

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**REDUCCION DE COSTOS DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE ANÁLISIS
COMPARATIVO DE MADERA VS PERNOS SPLIT SET Y MALLA
ELECTROSOLDADA EN LABORES SUBTERRÁNEAS DE LA UNIDAD
MINERA ESPERANZA - AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. DEMMERY CORRALES ZAMALLOA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS

REDUCCIÓN DE COSTOS DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE ANÁLISIS COMPARATIVO DE MADERA VS PERNOS SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LABORES SUBTERRÁNEAS DE LA UNIDAD MINERA ESPERANZA – AREQUIPA

PRESENTADO POR:

Bach. DEMMERY CORRALES ZAMALLOA

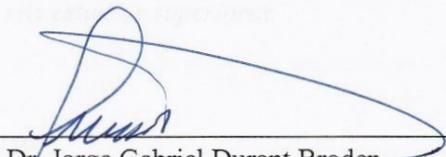
PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

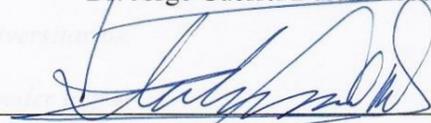
PRESIDENTE

:


Dr. Jorge Gabriel Durant Broden

PRIMÉR MIEMBRO

:


Ing. David Velásquez Medina

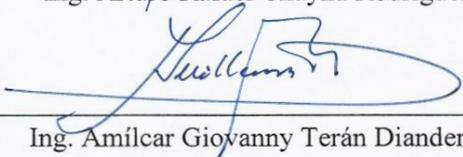
SEGUNDO MIEMBRO

:


Ing. Arturo Rafael Chayña Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS

:


Ing. Amílcar Giovanni Terán Dianderas

Área: Ingeniería de Minas

Tema: Análisis de costos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de diciembre del 2019

DEDICATORIA

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

A mis hermanos Felipe, Carmen, Emanuel, Gabriela y cuñada Othilia, quienes me apoyaron y alentaron en los momentos difíciles de mi vida estudiantil y así concluir mis estudios superiores.

A mi enamorada Fabiola Medina, por su apoyo incondicional durante mis estudios universitarios; por su aliento a seguir superándome y poder lograr mis objetivos profesionales y personales.

AGRADECIMIENTO

Primeramente mi gratitud a Dios infinito creador del universo y la vida, por concederme salud y fuerza para culminar mis estudios universitarios.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por brindar los claustros universitarios para mi formación académica y profesional en ésta casa superior de estudios.

A la Facultad de Ingeniería de Minas a su plana docente y administrativo por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas

Mi gratitud y especial agradecimiento a la Unidad Minera Esperanza – Arequipa por haber facilitado y dar el apoyo necesario para de realizar el presente estudio de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE GRAFICOS	9
ÍNDICE DE CUADROS	110
RESUMEN	

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Pregunta general	15
1.2.2. Preguntas específicas	15
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5. UBICACIÓN	17
1.6. ACCESIBILIDAD	17
1.7. CLIMA.....	18
1.8. FLORA	18
1.9. FAUNA.....	19
1.10. GEOLOGÍA	19
1.10.1. Geología regional.....	19
1.10.2. Geología local	21
1.10.3. Geología estructural	24
1.10.4. Geología económica	25

CAPITULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA	29
2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
2.2. BASES TEÓRICAS	30
2.2.1. Sostenimiento en minería subterránea.....	30
2.2.2. Sostenimiento de labores horizontales	35
2.2.3. Diseño de sostenimiento	37
2.2.4. Características del sostenimiento a instalar	38
2.2.5. Características de la roca	42
2.2.6. Masa rocosa	43

