y salida de los taladros

La malla de perforación es la forma en la que se distribuye los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación del burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad del taladro, las operaciones de voladura subterránea difieren de las voladuras en minería superficial, ya que carecen de la cara adicional de alivio que es normal en muchas de las operaciones de superficie. En operaciones subterráneas, tenemos sólo una cara en la cual debemos perforar y ser capaces de crear alivio perpendicular a esa cara utilizando los primeros taladros que detonan. Si no se crea el alivio apropiado cuando detonan los primeros taladros, el resto de la voladura provocará muy poca fragmentación y se soplará. (EXSA, 2009)

Cuando se disparan los taladros juntos, se dice que el disparo es simultáneo, pero si se disparan sucesivamente, de acuerdo a un orden previamente establecido el disparo será rotativo. El objeto del disparo rotativo es la formación y ampliación de las caras libres, razón por la cual se usa este sistema en los trabajos de minería de subterránea ya que los frentes presentan solo una o dos caras libres. (EXSA, 2009).

La perforación de rocas

Uribari Urbina, (2008) indica que la perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es abrir en la roca o mineral huecos cilíndricos llamados taladros, hoyos o blast holes que están destinados a alojar o colocar explosivo y sus accesorios en su

interior. Daza Correa, (2011). La perforación se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción trituran la roca.

2.1.4.1. Errores de perforación

La perforación se realiza con jumbo máquina Jack Leg, el operador de este debe ser un personal altamente capacitado y experimentado ya que de él dependerá la eficiencia de la perforación y la eficiencia de la voladura. La eficiencia de voladura debe alcanzar al 95% de la longitud perforada.

a) **Hueco de alivio de diámetro muy pequeño:** los errores son significativos, especialmente si afectan el arranque del disparo.

*Figura N°05
Hueco o taladro de alivio muy pequeño.*



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA 2005

b) **Desviación en el paralelismo:** en este caso el burden no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta al fracturamiento y al avance, en otros casos la desviación de taladros se manifiesta en la conexión de taladros de uno al otro lo que afecta directamente a la eficiencia de la voladura. Que también es similar a la intersección de taladros, pero en este caso de intersección puede ser tanto para arriba o para abajo con respecto a la horizontal.

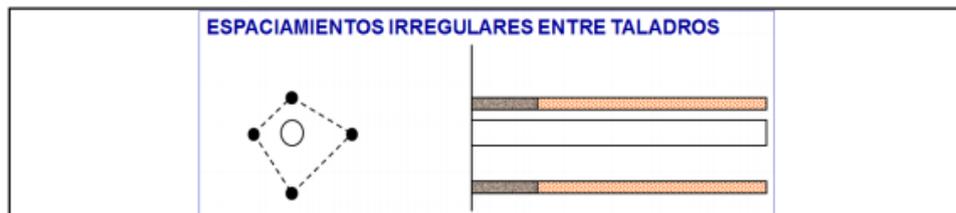
Figura N° 06
Desviación en el paralelismo.



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2005

- c) **Espaciamientos irregulares entre taladros:** propician fragmentación gruesa.

Figura N° 07
Espaciamiento irregular entre taladros.



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001.

- d) **Irregular longitud de los taladros:** Influye en el avance (especialmente si el de alivio es muy corto) nueva cara muy irregular.

Figura N° 08
Irregular longitud entre taladros.



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001.

2.1.4.2. Diseño de Arranques en Minería Subterránea

El principio de la palabra voladura de túneles reside, por tanto, en la abertura de una cavidad inicial, denominada corte, cuele o arranque, destinada a crear una segunda cara libre de gran superficie para facilitar la subsiguiente rotura del resto de la sección, de modo que los taladros del núcleo y de la periferia pueden trabajar destrozando la roca en dirección hacia dicha cavidad. Al formarse la cavidad el frente

cerrado del túnel se transforma en un “banco anular”, donde los factores de cálculo para el destroce serán semejantes a los empleados en un banco de superficie, pero como ya se mencionó, exigiendo cargas considerablemente mayores para desplazar el material triturado.

EXSA S. (2009) la profundidad del corte deberá ser igual a la estimada para el avance del disparo, cuando menos. La ubicación influye en la facilidad de proyección del material roto, en el consumo de explosivo y el número de taladros necesarios para el disparo. Por lo general, si se localiza cerca de uno de los flancos (a) se requerirá menos taladros en el frontón; cerca al techo (b) proporciona buen desplazamiento y centrado de la pila de escombros, pero con mayor consumo de explosivo; al piso (c) es conveniente solo cuando el material puede caer fácilmente por desplome. En general, la mejor ubicación es al centro de la sección ligeramente por debajo del punto medio (d).

Figura N°09
Ubicación del arranque



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001

La ubicación del corte o arranque dependerá de las condiciones del macizo rocoso, en lo posible se trata de ubicar los cortes en la parte central de la sección del frente; esto con la finalidad de distribuir mejor los taladros de acuerdo al diseño y cálculos de espaciamiento y burden en los cuadrantes.

- a) Corte en pirámide (center cut).** Comprende a cuatro o más taladros dirigidos en forma de un haz convergente hacia un punto común imaginariamente ubicado en el centro y fondo de la labor a excavar de modo que su disparo instantáneo creara una cavidad piramidal.
- b) Corte en cuña o en "v" (wedge cut).** Comprende a cuatro, seis o más taladros convergentes por pares en varios planos o niveles (no hacia un solo punto), de modo que la cavidad abierta tenga la forma de una cuña o “trozo de pastel”. Es de ejecución más fácil, aunque de corto avance especialmente en túneles estrechos, por la dificultad de perforación. La disposición de la cuña puede ser en sentido vertical horizontal. El ángulo adecuado para la orientación de los taladros es de 60° a 70° . Es más efectivo en rocas suaves a intermedia.
- c) Corte en cuña de arrastre (drag o draw cut).** Es prácticamente un corte en cuña efectuado a nivel del piso de la galería de modo que el resto del destroce de la misma sea por desplome. Se emplea poco en túneles más en galerías en mantos de roca suave.
- d) Corte en abanicos (fan cut).** Es similar al de arrastre, pero con el corte a partir de uno de los lados del túnel disponiéndose los taladros en forma de un abanico (divergente en el fondo). También se le denomina “corte de destroce” porque se basa en la rotura de toda la cara libre o frente de ataque del túnel. Poco utilizado, requiere cierta anchura para conseguir el avance aceptable.
- e) Corte combinado de cuña y abanico.** Usualmente recomendado para roca tenaz y dura hasta elástica. Útil y muy confiable, aunque es difícil de perforar.
- f) Corte quemado (burn cut).** Comprende a un grupo de taladros de igual diámetro perforados cercanamente entre sí con distintos trazos o Figuras de distribución, algunos de los cuales no

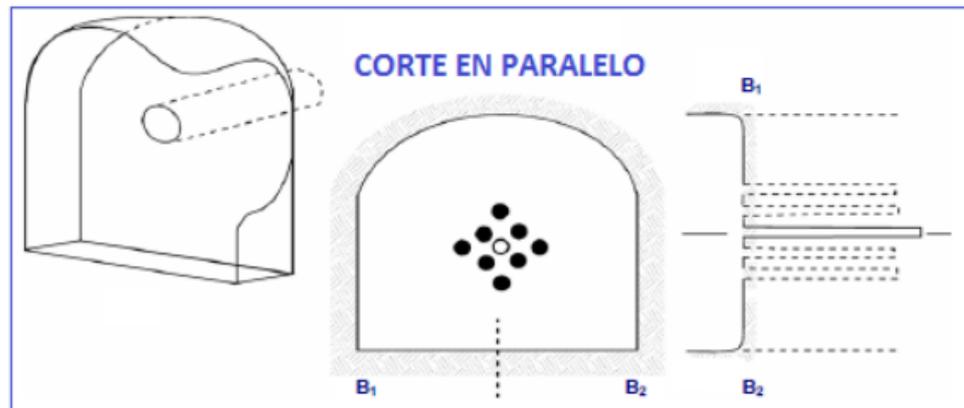
contienen carga explosiva de modo que sus espacios vacíos actúan como caras libres para la acción de los taladros con carga explosiva cuando detonen. El diseño más simple es de un rombo con cinco taladros, cuatro vacíos en los vértices y uno cargado al centro. Para ciertas condiciones de roca el esquema se invierte con el taladro central vacío y los cuatro restantes cargados.

