



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



OPTIMIZACIÓN DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE CABLE BOLTING EN LA EXPLOTACIÓN DEL TAJEO PAOLA NORTE EN LA U.E.A. TAMBOMAYO - CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. – AREQUIPA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. VICTOR RAUL HUACANI PACO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su apoyo incondicional hacia mi persona para culminar mis estudios universitarios y lograr mi anhelo de ser Ingeniero de Minas.

A mis hermanos y hermanas quienes me apoyaron y alentaron en cada etapa de mi vida estudiantil y así concluir mis estudios superiores

Victor Raul Huacani Paco



AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por conceder la vida y salud para continuar mis estudios superiores. A mi Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por brindar las aulas universitarias para culminar mi profesión y lograr mi título profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas al personal docente y administrativo por transmitir los conocimientos académicos - científicos y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

Mi profundo agradecimiento a la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa, por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación.

Victor Raul Huacani Paco



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN11

ABSTRACT12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA13

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA14

1.2.1. Problema general 14

1.2.2. Problemas específicos 14

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....14

1.3.1. Hipótesis general..... 14

1.3.2. Hipótesis específicas 15

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....15

1.4.1. Objetivo general..... 15

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN18

2.2. BASES TEÓRICAS20

2.2.1. Estudio Geomecánico del macizo rocoso de la Mina Tambomayo20

2.2.2. Condiciones geomecánicas..... 21

2.2.3. Clasificación geomecánica. 21

2.2.4. Características del sostenimiento a instalar 23

2.2.5. Características de la roca..... 28

2.2.6. Masa rocosa 29



2.2.7. Criterios según las características del fracturamiento.....	30
2.2.8. Criterios según las condiciones de las paredes de discontinuidades	30
2.2.9. Estimación de RQD, RMR, GSI.....	31
2.2.10. Mecánica de rocas.....	38
2.2.11. Mapeo geomecánico.....	39
2.2.12. Sostenimiento por método geomecánico.....	40
2.2.13. Pernos de roca.....	41
2.2.14. Split set.....	41
2.2.15. Tipos de split set	44
2.2.16. Malla electro soldada	45
2.2.17. Sostenimiento en minería subterránea	47
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	49

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO	52
3.2. POBLACIÓN.....	53
3.3. MUESTRA	53
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
3.4.1. Variable independiente.....	53
3.4.2. Variable dependiente.....	53
3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	54
3.5.1. Técnicas para el procesamiento de la información	54
3.6. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	55
3.7. TITULAR MINERO.....	57
3.8. CONCESIONES MINERAS	57
3.9. CLIMA	58
3.10. GEOLOGÍA.....	59
3.11. GEOLOGÍA REGIONAL	59
3.12. GEOLOGÍA LOCAL	60

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL TAJEO PAOLA NORTE.....	65
4.2. INSTALACIÓN DE CABLE BOLTING	65



4.3. ELEMENTOS UTILIZADOS PARA INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO	68
4.4. CICLO DE MINADO CON EL SOSTENIMIENTO DE PERNO SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA	69
4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	71
4.5.1. Costo de compra de perno Split set y malla electrosoldada.	71
4.5.2. Costo de instalación de sostenimiento, perno Split set y malla electrosoldada	72
4.6. COSTO DE COMPRA DE CABLE BOLTING.....	74
4.7. COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO DEL SISTEMA CABLE BOLTING	75
4.8. COSTO DE PERNO SPLIT Y MALLA ELECTROSOLDADA VS. COSTO DE CABLE BOLTING	77
V. CONCLUSIONES	81
VI. RECOMENDACIONES	82
VII. BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS.....	85

Área: Ingeniería de Minas

Línea: Análisis de costos mineros.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de diciembre de 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos de clasificación de macizos rocosos.....	23
Tabla 2: Relación RQD – Calidad de roca.	32
Tabla 3: Valores de clasificación del RMR.....	34
Tabla 4: Características físico-mecánicas de la malla.....	46
Tabla 5: Características físicas de la malla electro soldada.....	46
Tabla 6: Operacionalizacion de variables.....	54
Tabla 7: Coordenadas geográficas de la U.E.A Tambomayo.....	55
Tabla 8: Rutas de acceso a la unidad Tambomayo	55
Tabla 9: Tiempo de minado con sostenimiento perno Split set malla electrosoldada	70
Tabla 10: Tiempo de minado con sostenimiento Cable Bolting.....	71
Tabla 11: Costo de mano de obra Tipo de cambio 1\$US = 3.34	72
Tabla 12: Costo de equipo de sostenimiento con perno Split set y malla	72
Tabla 13: Costo de materiales de sostenimiento.....	73
Tabla 14: Costo implementos de seguridad.....	73
Tabla 15: Costo de mano de obra Tipo de cambio 1\$US = 3.34.....	75
Tabla 16: Costo de equipo de sostenimiento Cable Bolting.....	75
Tabla 17: Costo materiales de sostenimiento Cable Bolting.....	76
Tabla 18: Costo implementos de seguridad.....	76
Tabla 19: Evolución de precios de perno Split set, malla electrosoldada y Cable en US\$	78
Tabla 20: Costo de explotación de sostenimiento con split set y malla electrosoldada.	79
Tabla 21: Costo de explotación de sostenimiento con cable bolting	79



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Ubicación de la UEA Tambomayo	56
FIGURA 2: Vista en planta de las vetas de la U.E.A. Tambomayo	61
FIGURA 3: Vista de perfil longitudinal de las vetas en la U.E.A. Tambomayo.....	62
FIGURA 4: Diámetro nominal del cable.....	66
FIGURA 5: Características del cable bolting	67
FIGURA 6 : El tubo de la lechada.	68



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Plano de ubicación.....	86
ANEXO N° 2: Plano de geología local	87
ANEXO N° 3: Columna estratigráfica Unidad Tambomayo	88
ANEXO N° 4: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA(GSI)	89
ANEXO N° 5: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)	90



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Bp:	By Pass
Cm:	Cámara
Cx:	Crucero.
E:	Módulo de deformación
GSI:	Índice de resistencia geológica
Gl:	Galería
MEM:	Ministerio de Energía y Minas
MPa:	MEGAPASCAL
RMR:	Rock Mass Rating
RQD:	Rock Quality Designation
Rc:	Resistencia a la compresión
Rt:	Resistencia a la tracción
Rp:	Rampa
Tj:	Tajos
U.E.A.:	Unidad económica administrativa



RESUMEN

La U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa, está ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes, dentro de la jurisdicción del distrito de Tapay, provincia de Caylloma y departamento de Arequipa, para el sostenimiento de las labores mineras se viene utilizando varios tipos de sostenimiento, en la caja techo del tajeo de explotación Paola Norte se utiliza Perno Split set y malla electrosoldada, según la evaluación realizada tiene problemas de elevados costos en sostenimiento. El costo incurrido es de 22,35 US\$/m² como alternativa se ha planteado el sistema de sostenimiento Cable Bolting y se estima minimizar el costo en un 15%. El objetivo principal del estudio de investigación es optimizar el sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting en la explotación del Tajeo. La metodología para realizar el estudio de investigación consiste en su etapa inicial en evaluar todo los costos del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada considerando las ventajas y desventajas, analizando los costos de materiales, instalación, tiempo de duración y seguridad que ofrece el sistema, los datos se han recolectado en las fichas de control. Posteriormente en el estudio de investigación se ha analizado los costos de materiales, instalación, el tiempo de duración y la seguridad que ofrece el sistema de sostenimiento Cable Bolting según las características geomecánicas del macizo rocoso. Finalmente para determinar el tipo de sostenimiento a utilizar se realiza el análisis de los costos de sostenimiento con Perno Split set y malla electrosoldada vs el sistema Cable Bolting.

Palabras claves: Optimización, cable bolting, sostenimiento, costos, productividad.



ABSTRACT

The U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. - Arequipa, is located in the Western Cordillera of the Andes, within the jurisdiction of the Tapay district, Caylloma province and Arequipa department, it is currently exploiting silver, gold and zinc minerals, to sustain the mining work. It has been using various types of support, for the support of the roof box of the Paola Norte exploitation split bolt set and electrowelded mesh are used, according to the evaluation carried out, it has problems of high costs in support. The cost incurred is US \$ 22.35 / m², as an alternative, the Cable Bolting support system has been proposed and it is estimated to minimize the cost by 15%. The main objective of the research study is to optimize sustainability through the Cable Bolting system in the Tajeo Paola Norte farm. The methodology to carry out the research study has consisted in its initial stage in evaluating all the costs of the support system with Split set bolt and electrowelded mesh considering the advantages and disadvantages, analyzing the costs of materials, installation, duration time and safety offered by the system, the data has been collected in the control sheets. Subsequently, the research study analyzed the costs of materials, installation, the duration and the security offered by the Cable Bolting support system according to the geomechanical characteristics of the rock mass. Finally, to determine the type of support to be used, the analysis of the support costs was carried out with a Split Set Bolt and electro-welded mesh vs. the Cable Bolting system.

Kyeywords: Optimization, cable bolting, support, costs, productivity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa, viene explotando el yacimiento mineral, mediante el método de Corte y Relleno Ascendente y para el sostenimiento de las labores subterráneas de explotación está utilizando el sistema de pernos Split set y malla electrosoldada.

En la actualidad al realizar la evaluación en todo el sistema de sostenimiento tiene problemas de elevados costos de sostenimiento debido a la suba de precios de pernos y la malla electrosoldada y elevados costos de instalación. El costo incurrido ha sido de 22.35 US\$/m² mediante el sistema de sostenimiento con pernos Split set y malla electrosoldada y al utilizar el sistema de sostenimiento Cable Bolting se ha minimizado el costo de sostenimiento a 19,02 US\$/m²

Por tanto es necesario optimizar el sistema de sostenimiento mediante la utilización del sistema Cable Bolting el mismo que tiene mayor tiempo de duración y rendimiento en la U.E.A. Tambomayo – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo optimizamos el sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting vs. Perno Split set y malla electrosoldada en la explotación del tajeo Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Cuáles son los costos de sostenimiento con Perno Split set y malla electrosoldada en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.?

b) ¿Cómo minimizamos los costos de sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

c) ¿Cómo optimizamos el sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Mediante el sistema de sostenimiento Cable Bolting vs. Perno Split set y malla electrosoldada se optimizará el sostenimiento en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A



1.3.2. Hipótesis específicas

- a) Los costos del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada son muy elevados en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.
- b) Los costos del sistema de sostenimiento Cable Bolting son menores en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.
- c) Mediante el sistema Cable Bolting se optimizará los costos de sostenimiento en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Optimizar el sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting vs. Perno Split set y malla electrosoldada en la explotación del tajeo Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

Objetivos específicos

- a) Determinar los costos de sostenimiento del sistema Perno Split set y malla electrosoldada en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.
- b) Determinar los costos de sostenimiento del sistema Cable Bolting en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.



c) Optimizar el sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La U.E.A. Tambomayo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.- Arequipa según los estudios y cálculos de cubicación de reservas de mineral, posee un potencial de 645 236 TM de mineral probado y 322 618 TM de mineral probable con minerales de plata, oro y zinc con una ley de 4,60 oz/TC, 6,10 g/TC y 1,50% respectivamente y para la explotación del tajeo Paola Norte se requieren sostenimiento de la caja techo para realizar actividades mineras y garantizar la seguridad de los trabajadores.

La U.E.A. Tambomayo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.- Arequipa, en la actualidad está explotando el tajeo Paola Norte y para el sostenimiento de labores, viene utilizando el sistema de sostenimiento con Perno Split set y malla electrosoldada, generando problemas de elevados costos de sostenimiento y por ende elevados costos de explotación del yacimiento mineral y para superar este problema se ha planteado la aplicación del sistema de sostenimiento Cable Bolting, el mismo que ha generado mejores beneficios económicos para la U.E.A. Tambomayo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.- Arequipa.

Por tanto la ejecución del presente estudio de investigación ha sido de mucha importancia para la Empresa Minera, obteniendo mayor garantía en la seguridad de los trabajadores y minimizando los costos de sostenimiento según las características geomecánicas del macizo rocoso, con lo que se justifica la ejecución



del presente estudio de investigación para la U.E.A. Tambomayo de la Compañía
de Minas Buenaventura S.A.A.- Arequipa.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

Apaza, A. E. O. (1999), en su tesis *Tipos de sostenimiento aplicado en el túnel de aducción tramo dos del proyecto central hidroeléctrica San Gabán II-Puno*, concluye que el proceso de control de sostenimiento es muy importante, con los controles realizados se han corregido algunos errores cometidos en la aplicación de los tipos de sostenimiento utilizado.

Flores, S. E. (2001), en su tesis *Análisis y diseño de soportes en minería subterránea, perno de anclaje más resina en la rampa 523 Mina San Rafael*, concluye que una de las grandes ventajas es, que se pueden aprovechar el cabezal de los pernos de anclaje para colgar las mangas de ventilación, mangueras de agua y aire comprimido. La metodología utilizada ha consistido en evaluar el sistema de sostenimiento de pernos de anclaje, su costo de instalación, tiempo de duración y eficiencia, llegando a un costo de 21.5 US\$/TM.