2.2.7.	Condiciones de la masa rocosa	44
2.2.8.	Criterios según las características del fracturamiento	44
2.2.9.	Criterios según las condiciones de las paredes de discontinuidades	45
2.2.10.	Condiciones geomecánicas	45
2.2.11.	Clasificación geomecánica.	46
2.2.12.	Estimación de RQD, RMR, GSI.....	48
2.2.13.	Geomecánica.....	54
2.2.14.	Mecánica de rocas.....	54
2.2.15.	Beneficios de la geomecánica.....	55
2.2.16.	Mapeo geomecánico	56
2.2.17.	Instrumentos y equipos para el control del comportamiento del macizo rocoso	57
2.2.18.	Pernos de roca.....	58
2.2.19.	Split set	58
2.2.20.	Tipos de Split set.....	61
2.2.21.	Malla electrosoldada	62
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	64
2.3.1.	Sostenimiento	64
2.3.3.	Geo mecánica	64
2.3.4.	Cuadros de madera	65
2.3.5.	Puntales.....	65
2.3.6.	Perforación.....	65
2.3.7.	Perno Split set.....	65
2.3.8.	Malla electro soldada.....	65
2.3.9.	Falla	65
2.3.10.	Fisura	66
2.3.11.	Macizo rocoso.....	66
2.3.12.	Costos.....	66
2.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	66
2.4.1.	Hipótesis general	66
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	67
CAPITULO III		
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	68
3.2.	METODOLOGÍA POR OBJETIVOS	69
3.3.	POBLACIÓN.....	69
3.4.	MUESTRA	69

3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	70
3.5.1.	Variable independiente	70
3.5.2.	Variable dependiente	70
3.6.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	71
3.6.1.	Técnicas para el procesamiento de la información.....	71
CAPITULO IV		
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1.	RESULTADOS	72
4.1.1.	Tipo de sostenimiento aplicado en labores de explotación	72
4.1.2.	Ciclo de minado aplicando el sostenimiento mecanizado.	74
4.1.3.	Costo de compra de elementos de sostenimiento mecanizado.	76
4.2.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	76
4.2.1.	HIPOTESIS 1.	76
4.2.2.	HIPOTESIS 2	78
4.2.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES	81
	CONCLUSIONES.....	821
	RECOMENDACIONES	832
	REFERENCIAS	843
	ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Geomecánica del Tajeo San Luis	73
Tabla 2: Tiempo de minado con sostenimiento convencional (Madera)	75
Tabla 3: Tiempo de minado con sostenimiento mecanizado (Perno Split set y Malla Electrosoldada)	75
Tabla 4: Evolución de precios incluidos el transporte (en soles)	78
Tabla 5: Eficiencia y productividad con sostenimiento split set y malla vs. madera	79
Tabla 6: Costo de explotación de sostenimiento con Split Set y Malla Electrosoldada	80
Tabla 7: Costo de explotación de sostenimiento con madera.....	80

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1: Tiempo minado.....	75
GRAFICO 2: Eficiencia de la madera	79
GRAFICO 3: Costos de explotación.....	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Coordenadas UTM de la Concesión Minera	17
Cuadro 2: Ubicación del Derecho Minero Esperanza de Caravelí.....	17
Cuadro 3: Ruta de Acceso a la Mina Esperanza de Caraveli.....	18
Cuadro 4: Métodos de clasificación de macizos rocosos.....	47
Cuadro 5: Relación RQD – Calidad de roca.	49
Cuadro 6: Valores de clasificación del RMR.....	51
Cuadro 7: Características Físico-mecánicas de la malla	62
Cuadro 8: Características Físicas de la Malla Electro soldada.....	62
Cuadro 9: Operacionalización de variables.....	70

RESUMEN

La Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa se encuentra ubicada en la jurisdicción del Distrito de Ático, Provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, actualmente está explotando el yacimiento aurífero mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para el sostenimiento de las labores mineras viene utilizando como elemento principal de sostenimiento cuadros de madera y puntales, al realizar la evaluación en la Galería San Fernando de una sección de 3.0 m x 2.80 m y de una longitud de 180 metros lineales en el tajeo de explotación Gisela tiene problemas de elevados costos de sostenimiento en las labores de explotación.

El estudio de investigación tiene como objetivo reducir los costos de sostenimiento mediante el análisis comparativo de madera vs pernos split set y malla electrosoldada en las labores subterráneas de la Unidad Minera Esperanza – Arequipa. La metodología para realizar el estudio de investigación ha consistido en su etapa inicial en evaluar el sistema de sostenimiento con madera considerando las ventajas, desventajas y las deficiencias que presenta el uso de la madera, analizando los factores que influyen en los costos de madera, costos de transporte, costos de instalación y el tiempo de duración de la madera, los mismos que se han registrado en sus respectivas fichas de control. Posteriormente en el presente 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 con pernos split set y malla electrosoldada según las características geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento aurífero de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa. Finalmente para determinar el sistema de sostenimiento a utilizar se ha realizado el análisis comparativo de los costos de sostenimiento con madera y los costos con pernos split set y malla electrosoldada, llegando a las siguientes conclusión: el sistema de sostenimiento con cuadros de madera y puntales, ha incurrido en un costo total de 22.39 US \$/Tm de mineral y con el sistema de sostenimiento mecanizado de pernos splitset y malla electrosoldada se ha reducido a un costo total de 20.19 US \$/Tm de mineral con una diferencia de 2.20 US \$/Tm de mineral extraído de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. –Arequipa.