También son usuales esquemas con seis, nueve y más taladros con distribución cuadrática, donde la mitad van con carga y el resto vacío, alternándose en formas diferentes usualmente triángulo, cuadrados y rombos, esquemas más complicados, como los denominados cortes suecos, presentan secuencias de salida en espiral o caracol.

Como los taladros son paralelos y cercanos, las concentraciones de carga son elevadas, por lo que usualmente la roca fragmentada se sinteriza en la parte profunda de la excavación (corte), no dándose así las condiciones óptimas para la salida del arranque, como por lo contrario ocurre con los cortes cilíndricos.

El corte en paralelo se aplica en el presente trabajo de investigación, empleando 05 taladros de alivio y 04 taladros cargados con retardos de 150 ms, en dos etapas lo primordial para lograr buenos resultados con este tipo de corte es lograr el paralelismo en los taladros perforados. Iniciando desde el primer taladro perforado que se inicia en la zona del arranque y terminando en los perímetros, el paralelismo debe mantenerse con respecto al primer taladro perforado y mover el guiador a medida que se va avanzando la perforación teniendo tres guidores como mínimo solo así se controlara el paralelismo.

*Figura N°10
Corte quemado*



Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001.

2.1.4.3. Distribución y Denominación de Taladros.

El trazo o diagrama de distribución de taladros y de la secuencia de salida de los mismos presenta numerosas alternativas, de acuerdo a la naturaleza de la roca y a las características del equipo perforador, llegando en ciertos casos a ser bastante complejo.

Los taladros se distribuirán en forma concéntrica, con los del corte o arranque en el área central de la voladura, siendo su denominación como sigue.

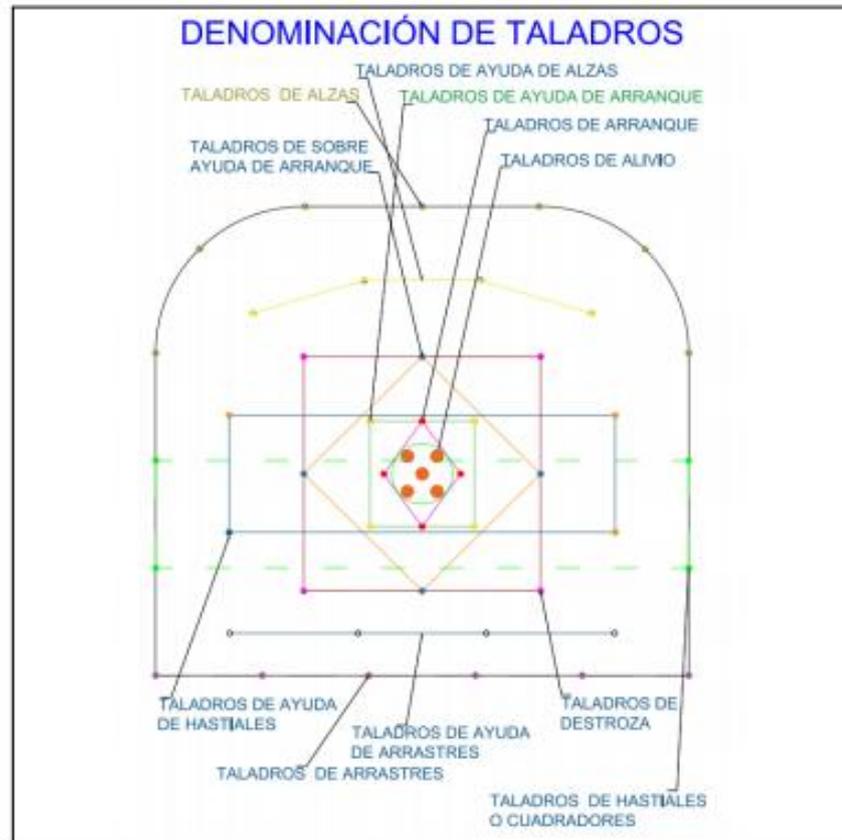
a) Taladros de arranque. La función del arranque es formar la primera cavidad en el frente cerrado de una galería, creando así una segunda cara libre para la salida de los demás taladros, transformándose en un banco anular.

El arranque requiere en promedio 1,3 a 1,5 veces más de carga por taladro para desplazar el material triturado, disminuyendo en proporción las cargas en los cuadradores y alzas (que son los que menos trabajan, ya que actúan por desplome).

b) Taladros de ayuda. Son los taladros que rodean a los de arranque y forman las salidas hacia la cavidad inicial de acuerdo a las dimensiones del frente varían en número y distribución comprendiendo a las primeras ayudas (contracueles), segunda y

terceras ayudas (taladros de destrozo o franqueo) salen en segundo término.

Figura N°11
Denominación de los taladros



Fuente: Tesis Emerson Choque Velarde 2017

- c) **Taladros cuadradores.** Son taladros laterales (hastiales) que forman los flancos del túnel.
- d) **Taladros de alza o techos.** Son los que dan forma al techo o bóveda del túnel. También se les denomina taladros de la corona en voladura de recorte o smooth blasting se disparan juntos alzas y cuadradores, en forma instantánea y al final de toda la tanda, denominándolos en general, “taladros periféricos”.
- e) **Taladros de arrastre o piso.** Son los que corresponden al piso del túnel o galería se disparan al final de toda la tanda. La denominación y ubicación de los taladros se detalla en la Figura N°10 en donde se puede ver que los taladros se agrupan en grupos de 4 taladros de acuerdo al diseño para una sección de 2.2 x 2.2m

(para nuestro caso).

Para lograr el mejor acoplamiento con la pared interior que permita transferir la onda de choque a la roca. Explosivo suelto, presencia de vacíos o desacoplamiento disminuyen enormemente este efecto.

- **Cara libre.** Es indispensable para la formación y retorno de las ondas de tensión reflejadas que provocan la fragmentación. Si la cara libre es inadecuada la voladura será deficiente y si no hay cara libre las ondas de compresión viajarán libremente sin reflejarse, difundiéndose a la distancia solo como ondas sísmicas.
- **Distancia del taladro a la cara libre.** También denominada línea de menor resistencia o burden. Debe ser adecuada para cada diámetro de taladro. Si es muy larga la reflexión de ondas será mínima, e incluso nula y la fragmentación se limitará a la boca o collar del taladro como craterización. Si estas condiciones son adecuadas, el empuje de los gases sobre la masa de la roca en trituración provocará además la formación de planos de rotura horizontales, a partir de la cara libre como resultado de los esfuerzos de tensión producidos cuando la roca llega a su límite de deformación elástica y a la deformación convexa de la cara libre, donde se forman grietas de plegamiento, de las que nacen los planos de rotura horizontales mencionados. Este proceso se denomina rotura flexural. En el momento de la flexión de la cara libre se produce además cierta proporción de rotura por descoste. (EXSA, 2001).

2.1.5. Cálculos de los Parámetros para el Diseño de Perforación.

2.1.5.1. Cálculo del Burden por el Modelo Matemático de PEARSE

$$B = K_v \times D_e / 1000 \times (PD/RT)^{0.5}$$

Donde :

B = Burden (metros)

Kv = Constante que depende de las características de las rocas (0.7 a 1.0)

De = Diámetro de la carga explosiva (mm)

PD = Presión de detonación del explosivo (kg/cm²)

RT = Resistencia a la Tracción (kg/cm²)

La constante **Kv**, se puede determinar a partir del Índice de calidad de la roca (RQD)

$$Kv = 1.96 - 0.27 \times Ln (ERQD)$$

$$ERQD = RQD \times \text{Factor de corrección (JSF)}$$

Factores de corrección para estimar las resistencias de las fracturas:

DENSIDAD DEL DESMONTE	TIPO DE ROCA		
	SUAVE	MEDIA	DURA
dr1 (Gr/cm ³)	1.80	2.00	2.40

Estimación de la Calidad	Factor de Corrección (JSF) a el (RQD)	
Fuerte	0.070	Dura
Medio	0.069	Media
Débil	0.068	Suave
Muy débil	0.067	Suave

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001

2.1.5.2. Cálculo del Espaciamiento

$$S = Ks \times B$$

	TIPO DE ROCA		
	SUAVE	MEDIA	DURA
Ks	1.26	1.23	1.2

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001

Donde:

B= Burden

2.1.5.3. Cálculo del Número de Taladros:

El N° de taladros a perforar con la siguiente fórmula, la misma que también se aplica de acuerdo a nuestra sección de excavación, también se considera una constante que, de acuerdo al tipo de roca varia, se debe elegir el dato que corresponde a las características del macizo rocoso que se encuentran en distintas bibliografías, con respecto a nuestro tema de investigación.