Sanca, M. E. G.,(2009), en su tesis *Ejecución y sostenimiento de labores de desarrollo en la Unidad Minera Paula SAC*, Concluye que para la estabilización de labores se emplean el sostenimiento con cuadros de madera y pernos de anclaje, previa evaluación geotécnica empleando el sistema GSI. La metodología para realizar el trabajo de investigación consistió en analizar el costo de madera, costo de instalación, tiempo de duración, ventajas y desventajas de la madera y posteriormente se ha analizado el sostenimiento con pernos de anclaje considerando



los costos de los pernos, costos de instalación y tiempo de duración y finalmente se ha realizado el análisis comparativo de los costos de sostenimiento.

Soncco, C. R. G.,(2005) , en su Informe de trabajo Profesional para optar el título Profesional de Ingeniero de minas, cuyo título es: *Experiencias del empleo de sostenimiento práctico minero en la Cia. Minera Huaron*” del distrito de Huayllay, Provincia y Departamento de Pasco, en el trabajo describe las experiencias adquiridas en el empleo de sostenimiento práctico minero, en el método de explotación por corte y relleno Convencional y Mecanizado, para determinar el tipo de soporte y el tiempo en el que se debe colocar, para evitar la ocurrencia de desprendimiento de bloques de roca, los que causan serios accidentes humanos y pérdidas económicas muy perjudiciales en operaciones subterráneas, y describe el diseño de soporte y clasificación geomecánica según el GSI, modificado y el mapeo geomecánico y partes diarios de control.

Torres, C. C.E., (2011), en su tesis *Análisis del sistema de sostenimiento con perno Split Set y malla electrosoldada aplicado en labores de explotación en la Unidad Minera El Cofre CIEMSA*. Concluye que con el uso del sistema de sostenimiento Perno Split Set y malla electrosoldada es más económico que el uso de puntales de madera en el sostenimiento de labores, en consecuencia la Unidad Minera El Cofre obtiene mejores beneficios económicos.



2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estudio Geomecánico del macizo rocoso de la Mina Tambomayo

El presente estudio es la Actualización del Modelo Geomecánico estructurado el año 2015, basado en la información de las nuevas perforaciones diamantinas y nuevas excavaciones de apertura dentro de las operaciones, ejecutadas durante los años 2015 – 2017; Compañía de Minas Buenaventura solicitó a VICOR INGENIEROS S.A.C. la actualización de este estudio, seguido a ello se ha tenido la actualización del estudio geomecánico por la Empresa Consultora DCR Ingenieros con fecha 23 de Julio del 2018, encargo que incluye la elaboración de un modelo de bloques de parámetros geomecánicos en el programa VULCAN.

El objetivo fundamental del presente estudio esta direccionado básicamente a la Actualización del Modelo Geomecánico de la Mina Tambomayo, además de cambiar el formato del modelo con el uso del software computacional VULCAN; el cual implica la consolidación de la información geomecánica existente y actualización de la caracterización geomecánica del macizo rocoso que conlleva plasmar finalmente en un modelo de bloques de RMR y RQD.

- Mapeo geomecánico de labores subterráneas por el método de celdas y línea de detalle, de un tramo aprox. de 600 m de galería sobre veta, donde se levantaron 60 estaciones geomecánicas (mapeo por celdas) y 24 mediciones de línea de detalle distribuidos en la caja techo, mineral y caja piso de la estructura mineralizada.



2.2.2. Condiciones geomecánicas

Masa rocosa muy buena: Condiciones geomecánicas muy favorables para el minado

Masa rocosa buena: Condiciones geomecánicas favorables para el minado.

Masa rocosa regular: Condiciones geomecánicas regulares para el minado.

Masa rocosa mala: Condiciones geomecánicas desfavorables para el minado.

Masa rocosa muy mala: Condiciones geomecánicas muy desfavorables para el minado.

2.2.3. Clasificación geomecánica.

Las clasificaciones geomecánicas tienen por objeto caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor.

Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma. Es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas pero debe ser usada con cuidado para su correcta aplicación, pues exige conocimientos y experiencia por parte de quien lo utiliza. Las clasificaciones pueden ser usadas en la etapa de proyecto y también durante la obra. En la etapa del proyecto, permiten estimar el sostenimiento necesario en base a las propuestas del autor de cada sistema de clasificación, mientras que durante la obra, permiten evaluar la calidad del terreno



que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso.

La necesidad de construir túneles y labores subterráneas llevo a los ingenieros a buscar una forma práctica de evaluar la calidad de la roca a intervenir desde el punto de vista ingenieril. De diferentes criterios todos ellos provenientes de expertos de indiscutible trayectoria, dieron como resultante una serie de métodos de evaluación y valoración como son:

- Clasificación de Rabcewicz
- Clasificación de Stini y Lauffer
- Clasificación de Terzaghi
- Clasificación de Protodyakonov
- Clasificación de Deere
- Clasificación (RSR) de Wickman, Tiedemann y Skinner
- Clasificación de Hoek y Brown.
- Clasificación de Laubacher.
- Clasificación Dudek y Galcznski.
- Clasificación Bieniawski(CSIR)
- Clasificación de Barton (NGI)
- Clasificación GSI

La necesidad de unificar criterios llevó a la comparación de los métodos más conocidos y a establecer entre ellos equivalencias, lo cual permitió en cierta manera uniformar la concepción de la calidad de los macizos rocosos o al menos poder efectuar calibraciones más adecuadas. (Ver Tabla 1)

Tabla 1: Métodos de clasificación de macizos rocosos.

METODOS DE CLASIFICACION DE MACIZOS ROCOSOS	
Métodos cualitativos	Terzaghi (1964)
	Lauffer (1958)
	Deer RQD (1964)
	Bieniawski (1973)
Métodos Cual/cuantitativos	Barton, Liem y Lunde Q (1974)
	Jacobsassoc. RMR (1984)

Fuente: Departamento de geotecnia – Universidad Nacional de Córdoba.

A lo largo de los años se han desarrollado y usados varios sistemas de clasificación. Los más antiguos fueron los de Terzaghi, Protodyakonov y Lauffer. Hoy en día básicamente se usan los sistemas, de Bieniawski o RMR, el de Barton o sistema Q y GSI, porque consideran en sus fórmulas más variables de las características de la roca, dando como resultado ser más precisos en la valoración del tipo de roca.

2.2.4. Características del sostenimiento a instalar

En la U.E.A. Tambomayo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.- Arequipa, se tiene definido el tipo de sostenimiento a aplicar en las labores de explotación pero para un mejor análisis se describe los índices de clasificación de rocas, entonces para el éxito de un sistema de sostenimiento aplicado a cualquier tipo de labores depende principalmente de dos conceptos: una buena definición del



soporte a instalar y una buena instalación del soporte definido. Partiendo de este punto el sistema de sostenimiento que vamos a utilizar se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Uso que se le dará a la excavación.
- Características geométricas de la excavación
- Características físico-mecánica de la roca intacta.
- Caracterización del macizo rocoso.
- Esfuerzos a lo que está sujeta la excavación.

A. Uso que se le dará a la excavación

En minería subterránea, existen dos tipos de excavaciones, dependiendo del tiempo de uso que se le dará a la labor minera.

- **Permanentes:** Son aquellos que van a perdurar en la vida de la mina.

Ejemplos: Niveles , rampas, chimeneas de ventilación principal.

- **Temporales:** Son aquellos que están abiertas por un lapso de tiempo.

Ejemplos: Tajeos, ventanas hacia el tajeo, chimeneas que son cara libre en tajeos.

B. Características geométricas de la excavación

En base a las dimensiones y forma del yacimiento se define las características geométricas de las excavaciones que incluyen en el diseño del de sostenimiento, las cuales son:



Forma. Depende del diseño que se da en el planeamiento de explotación de la mina que puede ser: circular, rectangular y otros.

Tamaño. Depende del tamaño de las reservas de mineral y cantidad de mineral a extraer y el equipo a utilizar en la extracción.

Orientación. Depende de la forma, rumbo y buzamiento del yacimiento mineral.

C. Caracterización físico –mecánica de la roca intacta

Las principales características físicas a tener en cuenta son los siguientes:

- Densidad
- Peso específico
- Porosidad y permeabilidad.

Sobre la base teórica definida por Hooke y el criterio de ruptura de Mohr Coulomb, la geomecánica establece parámetros intrínsecos para calificar las propiedades de resistencia y deformación de las rocas:

- Resistencia a la compresión (R_c)
- Resistencia a la tracción (R_t)
- Módulo de deformación (E)

D. Caracterización del macizo rocoso

Debido a la variación de las características del macizo rocoso, se requiere de un buen detalle de la información geológica, para ello se deben de



confeccionar modelos geológicos y posteriormente modelos geomecánicos que requiere contar con la información de campo, lo cual consiste en:

- **Orientación.** Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente se registra por un rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o aproximadamente paralelas, se dice que estas forman un sistema o una familia de discontinuidades.
- **Espaciado.** Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Esto determina el tamaño de los bloques de la roca intacta.
- **Persistencia.** Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea esta, será menor estable.
- **Rugosidad.** Es la áspera o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea esta, la masa rocosa será más competente.
- **Apertura.** Es la separación de las paredes rocosas de una discontinuidad, a menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura las condiciones serán más desfavorables.
- **Relleno.** Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando estos son más duros entonces es más competente.



- **Resistencia de la roca.** Considerando la resistencia de la roca a romperse con golpes de la picota la guía práctica de la roca es la siguiente:
 - **Resistencia muy alta**, solo se astilla con varios golpes de la picota, mayor a 250 MPa.
 - **Resistencia alta**, se rompe con tres golpes de la picota, 100- 250 MPa.
 - **Resistencia media** se rompe con uno o tres golpes de la picota, 50- 100 MPa.
 - **Resistencia baja**, se indenta superficialmente con la punta de la picota, 25-50 MPa.
 - **Resistencia muy baja**, se indenta profundamente con la punta de la picota, 5-25 MPa.
- **Agua subterránea.** Filtraciones en la pared rocosa de una galería subterránea, baja la calidad de la roca.
- **Tamaño de bloques.** Esquema de formas de bloques: bloqueado, irregular, tabular y columnar.
- **Grado de la fracturamiento de la masa rocosa.**
 - Masiva levemente fracturada (2 a 6 fracturas /m).
 - Moderadamente fracturada (6 a 12 fracturas/m).
 - Muy fracturada (12 a 20 fracturas/m).
 - Intensamente fracturada (mayor de 20 fracturas/m)



E. Esfuerzos a los que están sujetas la excavación.

Son los esfuerzos que se ubican alrededor de las excavaciones y afectan su estabilidad en mayor o menor grado. Estos son de dos tipos:

- **Esfuerzo insitu**, depende de las condiciones de carga de la masa rocosa, la densidad de la roca y la profundidad de la labor.

$$\sigma = \delta \times Z$$

Donde:

σ = Esfuerzo in-situ

δ = Densidad de roca

Z = Profundidad

- **Esfuerzos inducidos**, son aquellos esfuerzos provocados debido a la presencia de la excavación.

Cuando más grande es la excavación, mayor son estos esfuerzos. La influencia de estos esfuerzos es de 2 a 3 veces el ancho de la excavación.

2.2.5. Características de la roca

La roca es un conjunto de sustancias minerales que formando masas, constituye gran parte de la corteza terrestre.

Según su origen, las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Rocas ígneas, son aquellas que han sido formadas por la consolidación del magma.



Rocas sedimentarias, formadas por la deposición de sedimentos.

Rocas metamórficas, formadas por procesos de altas presiones y temperaturas.

Roca intacta, es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

2.2.6. Masa rocosa

Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa.

Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas, conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación, utilizando el presente manual como una herramienta de clasificación de la masa rocosa.

En situaciones especiales, el supervisor deberá realizar un mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánico, utilizando



métodos como el “registro lineal”, para lo cual debe extender una cinta métrica en la pared rocosa e ir registrando todos los datos referidos a las propiedades de las discontinuidades, teniendo cuidado de no incluir en ellos las fracturas producidas por la voladura.

Los datos se irán registrando en formatos elaborados para este fin, luego serán procesados y presentados en los planos de las labores mineras.

2.2.7. Criterios según las características del fracturamiento

Para clasificar la masa rocosa tomando en cuenta las características del fracturamiento (o grado de presencia de las discontinuidades), se mide a lo largo de un metro lineal cuantas fracturas se presentan, según esto, la guía práctica es la siguiente:

- **Masiva o levemente fracturada:** 2 a 6 fracturas /metro.
- **Moderadamente fracturada:** 6 a 12 fracturas/metro.
- **Muy fracturada:** 12 a 20 fracturas/metro.
- **Intensamente fracturada:** Más de 20 fracturas/metro.
- **Triturada o brechada:** Fragmentada, disgregada, zona de falla.

2.2.8. Criterios según las condiciones de las paredes de discontinuidades

Si tomamos en cuenta algunas propiedades de las paredes de las discontinuidades como la apertura, rugosidad, relleno y meteorización o alteración, la guía de clasificación de la masa rocosa es la siguiente:

Condición muy buena: Si las discontinuidades están cerradas, muy rugosas y están frescas.



Condición buena: Si están ligeramente abiertas, moderadamente rugosas y tienen manchas de oxidación.

Condición regular: Si están moderadamente abiertas, ligeramente rugosas a lisas y presentan oxidación.