Palabras clave: Reducción, costos, sostenimiento, pernos, malla electrosoldada.

ABSTRACT

The Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. - Arequipa is located in the jurisdiction of the Atico District, Caravelí Province, department of Arequipa, the goldfield is currently being exploited using the Conventional Ascendant Cut and Fill method and for the support of mining work it is using as the main element of support of wooden frames and props, when evaluating in the San Fernando Gallery a section of 3.0 mx 2.80 m and a length of 180 linear meters in the exploitation cut-off Gisela has problems of high maintenance costs in the exploitation work.

The research study aims to reduce maintenance costs through the comparative analysis of wood vs split set bolts and welded mesh in the underground workings of the Unidad Minera Esperanza - Arequipa. The methodology to carry out the research study has consisted in its initial stage in evaluating the system of support with wood considering the advantages, disadvantages and deficiencies of the use of wood, analyzing the factors that influence wood costs, costs of transport, installation costs and the duration of the wood, which have been registered in their respective control sheets. Subsequently, in the present research study, the material costs, installation costs, duration and safety offered by the split set bolt and electro-welded mesh support system according to the geomechanical characteristics of the rock mass of the goldfield of The Hope Mining Unit of Croacia EIRL Company - Arequipa. Finally, in order to determine the support system to be used, a comparative analysis of the support costs with wood and the costs with split set bolts and electro-welded mesh has been carried out, reaching the following conclusion: the support system with wooden frames and struts , has incurred a total cost of US \$ 22.39 / Tm of ore and with the mechanized support system of splitset bolts and welded mesh has been reduced to a total cost of US \$ 20.19 / Tm of ore with a difference of US \$ 2.20 / Tm of ore extracted from the Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. Company –Arequipa.

Keywords: Reduction, costs, support, bolts, mesh, welded.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera Esperanza – Arequipa, en la actualidad está explotando el yacimiento aurífero mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para el sostenimiento de labores mineras subterráneas viene utilizando como elemento principal de sostenimiento cuadros de madera y puntales, al realizar la evaluación en la Galería San Fernando de una sección de 3.0 m x 2.80 m y de una longitud de 180 metros lineales en el tajeo de explotación Gisela, tiene problemas de elevados costos de sostenimiento en las labores de explotación y como alternativa se ha planteado el sistema de sostenimiento con pernos Split set y malla electrosoldada, cuya aplicación es económicamente favorable para la Empresa Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.

El estudio de investigación se ha dividido en 6 capítulos, en el Capítulo I, se considera la Introducción del estudio de investigación, en el Capítulo II, se ha considerado la Revisión de literatura, analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el estudio de investigación, en el capítulo III, se describe los Materiales y métodos utilizados en la investigación, en el Capítulo IV, se muestra los Resultados y discusiones de la reducción de costos de sostenimiento utilizados en la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa, en el capítulo V se detalla las conclusiones y en el capítulo IV se detalla las recomendaciones.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa viene explotando el yacimiento mineral mediante el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional y como elemento principal de sostenimiento está utilizando cuadros de

madera. Al realizar la evaluación en la Galería San Fernando de una sección de 3.0 m x 2.80 m y de una longitud de 180 metros lineales en el tajeo de explotación Gisela, tiene problemas de elevados costos de sostenimiento en las labores de explotación debido a la poca duración de la madera y por la humedad de las labores se honguea y requiere constante cambio de puntales, elevado costo de transporte y abastecimiento, mayor tiempo de instalación, requiere un personal especialista en trabajos de madera. El costo de sostenimiento con madera ha sido de 22.39 US \$/Tm. De continuar con este problema afectaría al presupuesto de ejecución y mayor costo de producción en la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.