En el cuadro, tenemos los valores de “C”, coeficiente o factor de roca según tipo de roca que se tiene en los frentes de trabajo en nuestro caso se considera para un tipo de roca dura y con el valor que corresponde se calcula el número de taladros a perforar.

Cuadro N° 07

Coeficiente o factor de Roca

c =	2.0	Dura
	1.5	Intermedia
	1.0	suave

Fuente: Manual práctico de voladura EXSA, 2001

$$\mathbf{N^{\circ} Tal = (P / dt) + (c \times A)}$$

Donde:

N° : Número de taladros

P : Perimetro de la sección del túnel

Dt : Distancia entre taladros

C : Coeficiente o factor de roca (C)

A : Area de la sección del túnel

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. EL PROBLEMA

3.1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La mina de estudio, Unidad Minera Alpacay, es un yacimiento aurífero, mesotermal, filoniano de oro, cuyo cuerpo mineralizado se presenta en forma de vetas tipo Rosario, Bolsonadas (clavo mineralizado), con una producción diaria de 80 Ton., con leyes aproximadas de entre 15 y 20 g. de Au por tonelada, con un Sistema de Explotación Subterráneo y Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente Convencional. Específicamente el estudio que quiere realizar, es de la GA-475E (Galería Principal de la Zona “Esperanza”) del Nivel 2050.

Para producir 80 toneladas diarias, una de las primeras actividades en la operación, son la perforación y voladura, de los cuales muchos trabajos posteriores dependen de ellas. Dicho así, ésta empresa tiene la necesidad de cumplir con el programa de avance, tales como labores de exploración, desarrollo y preparación, teniendo en cuenta que el mayor porcentaje del programa de avance es la explotación. Estas actividades son destinadas a ejecutarse con eficiencia, cuidando la significación de la producción según su programa.

La Unidad Alpacay trabaja con un diseño de malla de perforación y

voladura basado en conocimientos empíricos, sin ninguna ecuación matemática que involucre la calidad de roca y otros parámetros cuantificados como variables. Los efectos que conlleva esta situación, son:

- Deficiencias en el modo de perforación, falta de paralelismo de los taladros, longitud incompleta de los mismos, variaciones en la inclinación de los taladros, inadecuada cara libre o insuficientes taladros de alivio, inadecuados espaciamiento y burden.
- Deficiencias en el secuenciamiento de los tiempos de retardo en la malla de voladura, el secuenciamiento de los tiempos retardo en los faneles debe iniciarse siempre desde la cara libre y en orden progresivo hasta el último grupo de taladros que explotará.
- Se debe realizar necesariamente voladuras secundarias, producto de la presencia de tiros cortados y soplados, bancos de gran dimensión que generan una condición sub estándar.

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

3.1.2.1. Problema General:

¿Cómo diseñar la malla de perforación según el estudio geomecánico de la GA-475E del nivel 2050 en la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016?

3.1.2.2. Problemas específicos:

- a. ¿Se han tomado en cuenta los parámetros geomecánicos del macizo rocoso para el correcto diseño de la malla de perforación de la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016?
- b. ¿Cómo determinar los parámetros de voladura para el diseño de la malla de perforación en la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016?

3.1.3. Objetivos

3.1.3.1. Objetivo General:

Diseñar la Malla de Perforación aplicando la Geomecánica en la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016.

3.1.3.2. Objetivos Específicos:

- a. Determinar los atributos geomecánicos para el correcto diseño de la malla de perforación marcado de la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016.

- b. Determinar los parámetros de perforación para el diseño de malla en la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016.

3.1.4. Justificación de la Investigación

El principio de una buena voladura se fundamenta en un buen diseño de malla y supervisión al proceso de perforación, es el primer paso para aperturar labores de acceso al yacimiento y poder explotar el mineral, por tanto, la Geomecánica juega un papel importante, porque en base a ello podremos determinar el diseño de malla de perforación de la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.

El sustento de la presente, básicamente es por que los diseños de mallas en la mina son realizados empíricamente sin tener en cuenta alguna ecuación matemática, la calidad de la roca cuantificada, las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso.

Ésta investigación nos permitirá conocer las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, como también la calidad de la roca, y a partir de ello diseñar una malla de perforación adecuada.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis General

La aplicación de la Geomecánica permitirá el diseño de la Malla de

Perforación en la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.

3.2.2. Hipótesis Específicos

- a. Los atributos Geomecánicos determinarán el correcto marcado de la malla de perforación de la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.
- b. Se determinará los parámetros de perforación para el diseño de la malla de perforación en la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.

3.3. VARIABLES

3.3.1. Variable Independiente

Geomecánica.

3.3.2. Variable Dependiente

Diseño de Malla de Perforación.

3.3.3. Operacionalización de Variables

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES		
	DIMENSIONES	INDICADORES	DATOS
VARIABLE -I (Independiente) PARÁMETROS GEOMECÁNICOS	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA	Resistencia Compresiva de la Roca	* Índice de Rebote *Gabinete, etc
		Parámetros del macizo rocoso (RMR)	*Resistencia Compresiva de la roca *Espaciamiento de juntas *Apertura *Presencia de agua *Relleno *Alteración
		Índice de Calidad de Roca (RQD)	* Número de Fisuras *Espaciamiento
VARIABLE-II (Dependiente) DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN	PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	Datos de Perforación	*Diámetro de taladro (mm) *Longitud de taladro (m) *Presión de detonación (kg/cm ²) *Diámetro del explosivo (mm) *Resistencia Compresiva (kg/cm ²) *Densidad de Roca (g/cm ³)
		Diseño de Malla	*Burden (m) *Espaciamiento (m) *Número de taladros

Fuente: Autor Tesis

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo de la Investigación

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación Aplicada, en razón que se utilizaron conocimientos de la Ingeniería Geomecánica, a fin de aplicarlas en el proceso del Diseño de Malla de Perforación.

3.4.2. Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza de la investigación reúne por su nivel, las características de un estudio Descriptivo y Explicativo.

3.4.3. Diseño de Investigación

El diseño de la Investigación es No Experimental-Transversal.

3.4.4. Población y Muestra

a. Población

Según Oseda, Dulio (2008:120) “La población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matrícula en una misma universidad, o similares”.

En el caso de nuestra investigación, la población será el macizo rocoso de la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.

b. Muestra

El mismo Oseda, Dulio (2008:122) menciona que “La muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de ésta”, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (poseer las principales características de la población) la que hace posible que el investigador, que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población”.

Por lo tanto la muestra en nuestra investigación será las rocas del frente de la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC.

3.4.5. Técnicas, Instrumentación de Recolección de Datos

3.4.5.1. Técnicas

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, se hizo un mapeo de la GA-475E, observación y medición para determinar la calidad de la roca, utilizando el Martillo Schdmith, otros datos como son la densidad de la roca, se nos fue proporcionada por el laboratorio de la planta de MYSAC.

3.4.5.2. Instrumentos para la recolección de Datos

Los instrumentos a usarse en la presente investigación serán las tablas, ábacos de las clasificaciones geomecánicas, formatos de

reportes diarios, información del laboratorio de la Mina, datos tomados en el campo sobre el marcado de mallas de perforación, bibliografías y otros.

3.4.6. Forma de Tratamiento de Datos

Para el procesamiento de datos se utilizarán los siguientes que serán proyectados en cuadros comparativos, graficadores, Excel, etc.:

- Número de taladros perforados.
- Distancia del burden, espaciamiento.
- Voladuras deficientes.
- Base de Datos

CAPITULO IV

RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. Cálculo del RMR (Rock Mass Rating)

Determinamos el RMR mediante mapeos geomecánicos en los tramos de avance por voladura.