Condición mala: Si están abiertas, lisas y presentan relleno blando (por ejemplo limo).

Condición muy mala: Si están muy abiertas, estriadas y tienen relleno de panizo.

2.2.9. Estimación de RQD, RMR, GSI

Para una mejor comprensión de las clasificaciones geomecánicas y su aplicación describiremos los más utilizados en la industria minera, y de fácil aplicación.

A. RQD.

En 1962 Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de roca basado en la recuperación de núcleos con perforación diamantina, denominado el sistema Rock Quality Designation (RQD). Este índice de calidad de roca se ha usado en todas partes, comprobándose de mucha utilidad en la clasificación del macizo rocoso, para la selección de refuerzo en labores subterráneas. RQD se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas esteras de 10 cm. O más, de largo total de barreno.

Por tanto:



$$RQD (\%) = 100 \times \frac{\text{longitud.de.los.nucleos.>.10cm}}{\text{largo.del.barreno}}$$

El RQD debería ser calculado únicamente para testigos individuales, usualmente mayores a 1.5 metros de longitud. Todos estos trozos enteros de testigo o estas partes de roca fracturada se miden y se contabilizan para entonces aplicarlos a una fórmula de cálculo.(ver Cuadro 2

Tabla 2: Relación RQD – Calidad de roca.

RQD	CALIDAD DE ROCA
25%	Muy mala
25-50%	Mala
50-75%	Regular
75-90%	Buena
90-100%	Muy buena

Fuente: Túneles y diseño de excavaciones subterráneas de la UNA – FIM

El RQD puede ser estimado a partir del espaciamiento promedio de las discontinuidades en base a la siguiente ecuación propuesta por Priest y Hudson (1976) experimentalmente, se cumple que la curva de distribución es del tipo exponencial negativa en un gráfico Frecuencia -Espaciamiento:

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

Donde:

λ = Es la frecuencia media de discontinuidades por metro, $\lambda = 1 / (\text{frecuencia de discontinuidades})$ ó

$$\lambda = \frac{\text{Cantidad.dislocaciones}}{\text{Longitud.del.sonido}}$$

El error comprobado es de +/-5%



A partir de la definición del índice de calidad de roca RQD propuesto por Deere en 1964, se propone una simple clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías. La definición de RQD la clasificación de la roca, la relación entre el factor de carga de Terzagui y RQD (propuesta por Cording et al, 1972) y la propuesta de Merrit (1972) para decidir el tipo de sostenimiento en función del RQD.

Crítica: El índice RQD forma parte de otros sistemas más elaborados de clasificación (RMR, Q) pero en sí mismo es insuficiente para describir el macizo rocoso. No tiene en cuenta, por ejemplo, la influencia del relleno de juntas, ni su orientación, ni la presencia de agua o su presión. Por otra parte, en “rocas blancas” masivas el RQD puede aproximarse a 100.

Fórmula alternativa (cuando no hay sondeos): $RQD = 115 - 3.3J_v$, J_v : número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3 .

B. RMR.

Este sistema fue desarrollado por Z.T. Bieniawski en los años 70 siendo reformado en numerosas ocasiones y siendo la actual por el momento la de 1989 que coincide con la de 1979 en bastantes cosas, es un sistema empírico basado en más de 300 casos reales de túneles, galerías, minas, cavernas, cimentaciones y taludes, y usada extensamente por todo el mundo para el sostenimiento de estas construcciones. Se basa en la suma de una serie de parámetros del terreno para evaluar su capacidad y por tanto el sostenimiento necesario, estos parámetros son los siguientes.(ver Cuadro 2.3)

(1) Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada

(2) RQD (existe un sistema basado en este mismo parámetro)

(3) Espaciamiento discontinuidades (fisuras, diaclasas)

(4) Estado de las fisuras

(5) Presencia de agua subterránea

(6) Orientación de las discontinuidades

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)$$

Clasificación de RMR (oscila entre 0 y 100)

Tabla 3: Valores de clasificación del RMR

RMR	Descripción	Clase	Tiempo medio de auto sostenimiento	Angulo de fricción de masa rocosa	Cohesión Kpa
0 – 21	Muy pobre	V	30min./1m de Apert.	< 15°	< 100
21 – 40	Pobre	IV	10 horas/2.5m de Apert.	15 – 25°	100 - 200
40 – 60	Regular	III	1 sem./5m de Apert.	25 – 35°	200 - 300
61 – 80	Bueno	II	1 año/10m de Apert.	35 – 45°	300 - 400
81 - 100	Muy bueno	I	20 años/15mde Apert.	>45°	> 400

Fuente: Enciclopedia libre “Clasificación geomecánica de Bienawiski o RMR

C. Índice de resistencia geológica GSI (Geological Strength Index)

El doctor Evert Hoek publicó en 1994 en el noticiero oficial de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, el artículo titulado “ *Strength of Rock and Rock Masses* ” en el cual introdujo, definiéndolo “Índice de Resistencia Geológica” (*Geological Strength Index*), un nuevo índice de calidad geomecánica para los



macizos rocosos cuyo rango numérico, comprendido entre 0 y 100, se basa en la identificación y clasificación en campo de dos de las características físicomecánicas de un macizo rocoso: La macroestructura, y la condición de las superficies de las discontinuidades.

Lo que más hace interesante el GSI, además de su sencillez y agudeza, es su carácter intrínseco a la geomecánica de los macizos rocosos, toda vez que el mismo no depende de factores extrínsecos cuáles por ejemplo, la orientación, la presentación, la humedad, etc., así como en cambio sucede para la mayor parte de los otros índices de calidad propuestos y utilizados, como por ejemplo el RMR de Bieniawski, el RSR de Wickham y el Q de Barton, ni se reduce a la caracterización casi únicamente geométrica del macizo, por ejemplo ocurre para el RQD de Deere. Quizás el único índice de calidad que posee carácter igualmente intrínseco es el también interesantemente RM_i de Palmstrom; todos mencionados anteriormente. Es efecto tal carácter intrínseco del GSI, que permitió a su autor proponerlo para que fuera utilizado esencialmente para el importante objetivo de estimar y cuantificar numéricamente las principales características geomecánicas de los macizos rocosos, marcando de tal manera un paso gigantesco hacia la resolución de uno de los más álgidos problemas de la mecánica e ingeniería de rocas: El GSI provee un sistema para estimar la reducción de la resistencia y aumento de la deformabilidad de las rocas que se producen al pasar de los materiales a los macizos, al pasar de la caracterización de laboratorio sobre muestras de dimensiones necesariamente muy limitadas a las formaciones naturales dentro de las cuales se realizan las obras de ingeniería que requieren ser numéricamente analizadas, diseñadas o verificadas.



Tal como indica Hock (2004), el GSI ha sufrido diversas modificaciones desde su versión original, siendo una de estas la publicada en 1998 por Hock, y Marinós, donde se amplía el rango del GSI en 5 unidades hacia abajo y 5 unidades hacia arriba, para poder incluir macizos rocosos de calidad extremadamente mala como los encontrados en las excavaciones subterráneas.

Hock (2000) sugiere hacer referencia a un rango y no a un valor único del GSI, también sugiere que para macizos rocosos caracterizados con un GSI mayor a 25 es más conveniente estimar este valor a partir del RMR de Bieniawski, sin incluir el factor de corrección por orientación de las diaclasas y considerando el frente seco; en macizos rocosos de baja calidad con GSI menor a 25, se estima el GSI en base a observaciones de la apariencia física del macizo rocoso, ya que en estas circunstancias es difícil obtener núcleos intactos de rocas mayores a 10 cm para poder determinar el valor del RQD.

Adicionalmente, Russo en 1998 propone estimar el GSI también a partir del índice Q de Barton, depurándolo del factor de tensión (SRF) y asignando un valor de 1 al parámetro agua J_w , obteniendo luego de acuerdo con la pre existente correlación entre Q y RMR; y la correlación entre el GSI y el sistema Q.

Antes de tomar en cuenta los criterios de valoración utilizados para los distintos parámetros. Hay que hacer las siguientes consideraciones:

- **Resistencia de la roca:**

Tiene una valoración máxima de 15 puntos. y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de carga puntual (Point Load).



- **RQD:**

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo.

- **Separación entre continuidades:**

Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.

- **Estado de las discontinuidades**

Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

- **Presencia de agua:**

La valoración máxima es de 15 puntos. Ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros del túnel y relación entre la presión del agua y a tensión principal mayor en la roca.

- **Orientación de las discontinuidades:**

Este parámetro tiene una valoración negativa y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos para túneles. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece



una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde la muy favorable hasta muy desfavorable.

2.2.10. Mecánica de rocas

Es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas, estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas que se encuentran bajo la acción de fuerzas producidas por fenómenos naturales o impuestos por el hombre búsqueda cualitativa y cuantitativa de los fenómenos naturales y su relación con el comportamiento de los materiales. La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil. La temática de la ingeniería de mecánica de rocas, como una práctica aplicada a la ingeniería de minas, es concerniente a las aplicaciones de los principios de la ingeniería mecánica al diseño de las estructuras de roca generadas por la actividad minera. Determinar el estado de tensiones en el interior del macizo rocoso significa conocer la intensidad, dirección y el sentido de las tensiones, donde se ha de realizar la excavación. Por esta razón, las direcciones de las tensiones principales, y sus intensidades, deben ser, por regla general determinadas a través de ensayos in situ.

Los esfuerzos que existen en un macizo rocoso inalterado están relacionados con el peso de las capas suprayacentes y con la historia geológica del macizo. Este campo de esfuerzos se altera cuando se realiza una excavación subterránea y, en muchos casos, esta alteración introduce esfuerzos suficientemente grandes que pueden sobrepasar la resistencia de la roca. En esos casos, el debilitamiento de la roca adyacente a los límites de la excavación puede llevar a la inestabilidad de ésta,



manifestándose por el cierre gradual de la excavación, desprendimiento del techo y de las paredes o explosiones de rocas.

2.2.11. Mapeo geomecánico

Nos sirve para conocer la calidad de la masa de roca del área de estudio mediante el uso de criterios de clasificación geomecánica basado en el sistema de Bienawnski RMR.

Los parámetros que se consideran son:

Tipo de estructura

Dirección de buzamiento

Buzamiento

Espaciamiento.

Persistencia calidad de relleno

Tipo de relleno.

Espesor del relleno

Compresión uniaxial

RQD (Indice de calidad de roca)

Presencia de agua.

Diseño de sostenimiento

Para poder diseñar el tipo de sostenimiento tener muy en cuenta.



El comportamiento mecánico del terreno.

Tipo de labor (Permanente o temporal)

Identificación de las diferentes cuñas que se pueden producir en la excavación.

Dimensión de los tajeos según la calidad de roca.

Tiempo de auto sostenimiento después de la voladura.

Sostenimiento

Desde el punto de vista de la función de un sistema de sostenimiento; se establece la clasificación de los elementos de soporte tales como: Sostenimiento activo y pasivo.

Sistema de sostenimiento activo. Elementos de refuerzo.

Split set.

Swellex.

Pernos cementados.

Pernos helicoidales.

2.2.12. Sostenimiento por método geomecánico

En la actualidad en la mayoría de la empresas mineras y de obras civiles se hace uso de este tipo de sostenimiento esta aplicación se consolida con las investigaciones permanentes sobre la evaluación de la calidad del macizo rocoso y



por otro lado por la disponibilidad en el mercado de los equipos y herramientas para este tipo de soporte activo y pasivo

2.2.13. Pernos de roca

Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. En general, el principio de su funcionamiento es estabilizar los bloques rocosos y/o las deformaciones de la superficie de la excavación, restringiendo los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes

2.2.14. Split set

Es un estabilizador de roca por fricción para fortificación de techos y paredes. Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

Parámetros:

Diámetro : 39 milímetros.

Longitud : 5 pies (1,50 metros).

Resistencia: De 1 a 1,5 toneladas métricas/ pie de longitud, dependiendo principalmente del diámetro del taladro y del tipo de la roca.



Tipo de roca: Regular , en roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso.

Instalación: Requiere una máquina jack-leg o un jumbo, una presión de aire de 60 a 80 psi.

Diámetro de perforación del taladro: Es crucial para su eficacia. es recomendable para los split set de 39 mm. un diámetro de perforación de 37 a 38 mm. Son susceptibles a la corrosión en presencia de agua, a menos que sean galvanizados.

Los pernos tipo split-set corresponden a una marca registrada por Ingersoll Rand Comp. (EE.UU.) y están constituidos por un tubo, de 2,3 mm. de espesor, que tiene una ranura longitudinal y un diámetro superior al del taladro en el que va a ser anclado el proceso de colocación de un split-set, es sumamente sencillo, ya que basta con introducir a presión el split-set en el taladro donde debe ser anclado.

Los split-set consiguen un cierto efecto de puesta en carga inmediato y permiten un deslizamiento muy importante antes de la rotura como aspectos negativos hay que señalar su escasa capacidad de anclaje, que en el mejor de los casos no sobrepasan los 11 TM/perno, la gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación y los problemas que plantea su durabilidad.

De acuerdo a los tipos de anclaje los pernos se clasifican en:

- a) Pernos de anclaje puntual
- b) Pernos de anclaje repartido
- c) Pernos de anclaje combinado



Los bulones tipo split set corresponden a una marca registrada por Ingersoll Rand Comp (EE.UU.) y están constituidos por un tubo de 2,3 mm de espesor, que tiene una ranura longitudinal y un diámetro superior al del taladro en el que va ser anclado.