En la actualidad se tiene problemas con el abastecimiento y transporte de madera a las labores subterráneas requiriendo un tiempo adicional en el ciclo de minado, siendo un promedio de una a dos horas incluyendo el traslado desde la superficie hacia interior mina y el izaje de la madera hasta la labor misma se realiza de forma manual y con winches neumáticos y esta actividad reduce el tiempo en las otras etapas de minado, específicamente en el tiempo de limpieza de mineral, disminuyendo la eficiencia y la productividad del tajeo.

En zonas húmedas el rendimiento de madera es menor, es decir los puntales se pandea y requiere el cambio inmediato con otro puntal para evita deslizamientos.

Con respecto a la perforación y voladura en el sostenimiento con cuadros de madera, la perforación se realiza en algunos casos en realce para luego realizar un desquinche para armar los cuadros, pero en la mayoría de los casos se realiza un minado horizontal lo que nos da como resultado baja productividad del tajeo para reducir los costos de sostenimiento se ha optado como alternativa el sistema de sostenimiento de pernos Split Set y malla electrosoldada, cuya aplicación tendrá

mayor tiempo de duración, rendimiento y seguridad para realizar las operaciones subterráneas en la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la reducción de los costos de sostenimiento mediante el sistema de pernos Split set y malla electro soldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa?

1.2.2. Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es el costo de sostenimiento con madera en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa. ?
- b) ¿Cuál es la reducción los costos de sostenimiento con pernos split set y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Reducir los costos de sostenimiento mediante los pernos Split set y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar los costos de sostenimiento con madera en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.
- b) Reducir los costos de sostenimiento con pernos split set y malla

electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa, según los estudios de cubicación de reservas de mineral, posee un potencial de 634 578 TM de mineral probado y 317 289 TM de mineral probable con minerales de oro con una ley promedio de 5.6 g/t y una ley de corte 2.3 g/t de oro y para la explotación del yacimiento mineral son necesarios diferentes labores subterráneas los mismos que requieren sostenimiento para la seguridad de los trabajadores.

La Unidad Minera Esperanza, en la actualidad está explotando el yacimiento aurífero mediante el método de explotación de Corte y Relleno Ascendente Convencional y para garantizar la seguridad de los trabajadores de la Empresa minera, viene utilizando para las labores de explotación el sistema de sostenimiento con cuadros de madera, 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 reemplazar la madera con pernos split set y malla electrosoldada, cuya aplicación generará mejores beneficios económicos para la Unidad Minera Esperanza.

Por tanto el presente estudio de investigación ha sido de mucha importancia para la Empresa minera, obteniendo mayor garantía en la seguridad de los trabajadores y mejores resultados económicos y mayor rentabilidad al reducir los costos de sostenimiento, con lo que se justifica la ejecución del estudio de investigación para la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

1.5. UBICACIÓN

La Unidad Minera Esperanza de Caravelí, se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de Los Andes, dentro de la jurisdicción del distrito de Ático, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, dentro de la Carta Nacional del IGN denominada 32-O (Chaparra). Los derechos mineros comprenden una extensión de 1200 hectáreas. (Ver cuadro 1.2).

Cuadro 1: Coordenadas UTM de la Concesión Minera

CÓDIGO	NOMBRE CONCESIÓN	AREA (hás)
01-01030-06	Esperanza de Caravelí Este	200
01-01169-01	Esperanza de Caravelí	1000
01-02852-07	Esperanza de Caravelí Norte	600

Fuente: Mina Esperanza de Caravelí – Arequipa.

Cuadro 2: Ubicación del Derecho Minero Esperanza de Caravelí

VÉRTICES	COORDENADAS UTM	
	NORTE	ESTE
1	8244000	646000
2	8244000	641000
3	8242000	641000
4	8242000	646000

Fuente: Mina Esperanza de Caravelí – Arequipa.

1.6. ACCESIBILIDAD

El área donde se ubica la concesión minera es accesible desde la Ciudad de Arequipa y/o Lima, El acceso a la mina se realiza a través de la carretera Panamericana Sur siguiendo la ruta del siguiente cuadro:

Cuadro 3: Ruta de Acceso a la Mina Esperanza de Caraveli.

Vía	(Km)	Tiempo (Hrs)
Puno – Arequipa	220	5
Arequipa – Ático	413	6
Ático – Km 40	40	1
Km 40 - Mina Esperanza	34	1
Total	707	13

Fuente: Mina Esperanza de Caraveli – Arequipa.