4.1.1.1. Estimación de la Resistencia a Compresión a Partir de la Dureza al Rebote Schmidt.

A continuación, se muestra los datos obtenidos en el campo:

<i>N° datos</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	PROMEDIO	DESV.
Golpe Yunque:	67	63	64	62	60	62	58	60	60	64	63	62	60	60	60	61.7	2
Calibración:	72.33																
FC:	1.17																

Hallamos la Resistencia Compresiva con el Ábaco:

Datos tomados en campo.

GA 450E	Estación	REBOTE												min	max	DS	PROMEDIO	REBOTE CORREGIDO	RCU (Mpa)	Densidad	
		42	36	34	40	42	42	40	38	45	43	44	34							45	3.4
Caja Techo	E1	42	36	34	40	42	42	40	38	45	43	44	34	45	3.4	40.5	47.6	120	2.7	26.46	
Caja Piso	E2	42	46	42	32	42	42	40	30	46	42	43	30	46	5.1	40.6	47.7	120	2.7	26.46	
Mineral	E3	45	46	50	42	38	46	32	48	40	45	43	32	50	5.1	43.2	50.6	170	3.2	31.36	

Fuente: Autor Tesis

$$\text{El promedio de } \sigma_c = \frac{120+120+170}{3} = 137 \text{ MPa}$$

Valoración: 12

4.1.1.2. Cálculo del RQD (Rock Quality Designation) para la GA-450 E.

Para el cálculo de RQD emplearemos la siguiente fórmula:

$$RQD = 100 \times e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

λ : N° de discontinuidades por metro lineal

Reemplazamos en la ecuación:

$$\lambda = \frac{N^\circ \text{ de fisuras}}{\text{span}}$$

*** RQD TECHO:**

$$\begin{array}{l} \text{N}^\circ: \quad 10 \\ \text{Span:} \quad 2.2 \end{array} \quad \lambda = 4.545454545 \quad \longrightarrow \quad 0.634736419$$

$$\text{RQD} = 92.325297$$

*** RQD PISO:**

$$\begin{array}{l} \text{N}^\circ: \quad 6 \\ \text{Span:} \quad 2.2 \end{array} \quad \lambda = 2.727272727 \quad \longrightarrow \quad 0.761300387$$

$$\text{RQD} = 96.892776$$

*** RQD CORONA:**

$$\begin{array}{l} \text{N}^\circ: \quad 13 \\ \text{Span:} \quad 2.2 \end{array} \quad \lambda = 5.909090909 \quad \longrightarrow \quad 0.55382358$$

$$\text{RQD} = 88.108297$$

Obtendremos:

RQD = 88%

Valoración: 15

4.1.1.3. Espaciamiento de Discontinuidades

- Se determinó el espaciamiento con mayor frecuencia: 30 cm.

Valoración: 10

4.1.1.4. Condiciones de discontinuidades

a. Persistencia

En promedio se observó una persistencia de **1.8 m.** **Valoración: 4**

b. Apertura

Muy angosta < **0.1 mm.** **Valoración: 5**

c. Rugosidad

Rugosa **Valoración: 5**

d. Relleno

Relleno duro < **5 mm** **Valoración: 4**

e. Alteración

Ligeramente **Valoración: 5**

4.1.1.5. Presencia de Agua

Se verificó la presencia de poca agua, por lo tanto está en la condición de:

Húmedo

Valoración: 10

Valoración de la Masa Roca Según el Sistema De Clasificación Geomecánica RMR - Z.T. Bieniawski 1989

Según Criterios de Caracterización Geomecánica de la ISRM, sumamos las valoraciones obtenidas para determinar el RMR:

Figura 10. Resumen de valoración RMR.

FECHA	LABOR	Resistencia a la Compresión	RQD	Espaciamento entre Discontinuidades	CONDICION DE DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	RMR BASICO	GSI
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración			
					15 12 7 4 2	20 15 10 8 5	20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0			
21/09/2017	GA 475	1.- > 250 Mpa 2.- 100-250 Mpa 3.- 50-100 Mpa 4.- 25-50 Mpa 5.- < 25 Mpa	1.- 90-100% 2.- 75-90% 3.- 50-75% 4.- 25-50% 5.- < 25%	1.- >2 m 2.- 0.6-2 m 3.- 200-600 mm 4.- 60-200 mm 5.- < 60 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1 mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5.- Muy abierta > 5.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa 5.- Muy lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No alterada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente alterada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteando 5.- Fluyendo	70	70

Fuente: Autores de Tesis

Entonces, del cuadro N° 03, clasificamos la roca (RMR =70):

CLASE	CALIDAD	RMR
II	Buena	61-80

4.1.2. Cálculo de los Parámetros de Perforación para el Diseño de Malla de la GA-475E.

4.1.2.1. Cálculo del Burden-PEARSE (B):

$$B = K_v \times De/1000 \times (PD/RT)^{0.5}$$

Donde :

B = Burden (metros)

K_v = Constante que depende de las características de las rocas (0.7 a 1.0)

De = Diámetro de la carga explosiva (mm)

PD = Presión de detonación del explosivo (kg/cm²)

RT = Resistencia a la Tracción (kg/cm²)

La constante **K_v**, se puede determinar a partir del Índice de calidad de la roca (**RQD**).

Donde:

$$K_v = 1.96 - 0.27 \times \ln (ERQD)$$

$$ERQD = RQD \times \text{Factor de corrección (JSF)}$$

Calculamos:

* Convertimos los datos para trabajar en las unidades que requiere la fórmula.

De= Dinamita semigelatina 80 de 1"x7" = **25.4 mm**

PD= 91 Kbar **92794.26749 Kg/cm²** (*Manual de Explosivos FAMESA*)

RT= 137 Mpa **1396.989 Kgf/cm²**

ERQD= 6.0789

K_v= 1.472697585

$$B = \mathbf{0.3 \text{ m}}$$

4.1.2.2. Cálculo del Espaciamiento (S):

$$S = K_s \times B$$

	TIPO DE ROCA		
	SUAVE	MEDIA	DURA
Ks	1.26	1.23	1.2

$$K_s = 1.23$$

$$B = 0.3 \text{ m}$$

$$S = 0.4 \text{ m}$$

4.1.2.3. Cálculo de Número de Taladros

$$N^\circ \text{ Tal} = (P / dt) + (c \times A)$$

P: Circunferencia o perímetro de la sección del frente, en m.

Dt: distancia entre los taladros de la circunferencia o perifericos

C: Coeficiente o factor de roca.

A: Dimensión de la sección del túnel en $\text{m}^2 = \text{área}$.

c =	2.0	Dura
	1.5	Intermedia
	1.0	suave

La sección de la labor es de 2.2 m x 2.2m (datos de campo).

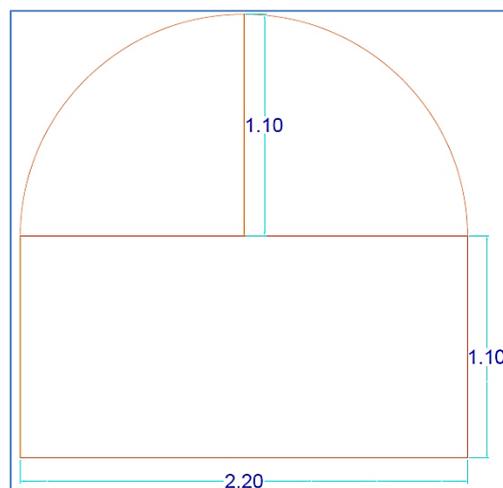


Figura 4.3. Sección de labor de avance.