Los estabilizadores de fricción split set están constituidos por un tubo de acero seccionado en su longitud. En el taladro el split set ejerce una presión radial contra la roca, su contacto es longitudinal y provee un refuerzo al macizo rocoso previniendo el movimiento de los bloques a soportar.

La estabilización se produce por fricción y la resistencia mínima aproximada es de 1.0 Tm/pie.

Pero la resistencia de estabilización de este tipo de pernos es influenciada por lo siguiente:

- Diámetro del taladro perforado.
- La presencia de agua.
- Presencia de fallas y fracturas.
- Oxidación presente por la presencia del perno.
- Tipo y calidad de roca.

Los pernos split set de 5 pies, tienen una capacidad aproximada de anclaje lineal repartido de 0,81 TM/pie.

A) Ventajas

- Los Split set consiguen un efecto de puesta en carga inmediato y permiten



un deslizamiento muy importante antes de la rotura.

- Permiten la resistencia inmediata debido a su función como anclaje de la resina rápida y la reducción de costo de la lechada para estos elementos de sostenimiento de roca.
- El proceso de instalación es sencillo y consiste en colocar el split set en el taladro a presión.

B) Desventajas

- Como aspecto negativo es su escasa capacidad de anclaje, que en el mejor de los casos no sobrepasa 11 TM/perno.
- Gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación.
- Su uso es temporal.
- Se requiere protección contra la corrosión.

2.2.15. Tipos de split set

Los distintos fabricantes van generando nuevos desarrollos para sus productos, y se tiene los siguientes tipos:

- **Split set estandar.** Se trata del clásico Split set, pero puede existir algunos modelos diferentes según el material con el que se construyen, chapa de acero, galvanizada y otros.
- **Split set cementado.** Se basa en los principios de los pernos mecánicos o de carga puntual cuyo trabajo se realiza en el extremo



del perno donde se ubica el anclaje, ayuda a consolidar su resistencia total hasta 5 veces más que un Split set convencional.

Otro de los pernos de fricción muy utilizados son los pernos Hidrabolt, el mismo que está dando buenos resultados en el sostenimiento de labores temporales de explotación, con una distribución sistemática con malla y sin malla electrosoldada.

2.2.16. Malla electro soldada

Son estructuras de acero formadas por barras dispuestas en forma ortogonal y electro-soldadas por fisión, es decir sin aporte de material en todos los puntos del encuentro, estos productos son fabricados bajo la norma IRAM-IAS U 500-06, el acero utilizado es de calidad T-500 (1), es decir laminado en frío y con una tensión de fluencia característica de 500 MPa, se presentan en una amplia variedad de secciones, cuadrículas y diámetros de alambres según su aplicación final.

La soldadura por fisión eléctrica permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad. Los cruces soldados a lo largo de las barras proporcionan un anclaje efectivo del concreto, el acero AT56 – 50H, permite reducir la sección debido a su alta resistencia, lo que hace que la malla electro soldada sean fáciles y rápidas de instalar. (Ver Tabla 4 y Tabla 5)

Las características de este elemento de sostenimiento son las siguientes:

Tabla 4: Características físico-mecánicas de la malla

Fabricadas en acero trefilado – laminado AT56-50H

Límite de fluencia	5 000 kg/cm ²
Límite de ruptura	5 600 kg/cm ²

Fuente: Tubos y perfiles CL. Accesorios

Tabla 5: Características físicas de la malla electro soldada

Tipo de malla	Distancia Barra	Diámetro Barra	Sección de acero	Peso Malla
	Longitud mm	Transversal mm	Transversal cm ² /m	kg
C-139	100	4,20	1,39	28,34
C-188	150	6,00	1,88	39,03
C-196	100	5,00	1,96	40,04
C-257	150	7,00	2,57	53,10

Fuente: Tubos y perfiles CL. Accesorios- Malla electrosoldada.

Ventajas geomecánicas y operacionales.

- La soldadura por fisión eléctrica permite lograr uniones más sólidas y terminaciones de alta calidad.
- Los cruces soldados a lo largo de las barras proporcionan un anclaje efectivo del concreto.
- El acero AT56 – 50H, permite reducir la sección debido a su alta resistencia, lo que hace que la malla electro soldada sean fáciles y rápidas de instalar.

En la actualidad por las necesidades y la búsqueda de la mecanización de las minas, se está investigando nuevos productos para poner en prueba en el sostenimiento de labores de la minería subterránea, por esta razones el Western Australian School of Mines (WASM) y la Federal Research Institute (WSL), han



realizado pruebas de versatilidad de la malla romboidal de simple torsión y alta resistencia, puede trabajar en terrenos donde existe la presencia de estallido de rocas, como indican en su publicación: Los sismos y daños por rockburst (estallido y desplome de rocas) en minería subterránea de profundidad.

La mayoría de los sistemas de sostenimiento estándares no cumplen o son limitados en su capacidad frente a cargas dinámicas causadas por estas amenazas.

Las mallas de acero de alta resistencia han probado su alto rendimiento y su idoneidad para su aplicación en el sostenimiento contra la voladura de rocas o en su caso de estratos altamente deformables en pruebas estáticas y dinámicas realizadas por la Western Australian School of Mines (WASM).

Debido a la elevada resistencia del alambre de acero (1770 MPa) y su característica de alta deformación de la malla, este sistema de sostenimiento subterráneo es aplicable en ambientes de grandes sollicitaciones de esfuerzos, aumentando la seguridad del personal minero y el rendimiento de producción mina.

La malla de alta resistencia TECCO G80/4, fue capaz de resistir cargas de 100 a 110 kN antes de fallar en la esquina de la placa de carga. En comparación con la malla electrosoldada falló a 40 kN aproximadamente.

2.2.17. Sostenimiento en minería subterránea

En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo.

Selección entre refuerzo y soporte.



- Existe una confusión entre lo que es un soporte de roca y un refuerzo de roca.
- Refuerzo de roca generalmente consisten en sistemas de empernado o cables que proveen un refuerzo a la masa rocosa aumentando la resistencia friccional entre bloques que la componen.
- Soporte, consistente en cerchas de acero o concreto, shotcrete o cuadros de madera, son diseñados para estabilizar la masa rocosa mediante el control del colapso progresivo o deformación de la misma.
- En términos simples se dice que el refuerzo en un sistema “activo” mientras que el soporte es uno “pasivo”.

C. Clases de terreno

Desde un punto de vista práctico podemos dividir los terrenos en cuatro clases.

1. Terreno compacto: Es el formado por cristales o por partículas bien cementadas.
2. Terreno fracturado: Muestra una serie de planos paralelos de discontinuidades como los planos de estratificación en la roca sedimentaria.
3. Terreno arcilloso: Constituido por rocas casi elásticas que se deforman bajo la presión.
4. Terreno suave: El cual está formado por fragmentos gruesos o finos o una mezcla de ambos tamaños.



D. Sostenimiento según la clase de terreno

- **Terreno compacto:** no requiere sostenimiento sino la formación de una buena bóveda autosostenida.

- **Terreno fracturado:** exige solo un sostenimiento ligero, esta clase de terrenos es más resistente en dirección perpendicular a las rajaduras o planos de discontinuidad que en dirección paralela a los mismos.

Terreno suave: requiere de tipo pesado. En esta clase de terrenos las presiones son mayores cuando más fino es el tamaño de los fragmentos.

- **Terreno arcilloso:** exige un sostenimiento extremadamente resistente o estructuras flexibles capaces de adaptarse a las presiones que se desarrollan.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. Sostenimiento

Son los procedimientos para soporte de rocas, para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de resistir las cargas que producen las rocas cerca al perímetro de la excavación subterránea.

2. Labor

Nombre general para todos los trabajos mineros subterráneos, tales como: túnel, socavón, galería, chimenea, sub nivel, rampa etc.

3. Geomecánica



Es la ciencia aplicada al comportamiento mecánico del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entoreno físico.

4. Perforación

Es una operación mecánica que consiste en realizar taladros en el macizo rocoso o mineral.

5. Perno split set

Son pernos de anclaje que se utiliza en el sostenimiento de labores mineras subterráneas para mantener la estabilidad del macizo rocoso.

6. Malla electro soldada

Son estructuras de acero, planas formadas por barras de acero dispuestas en forma cuadrada y electrosoldadas por fisión es decir sin aporte de material en todos los puntos del encuentro, estos productos son fabricados bajo la norma IRAM-IAS U 500-06, es decir laminado en frio con una tensión de fluencia característica de 500 MPa.

7. Cable Bolting

Es un conjunto de alambres de acero de siete torones al cual se le inyecta pasta de cemento dentro del taladro, son instalados en taladros espaciados regularmente para proveer soporte a las cajas y corona de una labor subterránea.

8. Falla



Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas que afecta al macizo rocoso ocasionando desplazamiento a lo largo de la falla.

9. Fisura

Es la grieta, rotura o fractura que se presenta en la superficie del macizo rocoso.

10. Macizo rocoso

Es el conjunto de bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades que se presenta en la naturaleza.

11. Costos

Son los recursos económicos que se utilizan para la producción de bienes o servicios.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a la naturaleza del estudio de investigación es de tipo descriptivo, se refiere a la optimización de sostenimiento mediante Cable Bolting en la explotación del tajeo Paola Norte en la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura Arequipa.

La metodología para realizar el estudio de investigación ha consistido en su etapa inicial en evaluar todo los costos del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada considerando las ventajas y desventajas que presenta, analizando los costos de materiales, costos de instalación, el tiempo de duración y la seguridad que ofrece el sistema, los datos se han recolectado en las fichas de control. Posteriormente en el estudio de investigación se ha analizado los costos de materiales, costos de instalación, el tiempo de duración y la seguridad que ofrece el sistema de sostenimiento Cable Bolting según las características geomecánicas del macizo rocoso del Tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo. Finalmente para determinar el tipo de sostenimiento a utilizar se ha realizado el análisis de los costos de sostenimiento con Perno Split set y malla electrosoldada vs el sistema Cable Bolting y la seguridad que ofrece para realizar las actividades mineras en los tajeos de explotación de la U.E.A. Tambomayo – Arequipa.



3.2. POBLACIÓN

La población considerada para el estudio de investigación está constituido por el Tajeo Paola y Paola Norte, desarrollados en tipo de roca DE-IVA y DE- IV B en la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

3.3. MUESTRA

Para la muestra del proyecto de investigación se ha considerado el Tajeo Paola Norte, desarrollado en tipo de roca DE-IVA y DE- IV B en la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

El sistema de sostenimiento Cable Bolting y la geometría del tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

3.4.2. Variable dependiente

Optimización de sostenimiento en la explotación del Tajeo Paola Norte en la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

Tabla 6: Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente:		
El sistema de sostenimiento Cable Bolting y la geometría del tajeo de Explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.	- Eficiencia - Rendimiento - Sección	- Tm/m ² - Tm/m ² - m ² .
Variable dependiente.		
Optimización de sostenimiento en la explotación en el Tajeo Paola Norte en la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.	- Costo de materiales - Costo de cable bolting - Costo de instalación	- US\$ - US\$/m - US\$/m ²

Fuente: Elaboración propia.

3.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es muy importante que técnicas se aplicarán, así como el análisis estadístico y porcentual, la observación del comportamiento del sostenimiento, reporte del control operacional mensual y diario de la mina.

3.5.1. Técnicas para el procesamiento de la información

Se aplicarán instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
-

3.6. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El yacimiento minero de Tambomayo, se encuentra ubicado en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, a una altura comprendida entre los niveles 4763 msnm (Campamento) y 5000 msnm (Mina).