1.7. CLIMA

La temperatura promedio anual en la zona, es de 18 - 20° C por lo cual la región se considera técnicamente como semi-cálida. Las diferencias entre las temperaturas diurnas y nocturnas son más acentuadas, a causa de las características geográficas de la zona.

Los vientos fuertes y frecuentes se producen mayormente en los meses de agosto a octubre, siendo la dirección de los vientos de Este a Oeste con velocidades de 30 km/hr.

Según la estación meteorológica de Chaparra, la precipitación anual promedio es de 2,1 mm. Es importante mencionar que en la región ocurren sequías prolongadas y que esporádicamente se presentan lluvias extraordinarias que solo duran algunas horas.

1.8. FLORA

Debido a la aridez de la zona por ausencia de lluvias; el lugar presenta flora casi nula. Alguna vegetación que se presenta, es tipificada como Semidesértica, similar a

la del desierto costero y la serranía esteparia, plantas gramíneas de aspecto ralo al igual que los matorrales.

En esta zona prevalece un clima semi-cálido muy seco (desértico o árido subtropical). Las condiciones climáticas son una de las trabas que dificultan el desarrollo de la agricultura.

No hay visible actividad agrícola, predominando un ambiente árido; apareciendo esporádicos Cactus y en algunos lugares plantas raquílicas temporales, especies halófilas, distribuidas en pequeñas manchas verdes dentro del extenso y monótono arenal grisáceo eólico.

1.9. FAUNA

La fauna, desde el punto de vista animales ganaderos, es casi nula debido a que no se desarrollan alimentos de tipo vegetativo y arbustivo para animales; a este hecho se incrementa la clara escasez de agua y las características climáticas.

Sin embargo, la fauna natural, presenta algunas especies de animales menores (roedores, reptiles, insectos, etc.), en número muy escaso; mejor dicho, las zonas no favorecen el desarrollo de una mayor diversidad de especies.

No es frecuente la presencia de aves a excepción del Gallinazo el cual logra aclimatarse a las condiciones de la zona; no existe de igual modo animales en peligro de extinción o especies amenazadas que habiten en el área donde se desarrollará el proyecto.

Las especies que se observan en el área del proyecto son: águila, alacrán, serpiente, gallinazo, guanaco, lagartija, lechuza, rata, ratón, vizcacha, zorro.

1.10. GEOLOGÍA

1.10.1. Geología regional

Regionalmente la mina Esperanza de Caravelí, está dentro de una faja de cobre-oro, que sigue un alineamiento Este-Oeste y en ella se encuentran yacimientos de oro de mediana y pequeña escala como Ocoña, Calpa, Caravelí, Ishihuinca, Bonanza, Orión, Eugenia, Clavelinas.

La mineralización está en vetas angostas (de 0.15 a 0.80 m de espesor), con contenido de oro, cobre y valores subordinados de plata. Se han identificado 19 vetas de las cuales 4 están en operación, la mineralogía de las vetas está constituida por minerales de cobre como: calcosina, calcopirita, covelina, cuprita, malaquita y crisocola. El oro se presenta en estado nativo y como inclusiones en la piritita y la cuprita.

Debido a los movimientos orogénicos de la corteza terrestre y dentro de la deformación de plegamientos de la zona costera en esta parte del territorio por las fuerzas compresionales de la orogenia Andina es que se podría indicar que existen dos fallas regionales de rumbo que se ubicarían en los lineamientos estructurales NE (actuando como corredor tectónico) dentro de las Quebradas de los Ríos Atico y Cháparra respectivamente; que controlan la ocurrencia de las vetas de La Mina Esperanza de Caravelí; así como la mineralización periférica con la misma o similar orientación de las vetas de las otras minas cercanas como son: Torrecillas, Virgen de Chapi, Cambio-Gallinazo, Rey Salomón, Tierra Prometida y Mina Cortadera 7 (Altura del Km 30 a Caravelí (margen derecha del río Ático).

En la zona de trabajo existen fallas pre-minerales que ocurren entre estas dos fallas principales de rumbo y que podrían corresponder al Modelo Riedel; con un rumbo desde N60°W hasta N85°W y casi E-W y con buzamientos de 60° a 75° hacia el SW y a veces llegan a 90° acercándose a la verticalidad y en otros con

buzamiento local hacia el sur o norte y en el caso de la Veta Aurora, que es hacia el norte.