$$P = 7.86 \text{ m}$$

$$A = 4.32 \text{ m}^2$$

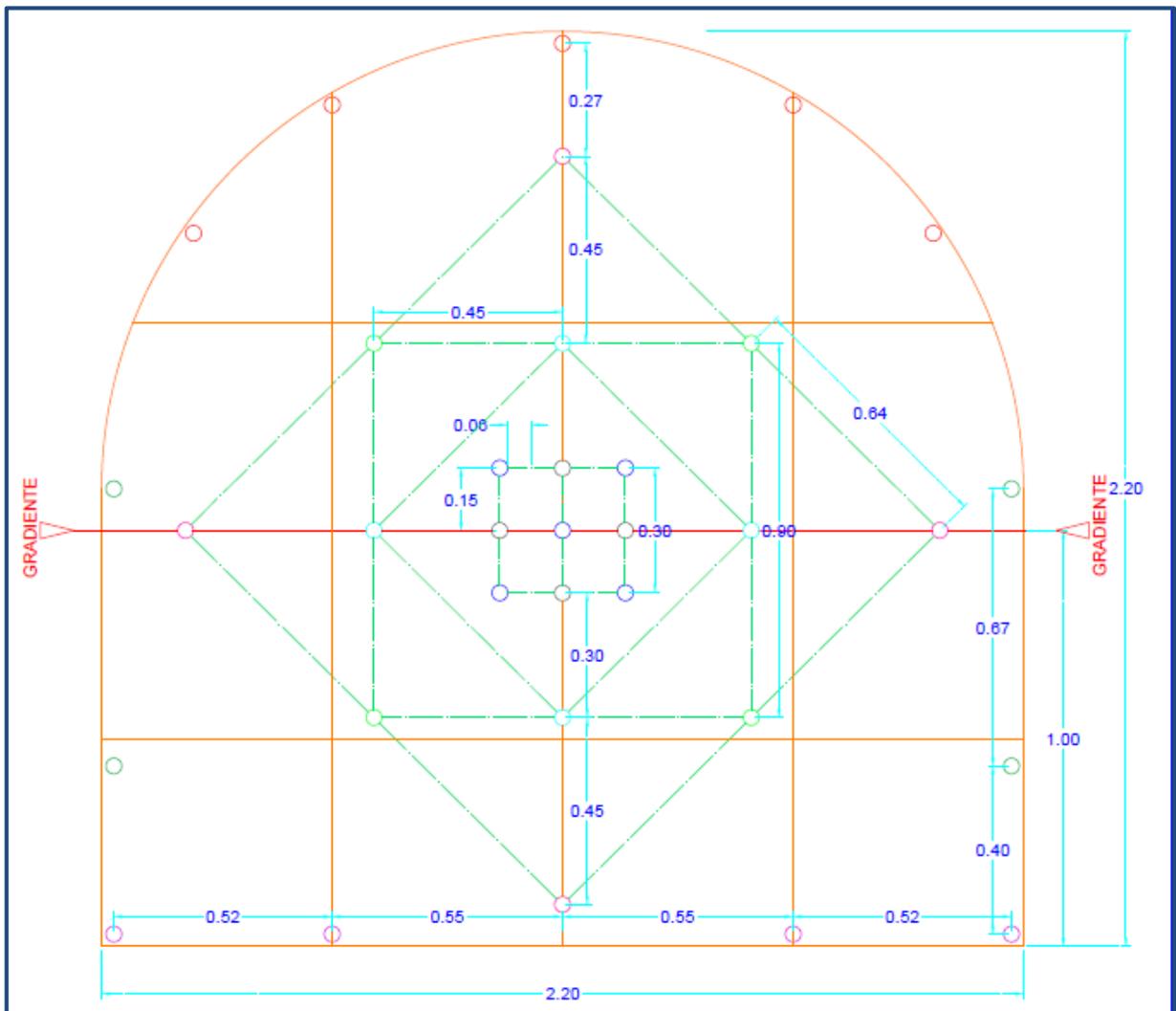
Consideraremos $c = 2.0$, roca dura.

Por lo tanto, reemplazando, el número de taladros es:

$$\boxed{\text{N}^\circ \text{ Tal} = 30}$$

4.1.3. Diseño de Malla de Perforación de la GA-475E del Nivel 2050

MALLA DE PERFORACION GALERIA 2.2 mts x 2.2 mts ROCA DURA



Fuente: Autores de Tesis

PARAMETROS TECNICOS		
Ancho	2.2	mts
Alto	2.2	mts
Tipo de roca:	DURA	
Tipo de material:	Desmante	
Densidad:	2.66	TM/m ³
Diametro de taladro:	38	mm

Fuente: autor de Tesis.

PERFORACION		
N° Taladros cargados:	30	tal
N° Taladros alivio:	4	tal
N° total de taladros:	34	tal
Long. Barrenado (6 pies):	1.8	mts
Tiempo de perforacion:	2h 43min	horas
Avance por disparo:	1.6	m/disparo
Long. Perf. Efectiva:	1.7	m / taladro
metros perforados:	57.8	mts
pies perforados	204	pies

Fuente: autor de Tesis.

EFICIENCIA		
Rendimiento en perforacion:	94	%
Rendimiento en voladura:	94	%
Volumen:	7.744	m ³
Tonelaje:	20.60	TM
Velocidad media de perforacion:	1.252	pies/minuto
Factor de carga:	2.114	Kg / M ³
Metros/hombre guardia	0.57	mts/hg

Fuente: autor de Tesis.

CARACTERISTICAS DEL EXPLOSIVO		
Descripcion	cart/caja	kg/cart
Semexsa 80%	292	0.086
Exadit 65%	308	0.081

Fuente: autor de Tesis.

Distribucion de taladros	N° Taladros		Cantidad de cart.		Accesorios		Peso (kg)
	cargados	vacios	Semx. 80%	Exadit 65%	Cannex	M. Rap.	
Arranque	5	4	5	25	5	6	2.46
1RA Ayuda	4		4	20	4		1.97
2DA Ayuda	4		4	20	4		1.97
Ayuda de Cuadradores	4		4	20	4		1.97
Cuadradores	4		4	20	4		1.97
Arrastre	4		4	20	4		1.97
Corona	5		5	25	5		2.46
Sub total	30	4	30	150	30	6	14.74
Total	34		180		30	6.00	
	Factor de carga (kg/m3)			1.83			
	Factor de carga lineal (kg/mts)			9.21			

Fuente: autor de Tesis.

4.1.4. Análisis e interpretación de la información (contrastación de hipótesis)

4.1.4.1. Análisis de hipótesis general

“La aplicación de la Geomecánica permitirá el diseño de la Malla de Perforación en la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC”.

Los resultados obtenidos mediante el estudio geomecánico que se realizó permitió el diseño de Malla de perforación, y se aprecia una notable reducción de incidencias en cuanto a voladuras deficientes. Se mejora también los avances lineales en todas las labores en general y son cicladas normalmente tema que antes de la aplicación del nuevo diseño no se lograba; se logra alcanzar el cumplimiento del planeamiento mensual en cuanto a metros lineales.

4.1.4.2. Análisis de hipótesis específicas

- “Los atributos Geomecánicos determinarán el correcto marcado de la malla de perforación de la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC”.

Para demostrar la hipótesis específica nos basamos en los trabajos que se hizo en el campo, el mapeo geomecánico y el correcto marcado de malla, los resultados obtenidos en las pruebas realizadas durante el tiempo que duró la ejecución del presente trabajo, como también a los reportes diarios de avances lineales de la GA-475 del Nivel 2050.

- “Se determinará los parámetros de perforación para el diseño de Malla

de la GA-475 del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC”.

De la misma manera para determinar los parámetros de perforación, fue necesario investigar los parámetros de la roca.

4.1.5. Discusión de Resultados

Las propiedades estructurales del macizo rocoso son las que más afectan la perforación y voladura. Las características geomecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades que no podemos cambiar en el diseño de la voladura, el esquema que se debe amoldar a dichas propiedades de manera que sea óptimo, esto se logra calculando parámetros de la roca, y de perforación.