Las coordenadas geográficas son las siguientes:

Tabla 7: Coordenadas geográficas de la U.E.A Tambomayo

Coordenadas geográficas
15° 28' 14" Latitud Sur
71°54' 56" Longitud Oeste

La accesibilidad al yacimiento minero se realiza desde Arequipa, teniendo trayectos de pista y carretera afirmada además de trocha. El detalle del acceso se muestra a continuación:

Tabla 8: Rutas de acceso a la unidad Tambomayo

Tramo	Vía	Distancia (Km)
Arequipa – Yura - Cañahuas	Pista asfaltada	79
Cañahuas- Sibayo	Carretera afirmada	54
Sibayo - Caylloma	Carretera afirmada	136
Caylloma – Talta Huarahuarco	Trocha carrozable	9
Talta Huarahuarco – Tambomayo	Trocha carrozable	23

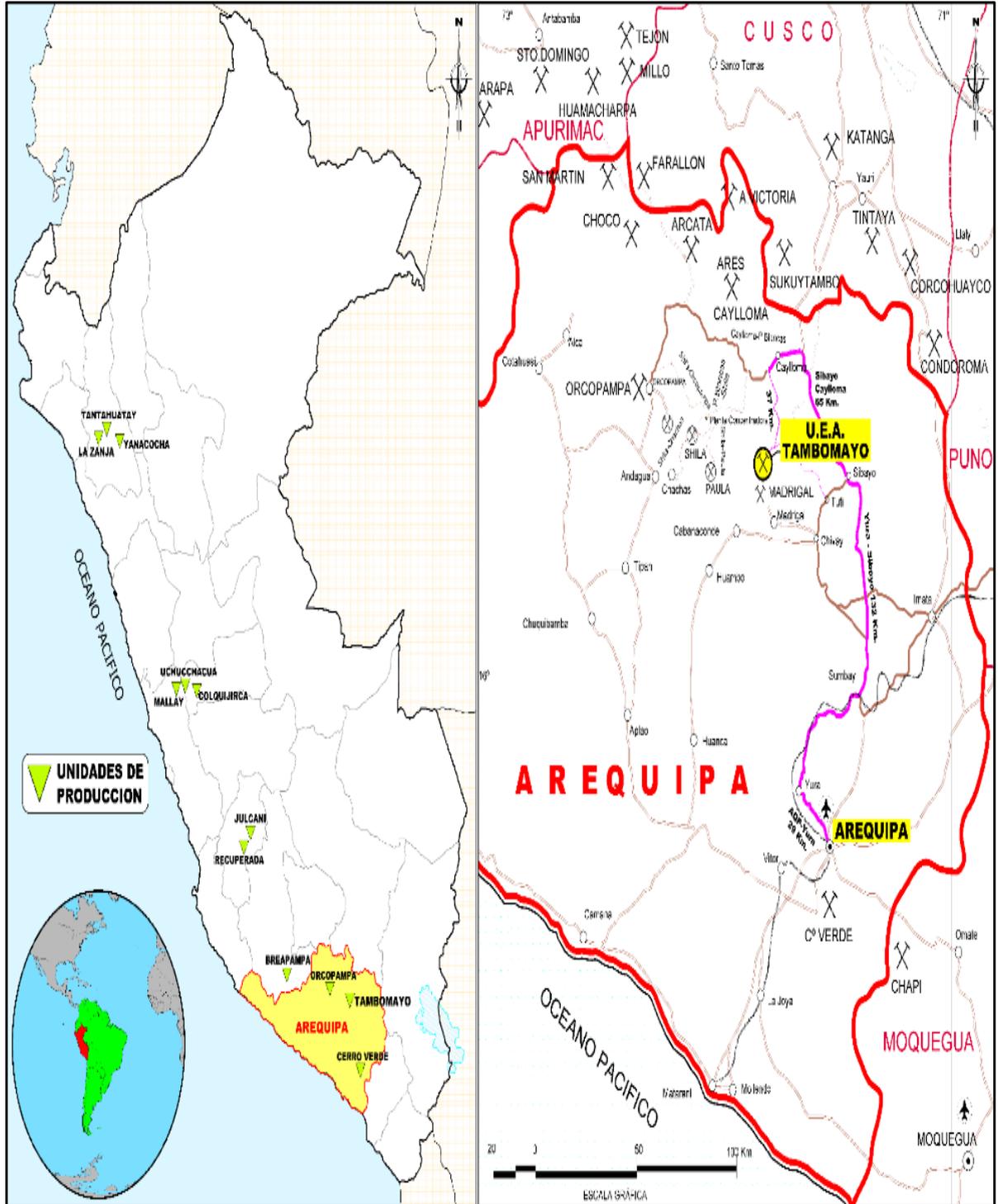


FIGURA 1. Ubicación de la UEA Tambomayo



3.7. TITULAR MINERO

El titular de la UEA Tambomayo es la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (en adelante CMBSAA), la cual es una empresa dedicada a la exploración, explotación y procesamiento de minerales polimetálicos. CMBSAA actualmente viene efectuando trabajos de exploración y explotación minera en las laderas de la quebrada Tambomayo – Ucriamayo, para reconocer las características del cuerpo mineralizado y cuantificar las reservas en parte de las concesiones mineras: Chaquelle 27, Chaquelle 28, Chaquelle 29, Chaquelle 30 y Chaquelle 31, que conforman el proyecto de exploración Tambomayo, propiedad de CMBSAA. Adicionalmente se está considerando en función a las actividades de explotación y beneficio de mineral del proyecto las siguientes concesiones: Chaquelle 33, Chaquelle 40, Tambomayo 10, Tambomayo 11, Tambomayo 12, Tambomayo 13 y Tambomayo 16. En esa línea, CMBSAA está operando en la etapa de explotación y beneficio del proyecto minero Tambomayo. Por tal motivo está cumpliendo con lo establecido en la normatividad ambiental vigente y ha previsto la elaboración del presente Estudio de Impacto Ambiental (en adelante EIA) del Proyecto Minero Tambomayo, a fin de obtener la respectiva Certificación Ambiental.

3.8. CONCESIONES MINERAS

El desarrollo de la operación de la UEA Tambomayo se centra dentro de las concesiones mineras Chaquelle 27, Chaquelle 28, Chaquelle 29, Chaquelle 30, Chaquelle 31, Chaquelle 33, Chaquelle 40, Tambomayo 10, Tambomayo11, Tambomayo12, Tambomayo 13 y Tambomayo 16. Cabe indicar que dichas concesiones, no se encuentran dentro de ningún Área Natural Protegida (ANP) y/o Zona de Amortiguamiento.



3.9. CLIMA

La UEA Tambomayo se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca del río Colca-Majes, perteneciente a la vertiente del Pacífico Sur del Perú. En esta cuenca sus regímenes de precipitaciones están gobernados principalmente por la interacción del Anticiclón del Atlántico (AA), el Anticiclón del Pacífico (AP), la Alta de Bolivia (AB), la zona de convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y todas con marcada influencia de la cadena de montañas de los Andes peruanos. Dependiendo de la posición de la AB, ZCIT y ZCAS, se puede presentar un año húmedo o un año seco y la presencia de anomalías como El Niño o La Niña, que se originan por debilitamiento de los vientos del Este y el desplazamiento del AA y el ZCIT, pudiendo ocasionar sequías e inundaciones. En cuanto a las masas de aire húmedo que se forman en el Atlántico y en la zona de la Amazonía, son transportadas por los vientos del Este hacia Oeste en dirección a la cuenca del río Camaná, donde son forzados a ascender en la intersección con los Andes, lo cual origina las precipitaciones altas sobre los Andes y van disminuyendo las lluvias en forma gradual hacia la costa del Pacífico.

Según el sistema de clasificación de Warren Thornthwaite (SENAMHI 1988) y el Mapa Climatológico del Perú (SENAMHI 2009), la cuenca del río Camaná presentan diversos climas, los cuales se identificaron relacionando los parámetros meteorológicos de temperatura, precipitación y la humedad relativa, además de la altitud, latitud, Cordillera de los Andes, la corriente fría Marítima Peruana, el Anticiclón del Pacífico Sur y la Continentalidad, lo cual da como resultado climas a diferentes pisos.



3.10. GEOLOGÍA

El yacimiento de Tambomayo se encuentra ubicado al Sur del Perú, en el Departamento de Arequipa, en el Centro Volcánico Tambomayo, que es uno de los tantos aparatos volcánicos que existen en esta parte del segmento Sur de la Cordillera de los Andes del Perú, los que se han desarrollado a lo largo del Neógeno y Cuaternario desde los 30 Ma hasta 0.1 Ma.

Los enormes volúmenes de rocas volcánicas que yacen con ondulamientos suaves sobre los terrenos deformados del Paleozoico y Mesozoico evidencian el establecimiento de un régimen tectónico y arco magmático a lo largo de la Cordillera Andina, ocurrido desde el Oligoceno hasta el Plioceno (Fletcher et al., 1,989 y Clark et al., 1,990).

3.11. GEOLOGÍA REGIONAL

El Proyecto Tambomayo se encuentra ubicada en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental y se caracteriza por presentar superficies sub-horizontales de relieve suave, gran parte cubierta de piroclásticos del volcanismo plio-cuaternario. La más resaltante de estas mencionadas es la depresión de Caylloma, que presenta un control vulcano-tectónico. Entre las principales unidades lito estratigráficas se tiene: rocas del Precámbrico Mesozoico (Jurásico – Cretáceo), con presencia de rocas metamórficas del tipo ortogneis, gneis granítico, aflorando en el lecho del río Colca. Cenozoico (Terciario – Cuaternario), con presencia de depósitos cuaternarios.



Así mismo, el Mesozoico presentado por el Grupo Yura, aflorando principalmente al Norte y Sur del área del proyecto, supra yaciendo tenemos la formación Murco y Arcurquina.

El volcánico Terciario – Cuaternario, está conformado por los volcánicos Santa Rosa (formación que alberga la mineralización del yacimiento: Shila, Fullchuina, Alccaje, Kenko y Sahuarque; sobre estas secuencias se ubica el Pliocuaternario representado por los depósitos Molloco, volcánico Barroso y los volcánicos Andagua.

3.12. GEOLOGÍA LOCAL

Los estudios realizados por Buenaventura han indicado que el yacimiento se ubica dentro de una secuencia larga y compleja de rocas volcánicas entre rocas efusivas, fragmentadas, volcanoclásticas y depósitos de avalanchas que en conjunto construyen un posible estrato volcánico. Con afloramientos de tufos, brechas, lavas y lahares que varían desde traquiandesitas hasta dacitas, los lahares de composición andesítica se evidencian en las zonas más elevadas y en las zonas de quebradas y depresiones rellenas de material cuaternario producto de la erosión. Las estructuras mineralizadas consideradas en el presente estudio, son las que se indican a continuación:

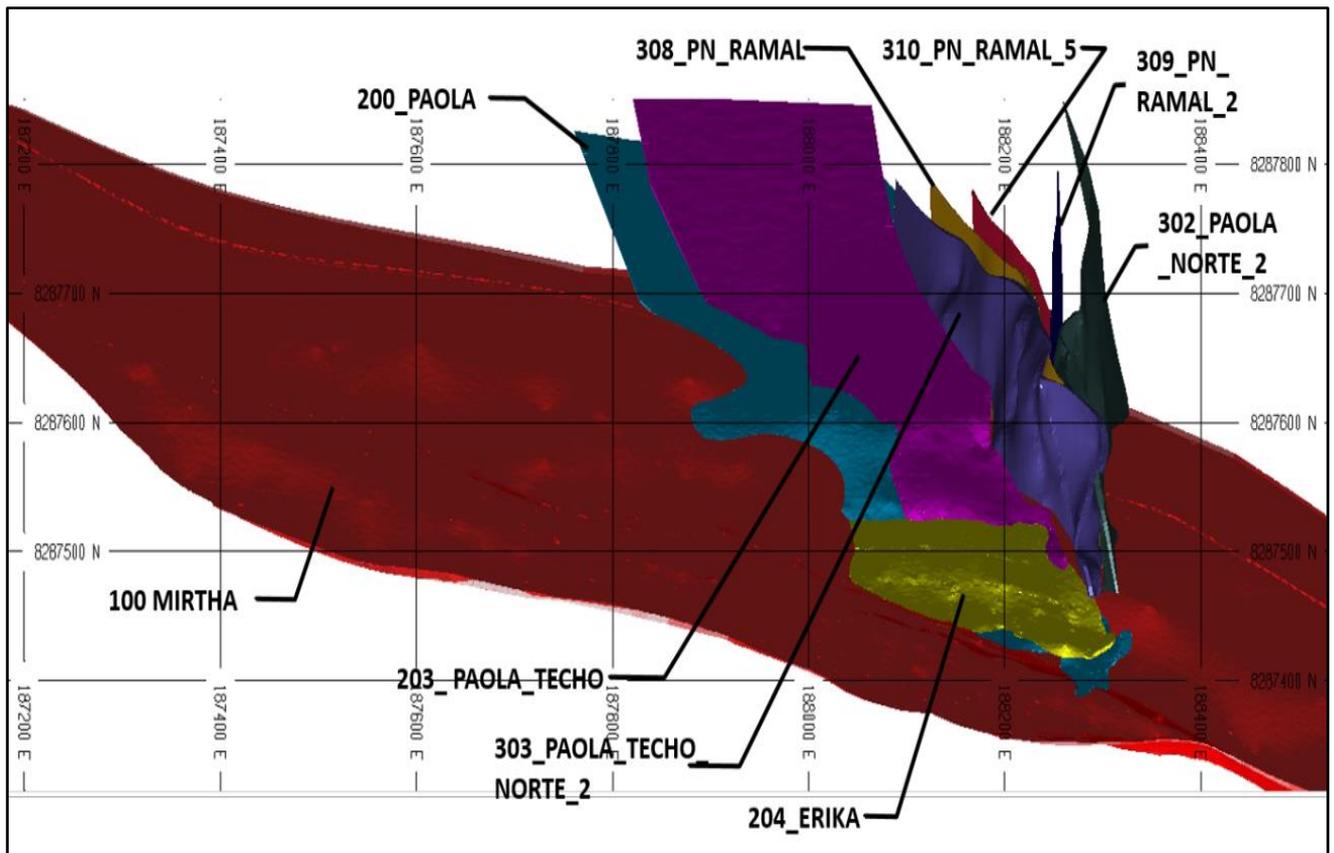


FIGURA 2: Vista en planta de las vetas de la U.E.A. Tambomayo

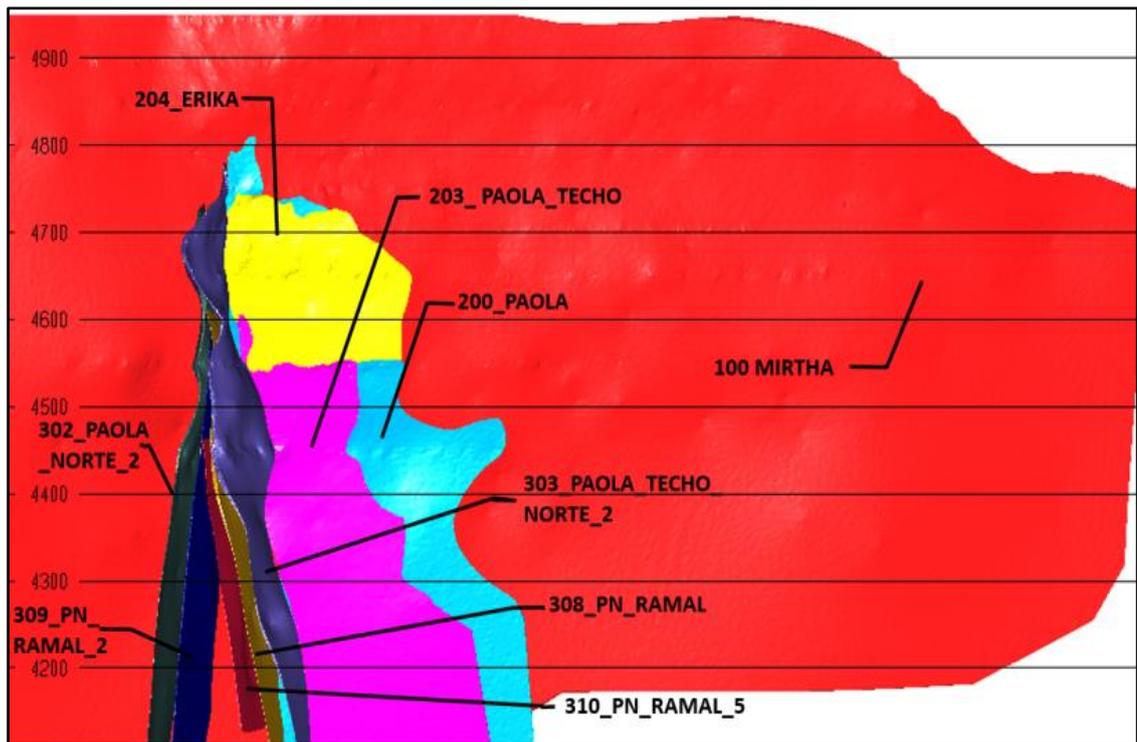


FIGURA 3: Vista de perfil longitudinal de las vetas en la U.E.A. Tambomayo

Veta Paola Norte

La caja techo de Paola Norte generalmente es del dominio DE-IVA y con algunos tramos de rocas del dominio DE-IVB. En este caso el límite de la potencia de la estructura mineralizada para definir el minado longitudinal o transversal sería de 8 a 10 m. En ambos casos la caja techo deberá ser reforzada con cablebolting y se deberá considerar menores longitudes de tajeos.

La calidad de la masa rocosa tanto en mineral como en las cajas techo y piso son del dominio DE-IVA, lo cual ocurre en la parte superior del yacimiento, sobre el Nivel 4790 y entre los Niveles 4640 y 4740. La modalidad de C&F sería en breasting. Adicionalmente, para la recuperación del mineral remanente ubicado entre los Subniveles 4772 y 4785 se ha definido la variante galerías y relleno ascendentes.

En la caja techo se observa un sistema principal Sistema 1 con rumbo NS y alto buzamiento al E. Un segundo sistema principal Sistema 2 tiene rumbo NNW con



alto buzamiento al NE. El tercer sistema principal Sistema 3 también tiene rumbo NS y alto buzamiento al W.

El cuarto sistema en la caja techo Sistema 4 también puede considerarse como principal, teniendo rumbo aproximado de EW con alto buzamiento dirigido al N. Este sistema se halla asociado al sistema de fallamiento EW que existe en toda el área, además está relacionado también al principal Sistema 1 de las vetas Mirtha y Paola.

Para la roca mineralizada, existen tres sistemas principales, el Sistema 1 que tiene rumbo NS con buzamiento moderado al E, además este sistema está asociado al rumbo y dirección de la veta, y los Sistemas 2 y 3 que tienen rumbo aproximado de NEE con buzamientos empinados y contrarios orientados al NW y SE respectivamente.

En la caja piso se presentan los mismos sistemas principales que se han formado en el mineral con una ligera variación. Adicionalmente hay un Sistema 4 de rumbo EW con alto buzamiento al N. También se aprecia un Sistema 5 que es de rumbo NNW y alto buzamiento al SW.

En ambas cajas se muestra un sistema de rumbo EW con alto buzamiento al N, este sistema puede estar asociado al sistema principal de las vetas Mirtha y Paola por la similitud de estos, que puede estar asociado también al sistema principal de fallamiento.

Las características estructurales de las discontinuidades mayores y menores se han determinado mediante tratamiento estadístico de la información procedente de los mapeos geomecánicos de las labores subterráneas y del logueo geotécnico de los testigos de los sondajes diamantinos. Los detalles sobre estas características se



presentan en los Anexos 1 y 2 y un resumen de los mismos se presenta en el Acápite 4.2.4 de este informe.

Para la clasificación geomecánica de la masa rocosa se ha utilizado el criterio de Bieniawski, 1989 – Cuadro 4.4, según este criterio, se ha observado que en las estructuras mineralizadas que aquí se evalúan hay una amplia variación de la calidad de la masa rocosa desde Mala B (IVB) hasta Buena (II), pasando por rocas de calidades Mala A (IVA), Regular B (IIIB) y Regular A (IIIA). La distribución espacial de estas calidades se presenta en la zonificación geomecánica.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL TAJEO PAOLA NORTE

El tipo de sostenimiento aplicado en las labores de explotación del tajeo Paola Norte en la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura es el sistema Cable Bolting. El departamento de geología en base al índice GSI (modificado) corroborando los resultados de la valoración del tipo de roca con los sistemas de clasificación RMR y el índice Q, de estos resultados se procedió a elegir los tipos de sostenimiento para las labores de explotación de los cuales son los siguientes: perno split set y malla electro – soldada y el sistema Cable Bolting.

4.2 INSTALACIÓN DE CABLE BOLTING

Los cable bolting son instalados en taladros espaciados cada 0,25 m y 0,50 m para proveer soporte a la cajas y corona de una labor subterránea, estos cables tienen una capacidad de soporte de 25 toneladas.

Los cable bolting son usados en mina subterránea para:

- Garantizar la seguridad del trabajador y equipos dentro de la Mina.
- Incrementar la estabilidad del macizo rocoso.
- Control de la dilución.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL CABLE BOLTING

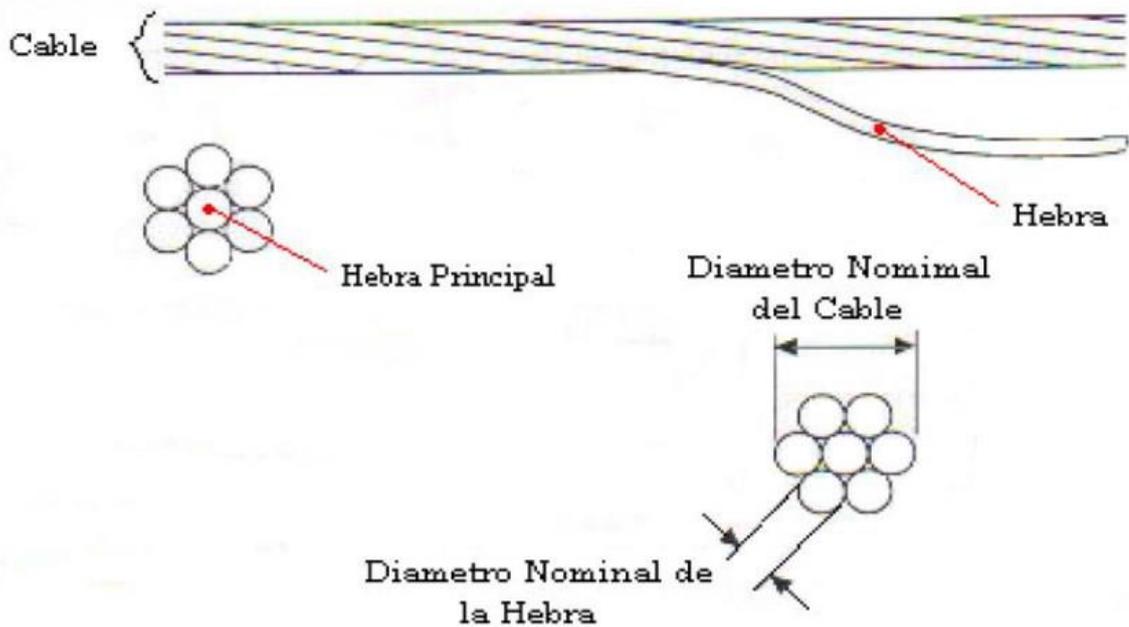


FIGURA 4: Diámetro nominal del cable

El diámetro del taladro varía de 51 mm a 63 mm.

La longitud del cable que se utilizan son de 7 m, 10 m, 15 m y 25 m.

El espaciamiento entre cables es de 0,25 m y 0,50 m, estos datos son proporcionados por el área de geomecánica.

El peso unitario del cable es de 1,10 Kg/m y un diámetro de 5/8 pulgada por 7 Hebras.

CARACTERÍSTICAS DE CABLE BOLTING

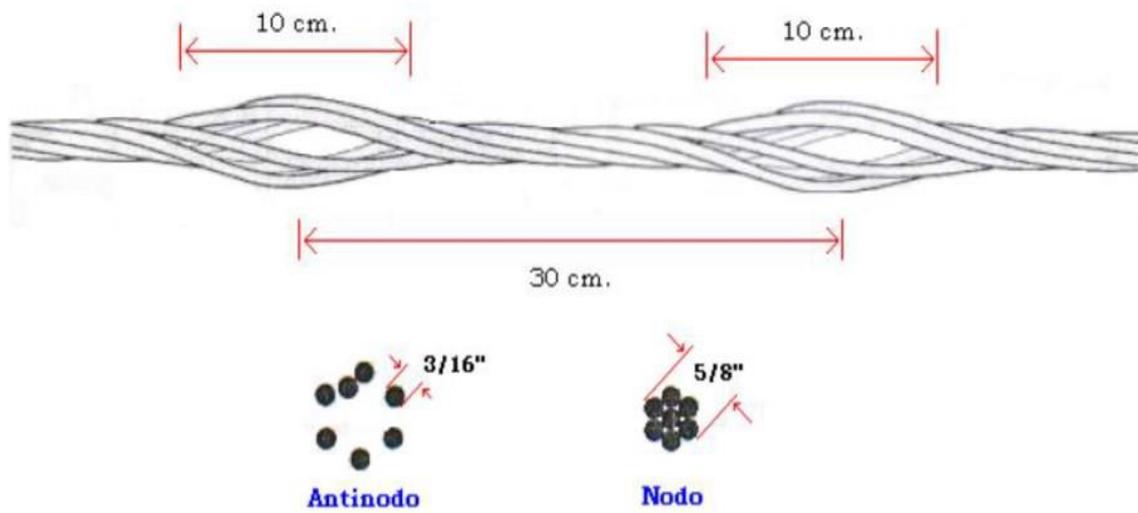


FIGURA 5: Características del cable bolting

INYECCIÓN DE LA LECHADA DE CEMENTO

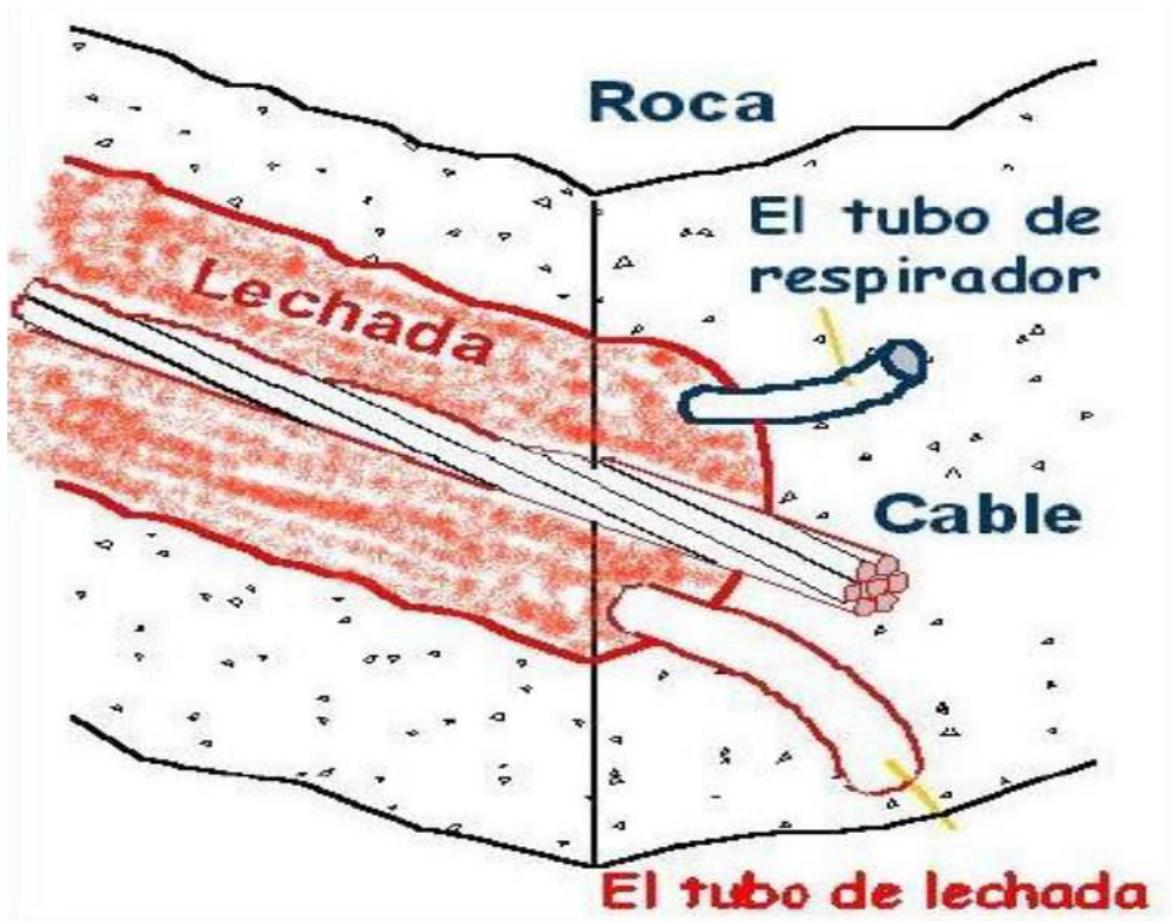


FIGURA 6 : El tubo de la lechada.