Con el nuevo diseño de malla de perforación se ha reducido el número de taladros, de 36 taladros cargados a 30 taladros, del mismo modo al implementar y estandarizar el nuevo diseño de perforación mediante el estudio geomecánico, se reduce las incidencias de voladuras deficientes notablemente, se mejora también los avances lineales y se cumple los planeamientos mensuales y semanales. *Ver las siguientes figuras.*

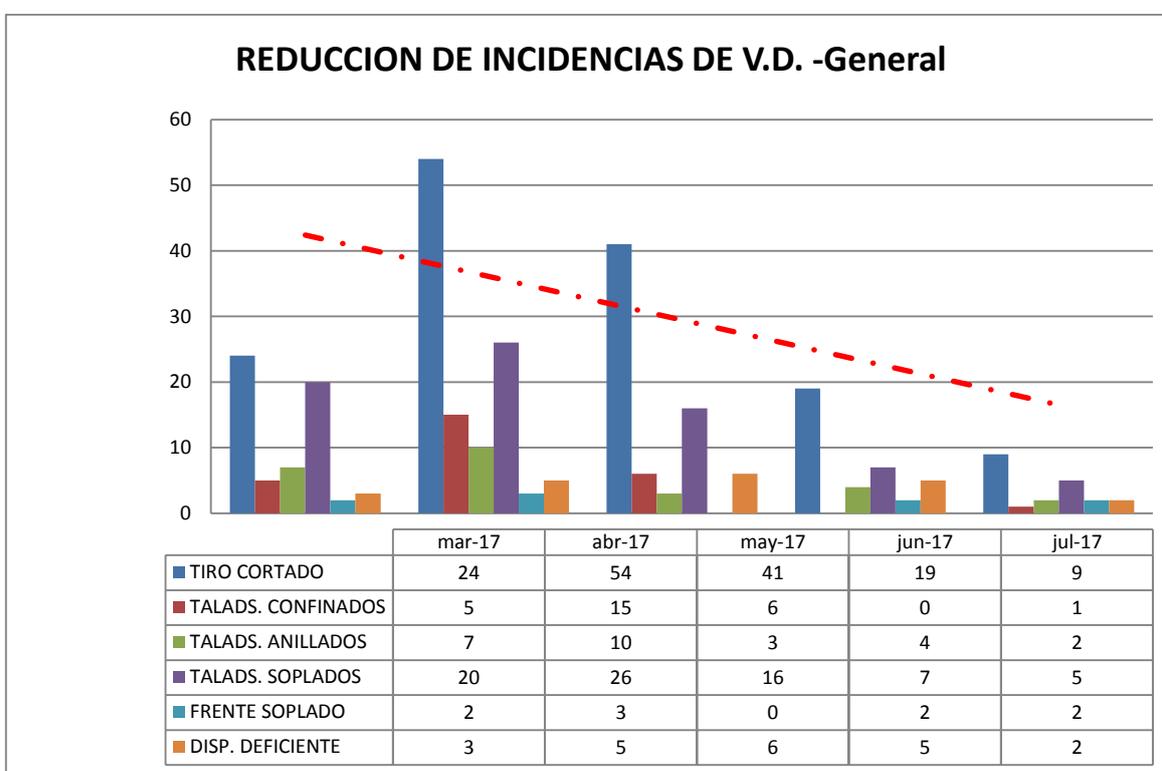


Figura 4.10. Resultados de la hipótesis es la notable reducción de incidencias.

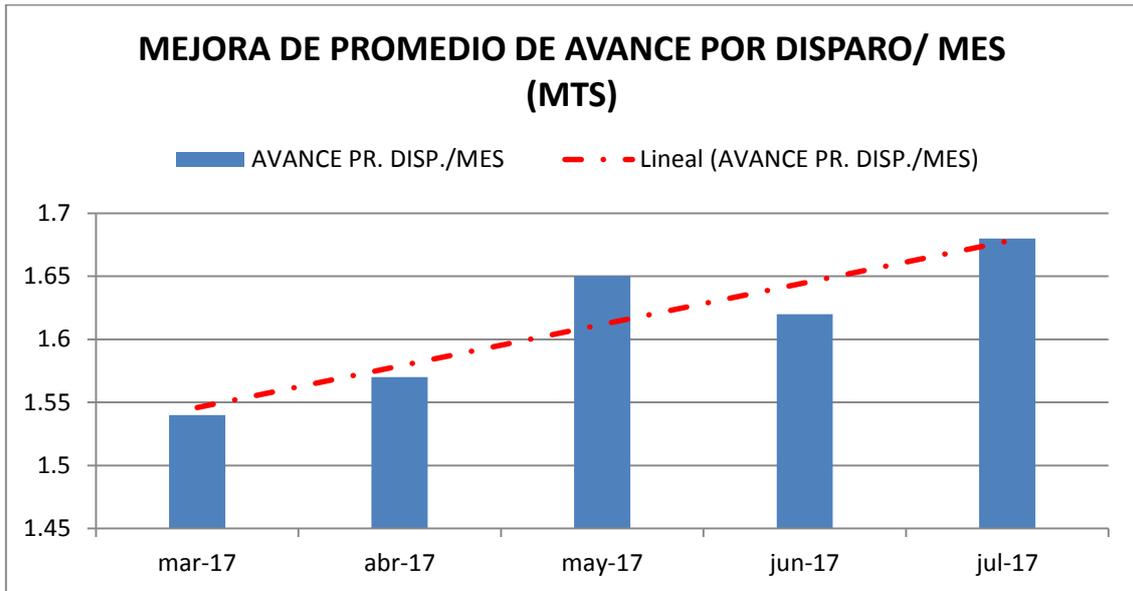


Figura 4.11. Mejora de avance lineal.

MES	TIRO CORTADO	TALADS. CONFINADOS	TALADS. ANILLADOS	TALADS. SOPLADOS	FRENTE SOPLADO	DISP. DEFICIENTE	PROMEDIO
mar-17	24	5	7	20	2	3	10
abr-17	54	15	10	26	3	5	19
may-17	41	6	3	16	0	6	12
jun-17	19	0	4	7	2	5	6
jul-17	9	1	2	5	2	2	4
TOTAL ACUMULADO	147	27	26	74	9	21	51

Figura 4.12. Reduccion de incidencias en promedio/mes.

MES	AVANCE (MTS)
mar-17	1.54
abr-17	1.57
may-17	1.65
jun-17	1.62
jul-17	1.68
PROMEDIO	1.61

Figura 4.13. Mejora de avance lineal en promedio/ mes.

CONCLUSIONES

1. Se demostró que la aplicación de la perforación basada en las clasificaciones geomecánicas ha influido significativamente en la reducción de incidencias en las voladuras en la GA 475E de la empresa MYSAC.
2. Los atributos geomecánicos hallados, permitió el diseño de malla de perforación y el correcto marcado. Para que ésta aplicación sea aceptable, debemos realizar evaluaciones geomecánicas constantes en las labores mineras después de cada voladura.
3. Los parámetros de perforación determinados en la labor minera de estudio, mejoró el diseño de malla, la distribución de taladros, el factor de potencia, por ende la fragmentación de la roca la cual facilita la limpieza, carguío, acarreo y transporte.

RECOMENDACIONES

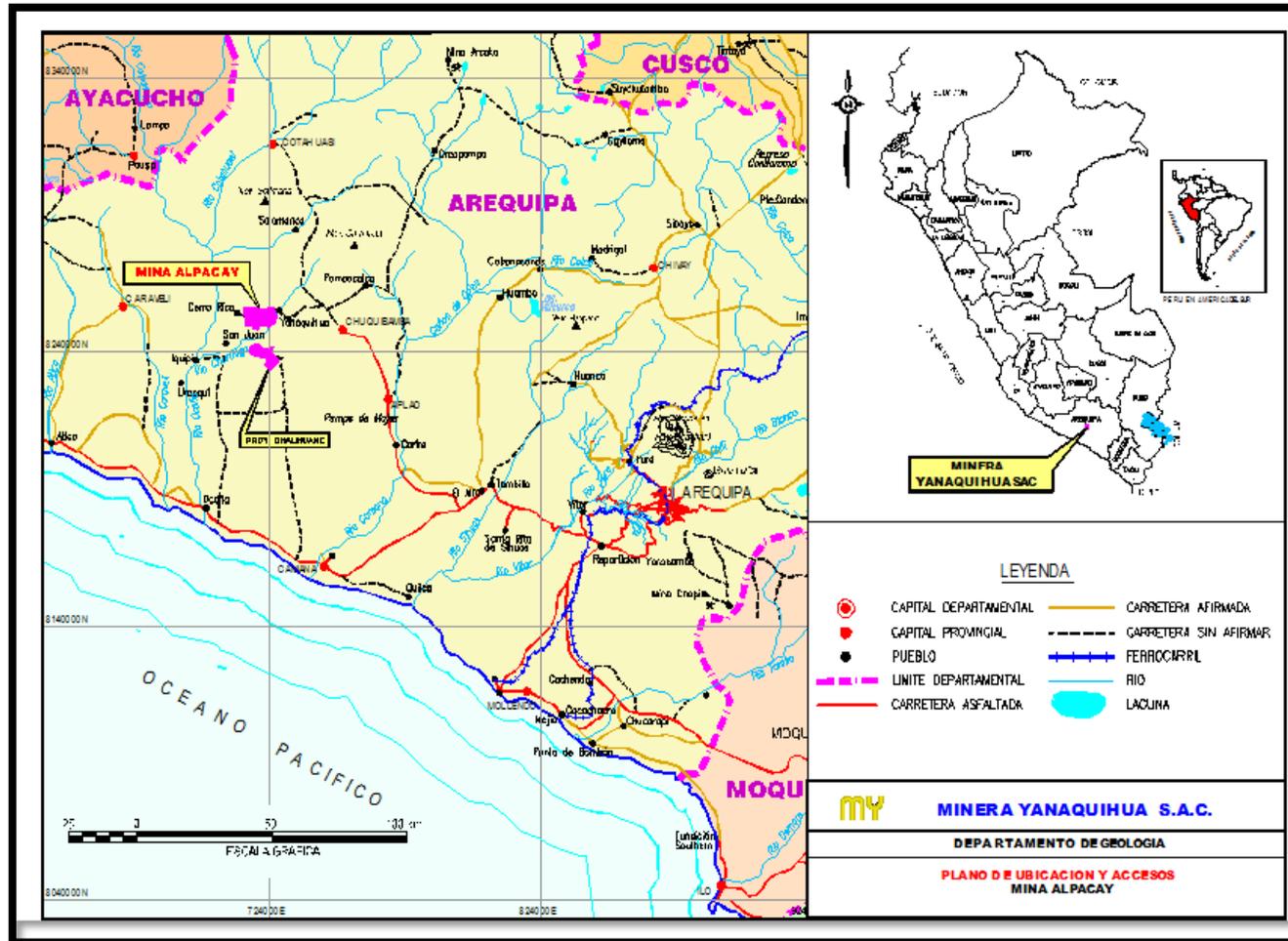
1. Realizar controles geomecánicos periódicos después de cada voladura para tener datos actualizados y conocer el comportamiento del macizo rocoso.
2. Utilizar siempre los taladros de alivio para lograr un avance óptimo en la voladura.
3. Capacitar al personal de la Compañía Minera MYSAC en el marcado de la malla de perforación.
4. Diseñar la malla adecuada en base a los resultados obtenidos de las clasificaciones geomecánicas.
5. Realizar el marcado del frente de perforación para distribuir bien los taladros de acuerdo al burden y espaciamiento calculado.

BIBLIOGRAFÍA

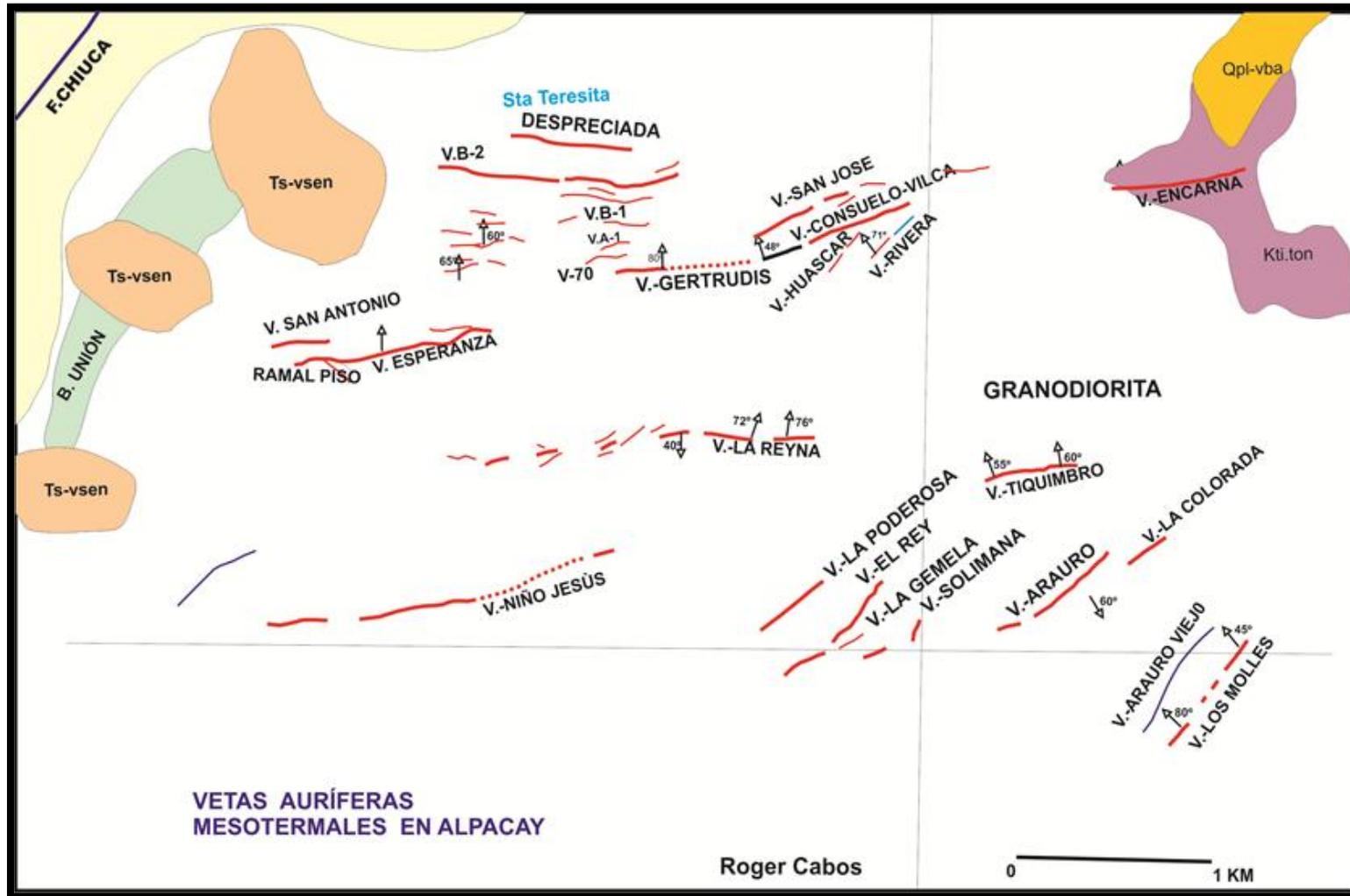
1. Carlos Arturo Pérez Macavilca (2008) - “Manual de geomecánica en minería subterránea”.
2. Carlos López Jimeno/ Emilio López Jimeno (2003) - "Manual de perforación y voladura de rocas".
3. Bieniawski, Z. T, (1989) - “Engineering Rock Mass Classifications”
4. EXSA. (2009) – “Diseño de voladuras subterráneas, tuneles y galerías”.
5. EXSA 2009 - “Manual Práctico de Voladura”.
6. Bernaola Alonso, Castilla Gómez, & Herrera Herbert, (2013) – “Perforación y Voladura de Rocas en Minería”.
7. Konya Calvin, J. (2000) – “Manual de Voladura”.
8. EXSA S.A. (2001)- “Manual de voladura de rocas”.
9. Oseda Dulio (2008) - “Metodología de la Investigación”.
10. “Modelo matemático de PEARSE”.
11. Instituto Geológico y Minero de España (1987) – “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”.
12. Prof. Francisco Bongiorno “Índice de Calidad de la Roca RQD, Clasificaciones de los Macizos Rocosos Según Barton, Bieniawski y Hoek y Brown”.
13. Dr. Marroquin Peña Roberto (2012) - “Metodología de la Investigación”.
14. Oseda, D. (2008) – “Metodología de la Investigación”.
15. MYSAC – “Plan de Minado MYSAC 2016”.