4.3 ELEMENTOS UTILIZADOS PARA INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO

Son utilizados los siguientes elementos :

1. Tubo PVC de $\frac{3}{4}$ pulgada (respiradero)
2. Tubo PVC de $\frac{3}{4}$ pulgada (Inyección)
3. Cable de $\frac{5}{8}$ pulgada
4. Tapón de cemento con hilacha.



5. Ingreso de aire al tubo
6. Pasta de cemento
7. Inyección de lechada de cemento.
8. Cinta adhesiva.

4.4 CICLO DE MINADO CON EL SOSTENIMIENTO DE PERNO SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA

El ciclo de minado del sistema de sostenimiento con perno Spli set y malla electrosoldada es similar al ciclo de minado del sistema Cable Bolting, con algunas variantes, primero se realiza la perforación en realce a toda el Ala, es necesario indicar que esta perforación en realce para ambos casos se realiza con arranque o aprovechando las chimeneas de relleno como cara libre, después de la voladura, como en el caso anterior se comienza con la limpieza, sostenimiento, perforación y voladura estas últimas se realiza horizontalmente (breasting).

En la Tabla 9, se observa los tiempos promedio de ciclo de minado en las labores de explotación de la U.E.A. Tambomayo - CIA de Minas Buenaventura.



Tabla 9: Tiempo de minado con sostenimiento perno Split set malla electrosoldada

Descripción	Tiempo (minuto)	Tiempo (hora)
Ventilación	35	0,58
Desatado	08	0,13
Traslado de malla	30	0,50
Sostenimiento	130	2,17
Perforación	120	2,00
Limpieza	95	1,58
Voladura	45	0,75
Tiempo total	463	7,72

Fuente: U.E.A Tambomayo

Se debe recalcar que en la actualidad es mayor el uso de split set de 7 pies de longitud y 39 mm. de diámetro, por ese motivo se observa que es más alto el consumo de split set de 7 pies esto principalmente por la sección de las labores y porque generalmente la longitud del barreno utilizado es de 8 pies.



Tabla 10: Tiempo de minado con sostenimiento Cable Bolting

Descripción	Tiempo (minuto)	Tiempo (hora)
Ventilación	30	0,50
Desatado	08	0,13
Traslado de Cable	35	0,58
Sostenimiento	125	2,08
Perforación	120	2,00
Limpieza	90	1,33
Voladura	43	0,67
Tiempo total	451	7,52

Fuente: U.E.A Tambomayo

4.5 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS 1

Los costos del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada son muy elevados en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

4.5.1 Costo de compra de perno Split set y malla electrosoldada.

El costo de flete es de 0.20 S/.por kilogramo de carga, y siendo que el peso de un juego de split set de 7 pies y arandela es 2,25 kg y la malla electrosoldada viene en rollos de 25 metros de longitud por 2,00 m de ancho, cuyo peso es de 108 kg.

El costo de perno Split set de 7 pies es 10,02 US\$/unidad y el costo de la malla electrosoldada de un rollo de 25 metros de longitud por 2 metros de ancho es de 247,21 US\$.

4.5.2. Costo de instalación de sostenimiento, perno Split set y malla electrosoldada

Tabla 11: Costo de mano de obra Tipo de cambio 1\$US = 3.34

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo US \$/guardia
Supervisor	1	70	20.96
Operador de Simba	1	70	20.96
Ayudante perforista	1	60	17.96
Maestro de sostenimiento	1	70	20,96
Ayudante de sostenimiento	1	60	17,96
Sub total			98,80
Leyes sociales	55 %		54,34
TOTAL			153,14

Fuente: U.E.A. Tambomayo.

Tabla 12: Costo de equipo de sostenimiento con perno Split set y malla

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perf.	US \$/pie	Pies perforados	US \$/guardia
Simba	340 000	3000000	0,11	207	22,77
TOTAL					22,77

Fuente: U.E.A. Tambomayo

Tabla 13: Costo de materiales de sostenimiento

Descripción	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pie perforados	US \$/guardia
Barra SP T38	1	510	15000	207	0,03	7,04
Broca Retractil	1	205	3600	207	0,05	10,35
Broca HILTI	1	110	3000	60	0,04	2,40
INSUMOS						
Manguera 1 Pulg	80 m	23,88	360	207	0,06	12,42
Malla electrosoldada	12 m ²	4,94				59,28
Perno Split set	21	10,02				210,42
Alambre N° 16	2 kilo	0,60				1,19
Planchas	3 unid	3,83				11,50
TOTAL						314,60

Fuente: U.E.A. Tambomayo

Tabla 14: Costo implementos de seguridad

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil	Costo US \$/guardia
Protector	Pza	5	13.75	300	0,25
Guantes de cuero	Pza	5	5,25	25	1,05
Correas porta lámpara	Pza	5	4.76	300	0,10
Botas de jebe	Pza	5	22.65	180	0,65
Mamelucos	Pza	5	24.53	180	0,70
Respiradores	Pza	5	23.60	180	0,65
Filtro de respiradores	Pza	5	5.95	15	2,00
Tapón de oídos	Pza	5	2.50	120	0,10
Ropa de jebe	Pza	5	33.65	120	1,40
Lentes de seguridad	Pza	5	12.42	120	0,50
Lámpara de batería	Pza	5	116.20	120	4,85
COSTO TOTAL					12,25

Fuente: U.E.A. Tambomayo



COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN: $153,14 + 22,77 + 314,60 + 12,25 = 502,76\text{US\$}$

COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN EN $\text{US\$/m}^2 = 41,89 \text{US\$/m}^2$

HIPÓTESIS 2

Los costos del sistema de sostenimiento Cable Bolting son menores en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

4.6 COSTO DE COMPRA DE CABLE BOLTING

El costo de Cable Bolting de 0,6 pulgadas de diámetro por 7 metros es de 10,14 US\$

El costo de Cable Bolting de 0,6 pulgadas de diámetro por 10 metros es 14,07 US\$.

El peso unitario del cable es de 1,10 Kg/m y un diámetro de 5/8 pulgada por 7 Hebras.



4.7 COSTO DE INSTALACIÓN DE SOSTENIMIENTO DEL SISTEMA CABLE BOLTING

Tabla 15: Costo de mano de obra

Tipo de cambio 1\$US = 3.34

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo US \$/guardia
Supervisor	1	70	20,96
Operador de Simba	1	70	20,96
Ayudante perforista	1	60	17,96
Maestro de sostenimiento	1	70	20,96
Ayudante de sostenimiento		60	17,96
Sub total			98,80
Leyes sociales	55 %		54,34
TOTAL			153,14

Fuente: U.E.A. Tambomayo

Tabla 16: Costo de equipo de sostenimiento Cable Bolting

Equipo	Costo US \$	Vida útil Pies/perf.	US \$/pie	Pies perforados	US \$/guardia
Simba	340 000	3000000	0,11	207	22,77
Bomba de inyección	23 000	500000	0,05	207	10,35
Equipo tensador	15 000	250000	0,06	207	12,42
TOTAL					45,54

Fuente: U.E.A. Tambomayo

Tabla 17: Costo materiales de sostenimiento Cable Bolting

Descripción	Cantidad	Costo US \$/unidad	Vida útil pp	Pies perforados	US \$/pie perforados	US \$/guardia
Barra SP T38	1	510	15000	207	0,03	7,04
Broca Retractil	1	205	3600	207	0,05	10,35
Broca HILTI	1	110	3000	60	0,04	2,40
INSUMOS						
Manguera 1 Pulg	80 m	23,88	360	207	0,06	12,42
Tubería	5 unid	7.46	150	207	0,05	10,35
Lechada de cemento	2 m ³	17.91				17,91
Cable bolting	63 m	90.18				90,18
Fierro de 3/8 Pulg.	2 unid	12.54				12,54
Alambre	2 kilo	1.19				1,19
Planchas	3 unid	11.50				11,50
TOTAL						175,88

Fuente: U.E.A. Tambomayo

Tabla 18: Costo implementos de seguridad

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US \$/	Vida Útil	Costo US \$/guardia
Protector	Pza	5	13.75	300	0,25
Guantes de cuero	Pza	5	5,25	25	1,05
Correas porta lámpara	Pza	5	4.76	300	0,10
Botas de jebe	Pza	5	22.65	180	0,65
Mamelucos	Pza	5	24.53	180	0,70
Respiradores	Pza	5	23.60	180	0,65
Filtro de respiradores	Pza	5	5.95	15	2,00
Tapón de oídos	Pza	5	2.50	120	0,10
Ropa de jebe	Pza	5	33.65	120	1,40
Lentes de seguridad	Pza	5	12.42	120	0,50
Lámpara de batería	Pza	5	116.20	120	4,85
COSTO TOTAL					12,25

Fuente: U.E.A. Tambomayo



COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN: $153,14+45,54+175,88+12,25 = 386,81$ US\$

COSTO TOTAL DE INSTALACIÓN EN US\$/m² = 32,23 US\$/m²

4.8 COSTO DE PERNO SPLIT Y MALLA ELECTROSOLDADA VS. COSTO DE CABLE BOLTING

Los costos de perno Split set y malla electrosoldada son elevados en comparación con el sistema Cable Bolting.

El costo de perno Split set de 7 pies es 10,02 US\$/unidad y el costo de la malla electrosoldada de un rollo de 25 metros de longitud por 2 metros de ancho es de 247,21 US\$.

El costo de Cable Bolting de 0,6 pulgadas de diámetro por 7 metros es de 10,14 US\$

El costo de Cable Bolting de 0,6 pulgadas de diámetro por 10 metros es 14,07 US\$.

El peso unitario del cable es de 1,10 Kg/m y un diámetro de 5/8 pulgada por 7 Hebras.

Al incluir estos precios de elementos de sostenimientos en los cálculos de costos de explotación, se tiene una diferencia en el costo de explotación al utilizar el sostenimiento con perno Split set, resultando elevados costos de explotación.

En la Tabla, se muestra claramente como inciden los precios de ambos sistemas de sostenimiento, los costos de perno Split set y malla electrosoldada son elevados en comparación con el sistema Cable Bolting.(Ver Tabla 19).



Tabla 19: Evolución de precios de perno Split set, malla electrosoldada y Cable en US\$

Año \ Descripción	2017	2018	2019	Promedio
Split set de 7'	9,53	10,05	10,49	10,02
Malla rollo (25 x 2 m)	247,07	247,35	247,25	247,21
Cable Bolting de 7 m	10,12	10,14	10,15	10,14
Cable Bolting de 10 m	14,04	14,08	14,10	14,07

Fuente: U.E.A Tambomayo

Con respecto a la eficiencia y productividad de ambos sistemas de sostenimiento, se ha realizado un estudio de tiempo a las labores donde se realizaron el reemplazo de tipo de sostenimiento de perno Split set y malla electrosoldada con cable bolting.

La productividad del tajeo se ha calculado mediante los reportes mensuales de mina donde indica las tareas empleadas en el mes y el tonelaje extraído del tajeo, de los cuales se extrae las toneladas métricas/ hombre – guardia ($Tm / h - g$), que es el indicador de la productividad.