ANEXOS

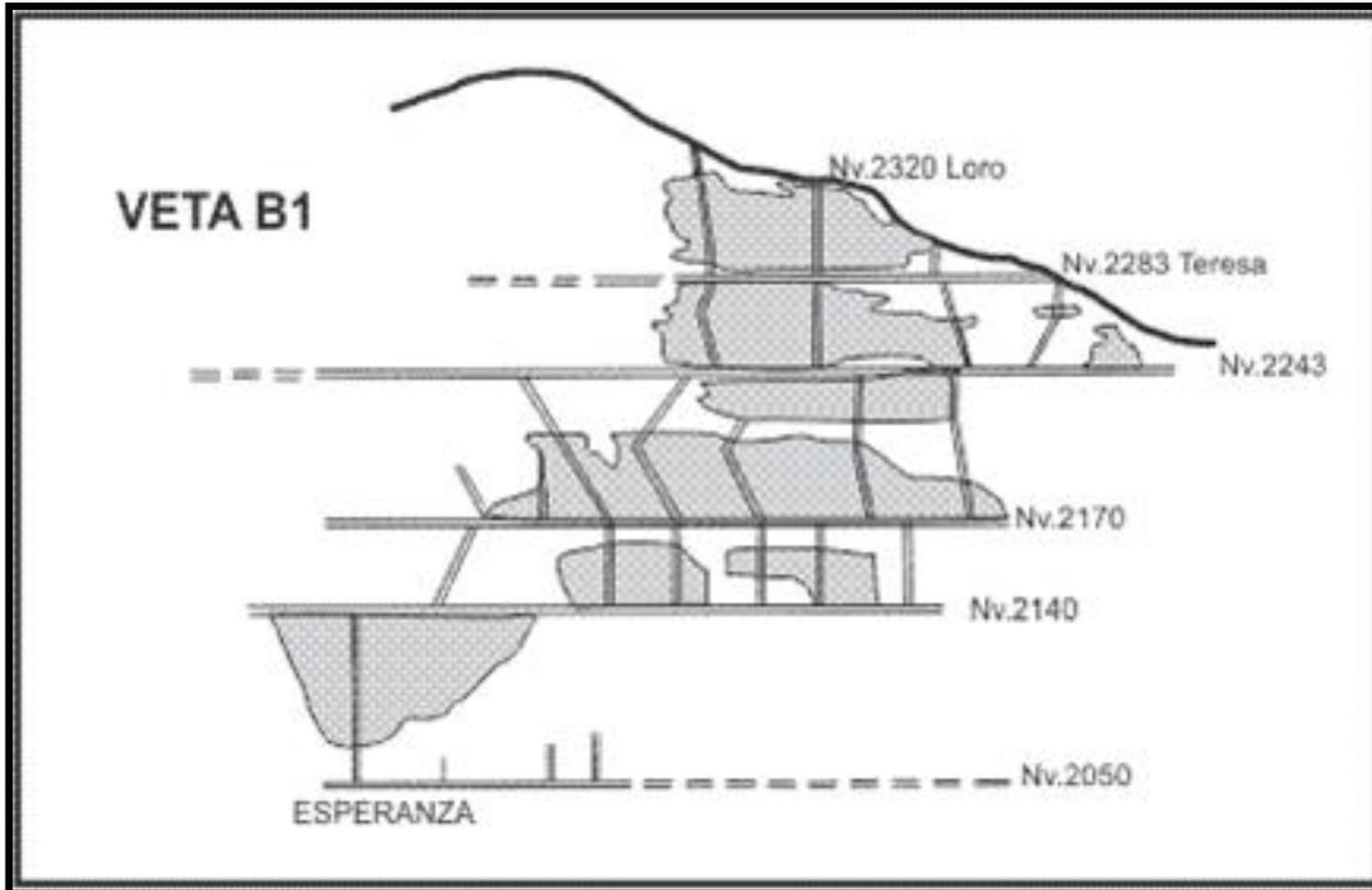
Anexo N°01. Plano de Ubicación y accesos



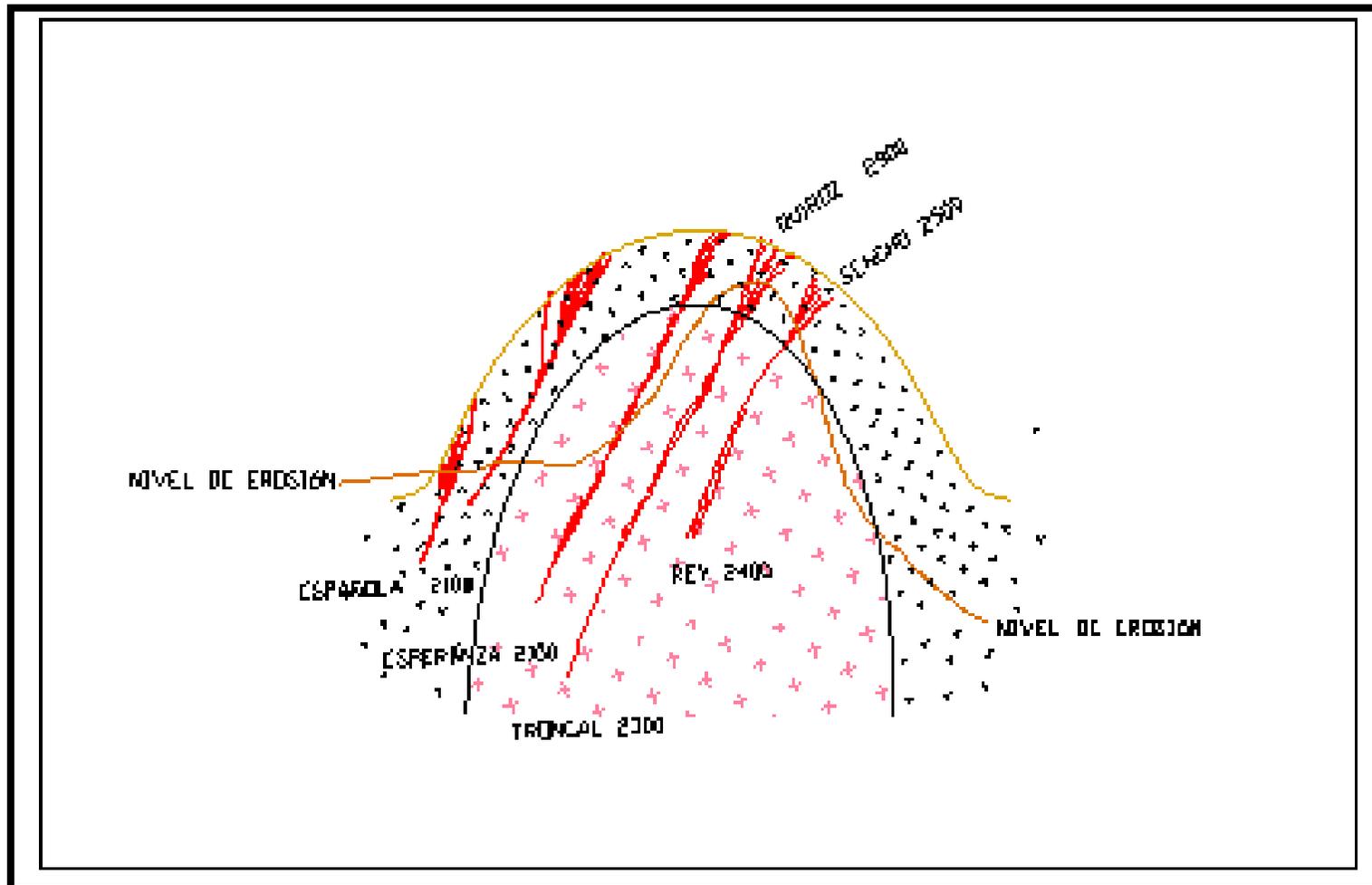
Anexo N°02. Vetas Auríferas Mesotermales de Alpacay



Anexo N°03. Clavo mineralizado de 250 metros de profundidad y 120 m de ancho, errático. Veta B1.



Anexo N° 04. Diagrama idealizado de las estructuras antes y después de la erosión.0020Sección entre los 3000 y 1800 m.s.n.m.



Anexo N° 05. Parámetros de Condición de Juntas.



Anexo N° 06. Toma de datos Rumbo y Buzamiento.



Anexo N° 07. Toma de datos Rumbo y Buzamiento.



Anexo N° 08. Caracterización Geomecánica.



Anexo N° 09. Prueba de rebote con el Martillo Schdmith.



Anexo N°10. Labor Granulometría Adecuada



Anexo N° 11. Pintado de Malla de Perforación



Anexo N° 12. Carguío de frente de trabajo



Anexo N° 13. Amarrado de frente de trabajo.