En las Tablas 20 y 21 se muestran la eficiencia y la productividad del sistema de sostenimiento de perno Split set y malla electrosoldada y Cable bolting

Tabla 20: Costo de explotación de sostenimiento con split set y malla electrosoldada

Ítem	Costos directos	Costo (\$)	Unidad
1	Costo de perforación y voladura	5,20	\$/Tm
2	Costo de sostenimiento	5,70	\$/Tm
3	Costo de limpieza	2,15	\$/Tm
4	Costo de relleno	1,87	\$/Tm
5	Costo servicios auxiliared	2,56	\$/Tm
	COSTOS DIRECTOS	17,48	\$/Tm

Ítem	Costos indirectos	Costo (\$)	Unidad
1	Imprevistos 5 %	0,87	\$/Tm
2	Gastos generales 10 %	1,75	\$/Tm
	COSTOS INDIRECTOS	2,62	\$/Tm
	COSTO TOTAL	20,10	\$/Tm

Fuente: U.E.A Tambomayo

Tabla 21: Costo de explotación de sostenimiento con cable bolting

Ítem	Costos directos	Costo (US\$)	Unidad
1	Costo de perforación y voladura	5,05	\$/Tm
2	Costo de sostenimiento	5,15	\$/Tm
3	Costo de limpieza	2,12	\$/Tm
4	Costo de relleno	1,76	\$/Tm
5	Costo servicios mina	2,35	\$/Tm
	COSTO DIRECTO	16,43	\$/Tm



Ítem	Costos indirectos		Costo (US\$)	Unidad
1	Imprevistos	5 %	0,82	\$/Tm
2	Gastos generales	10 %	1,64	\$/Tm
	COSTO INDIRECTOS		2,46	\$/Tm
	COSTO TOTAL		18,89	\$/Tm

Fuente: U.E.A Tambomayo



V. CONCLUSIONES

Los costos de instalación de sostenimiento del sistema de perno Split set y malla electrosoldada ha ascendido a 41,89 US\$/m² en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

Los costos de instalación de sostenimiento del sistema Cable Bolting ha ascendido a 32,23 US\$/m² en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

Los costos de sostenimiento mediante el sistema Cable Bolting se ha optimizado de 41,89 US\$/m² a 32,23 US\$/m², con una diferencia de 9,66 US\$/m² en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.



VI. RECOMENDACIONES

1. El sostenimiento mecanizado del sistema Cable Bolting es el más recomendable en el tajeo de explotación Paola Norte de la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

2. Se recomienda realizar el estudio geomecánico detallado de otras labores subterráneas para determinar el tipo de sostenimiento más adecuado según las características del macizo rocoso en la U.E.A. Tambomayo, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – Arequipa.

3. Se recomienda el uso de otros sistemas de sostenimiento mecanizado tales como los pernos helicoidales hidrabol y swellex que proporcionan buenos resultados por su mayor adherencia en las labores de explotación.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- CAPACITACIÓN Y SERVICIO TÉCNICO MINERO E.I.R.L.(2010),*Estabilizador de fricción Split set cementado.*
- ESPINOZA OBER, JHONY (2009), *Tipos de roca y sostenimiento a aplicarse en la U.E.A. Paula.*
- FLORES SONCCO, EDWARD (2001),*Análisis y diseño de soporte en minería subterránea, Pernos de anclaje más resina en la rampa 623, Mina San Rafael.*
- INDUSTRIA DE FORTIFICACIÓN MINERA S.A.C. (2010), *Split set en línea.*
- INTERNATIONAL ROLLFORMS INC. (2002), *Split set.*
- MALDONADO ZORRILLA, LUIS (2008), *Aplicaciones geomecánicas en Mina Chungar.*
- MINING ROCK, (2011), *Empresa productora de elementos metálicos para fortificación. Tipo Split set- Chile.*
- PATRICK SCHWISER, ANDREA ROTH Y AUGUSTO ALZA (2009), *Sostenimiento en minas subterráneas mediante mallas romboidales de alambre de acero de alta resistencia.*
- PROMEC FORTIFICACIONES S.A.,(2010), *Catálogo de productos, proveedora de mecanizados San Bernardo- Chile.*
- QUILCA ALEJO, MARIELA, (2005), *Sostenimiento en minería subterránea COSUDE- proyecto GAMA.*
- RAMIREZ HUAMAN, JORGE (2005), *Sostenimiento, módulo de capacitación técnico, Empresas Minera MACDESA.*
- RAMIREZ S., JORGE,(2000), *Parámetros geomecánicos para sostenimiento en minería subterránea, Área de planeamiento, Mina Catalina Huanca.*



- ROS ESTEBAN, ANTONIO (2 006), *Proyecto, manual de anclaje para sostenimiento en minería y obra civil*, Universidad Politécnica de Cartagena.
- SONCO CASTRO, GUILLERMO (2005),*Informe de trabajo profesional, Experiencias del empleo de sostenimiento práctico minero en la Cia Minera Huarón.*
- TORRES CJUNO, CRISTIAN ERNESTO,(2011), *Análisis del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada aplicado en labores de explotación en la Unidad Minera EL COFRE- CIEMSA.*
- TORRES YUPANQUI, LUIS (2004),*Capacidad de anclaje de los pernos de roca.*
- TUBOS Y PERFILES CL. *Accesorios- Malla electrosoldada, Empresa de fabricación y distribución de productos para fortificación minera.*

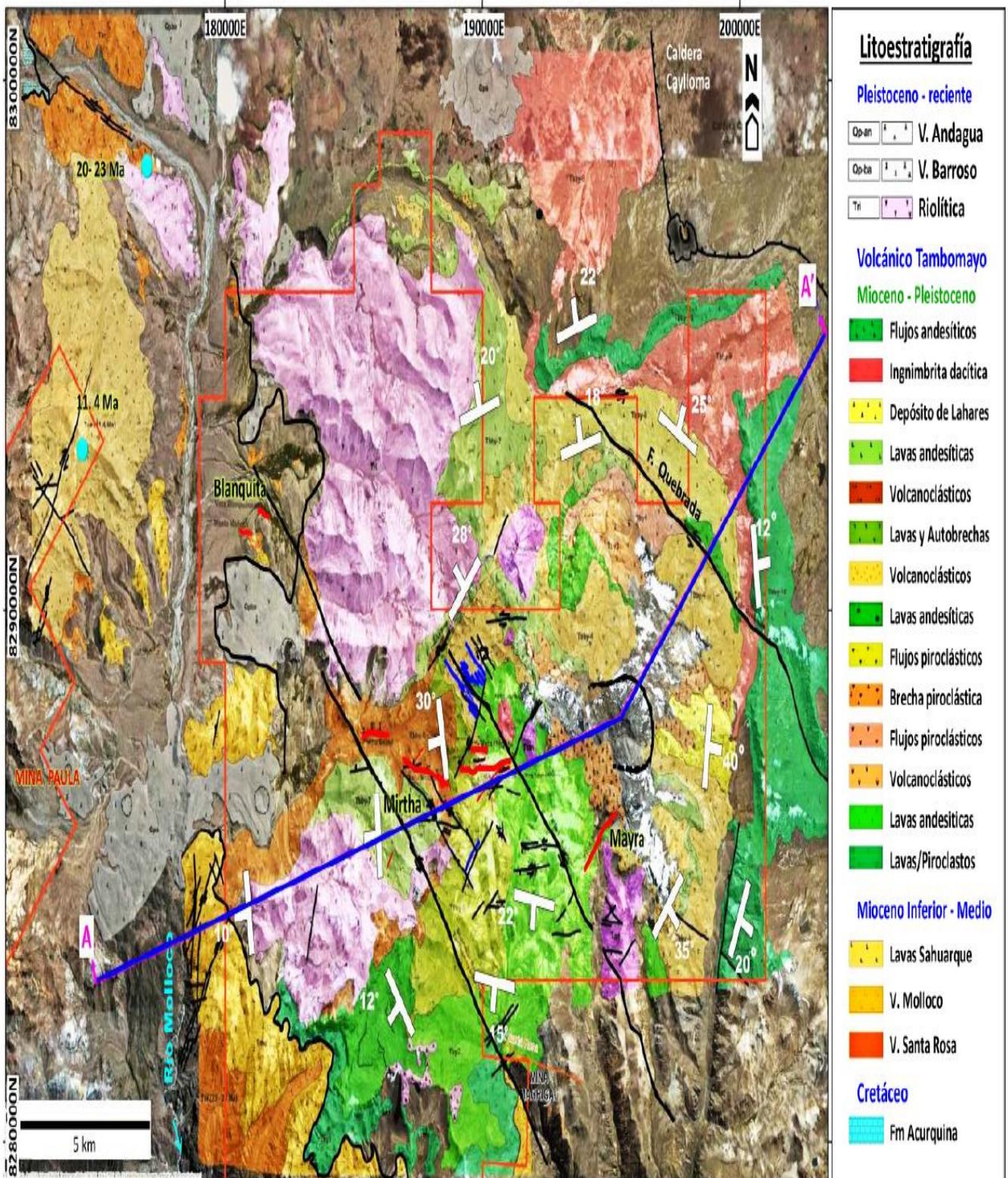


ANEXOS

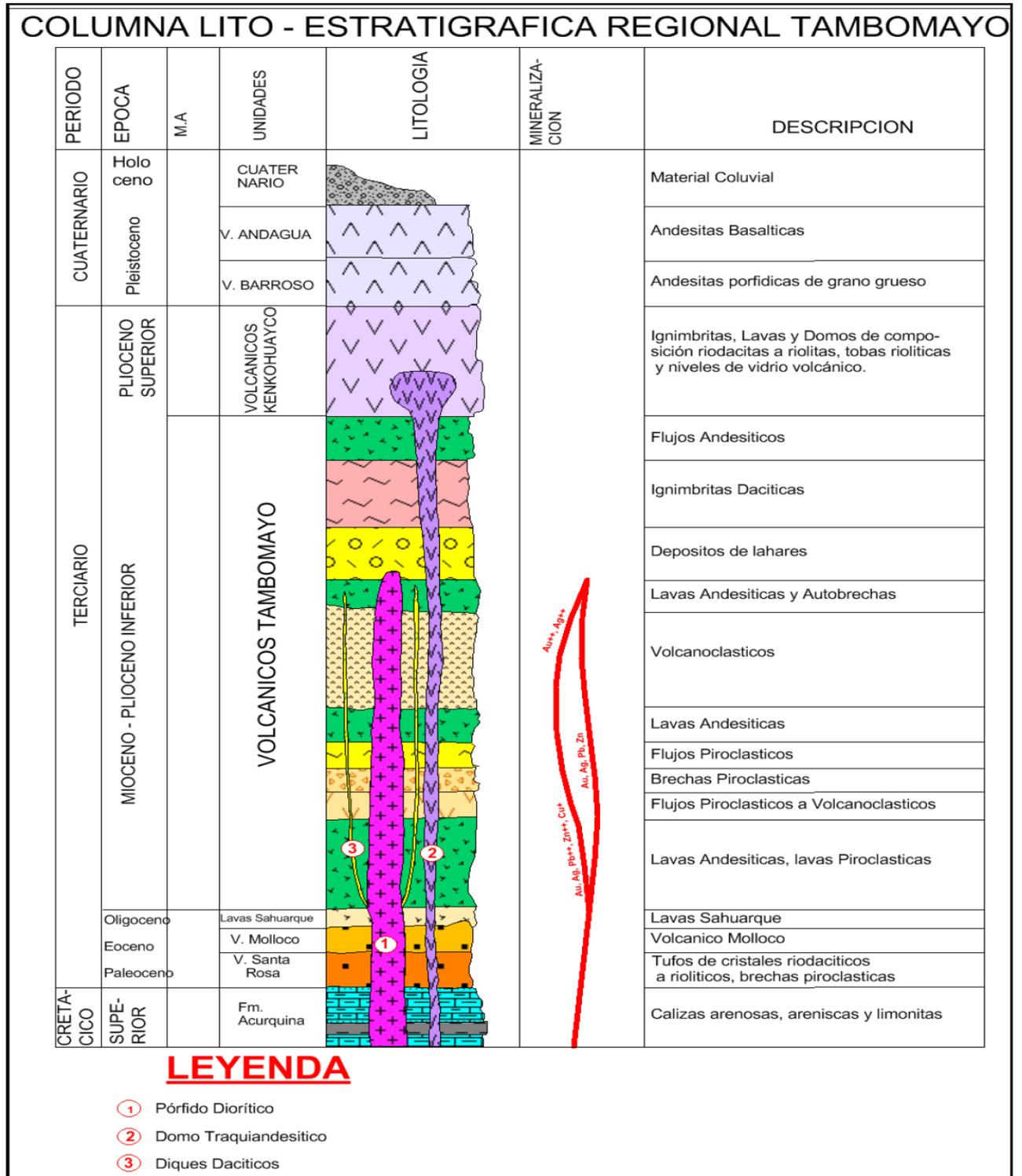
ANEXO N° 1: Plano de ubicación



ANEXO N° 2: Plano de geología local



ANEXO N° 3: Columna estratigráfica Unidad Tambomayo



ANEXO N° 4: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA(GSI)

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades.		CONDICIÓN SUPERFICIAL					
ESTRUCTURA		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)	MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)	
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP	
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP	
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP	
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP	
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP	

ANEXO N° 5: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

(GSI) MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
<p>De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.</p>		<p>MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)</p> <p>BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)</p> <p>REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc. 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)</p> <p>POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)</p> <p>MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)</p>				
	<p>LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fractura por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)</p>	95	90	85	80	
	<p>MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)</p>		75	70	65	60
	<p>MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)</p>			55	50	45
	<p>INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)</p>				40	35
	<p>TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>					30
						25
						20
						15
						10
						5