Este tipo de fracturas se emplazaron primero en las rocas andesíticas e intrusivas del Complejo Bella Unión junto con el Batolito de la Costa y posteriormente ocurrió la mineralización de las diferentes vetas auríferas meso termales conocidas como:

- Gisela
- Gisela Techo
- Carmen

1.10.2. Geología local

En la conformación geológica de la zona tenemos rocas ígneas y hipabisales cuyas edades varían desde el cretáceo superior hasta el terciario más moderno, los depósitos más jóvenes (pleistoceno reciente) tenemos a material aluvial, coluvial, y eluvial distribuido a manera de relleno de la quebrada principal.

a. Depósitos cuaternarios

Los depósitos aluviales se presentan en la quebrada cortadera, formado por fragmentos sub redondeados a redondeados de diferente tamaño bien consolidado por una matriz de limos y arcillas. Estos fragmentos llegan hasta 5 metros de diámetro.

Los depósitos aluviales se encuentran en los afloramientos de la roca intrusiva en pequeñas acumulaciones.

Los depósitos eólicos producto de la acción del viento son observados en las falderas de los cerros como lentes de ceniza volcánica las dimensiones de estos lentes son de 1 metro de ancho por 7 a 8 metros de largo.

b. Rocas intrusivas

Afloran en gran extensión, representada por la granodiorita, perteneciente a la superunidad Tiabaya en el batolito de la Costa del Cretáceo Superior a Terciario Inferior. El batolito de la costa se encuentra emplazado paralelamente a las márgenes activas entre la placa de Nazca y Sudamericana, y en forma alargada, siguiendo una gran zona de falla de rumbo NW – SE, que es el rumbo de la estructura regional.

El Batolito de la costa está dividido en tres segmentos, segmento Norte, segmento Lima, y Segmento Arequipa, cada segmento constituye un gran complejo tanto por su estructura como por su composición mineralógica.

Estas rocas intruyen rocas del complejo basal y están cubiertas por formaciones terciarias, a la vez el batolito de la Costa está intruido por rocas hipabisales de naturaleza volcánica, en forma de diques.

La súper unidad Tiabaya se distingue por su composición mineralógica, estructura y textura, ya que no presenta cambios notables dentro de una superunidad, los máficos (biotita, hornblenda y piroxenos) son los factores para la diferenciación de las grandes unidades.

c. Granodiorita

Esta roca intrusiva pertenece a la súper unidad Tiabaya, integrante del batolito costanero, ampliamente distribuido en la zona, sus afloramientos se encuentra bien expuestos, esta roca se encuentra cortada por una gran cantidad de diques andesíticos de color gris oscuros a gris verdosos, con

potencias variables de 0.10 m. a 1.5 m. y dirección variable E-W a N 80° W. La granodiorita macroscopicamente presenta una textura granular fanerítica, holocristalina, de color gris claro en roca fresca y con presencia de xenolitos demicrodiorita de 2 cm. a 50 cm de diámetro.

Su composición macroscópica es la siguiente:

Por el alto contenido de feldespatos calcosódicos y bajo porcentaje de ortosa se la clasifica como una granodiorita, este cuerpo intrusivo granodiorítico es cortado por diques de composición ácida como primera manifestación, compuesto esencialmente de Cuarzo, feldespato y plagioclasas, emplazado después de haberse formado el cuerpo intrusivo, las potencias variables de 0.50 m. a 2 m. y rumbos de N 25 W, N 30 W.

d. Rocas volcánicas

En la zona de estudio afloran remanentes volcánicos que cortan el cuerpo intrusivo, como diques de composición andesítica y zona de brecha de intrusión de grandes dimensiones que afloran en las cumbres de los cerros.

e. Diques andesíticos.

En la zona de estudio proliferan gran cantidad de diques de naturaleza volcánica y de edad más reciente, estos diques se presentan en formas individuales (potencia de 0.50 m.), y en forma de enjambres concentrados en ciertas áreas como es el caso del cerro Cruz de Oro en dirección SE del área de estudio (potencia variable de 0.10 m. a 0.50 m.). La mayoría de estos diques presentan rumbos generales E – W y N 75° W. Muchos de estos diques tienen relación con la mineralización de oro debido a que sirven como conductos de las soluciones hidrotermales, y esto es corroborado en el paralelismo entre los diques y las menas.

La actividad hidrotermal que se presenta está relacionada con la argilización específicamente con la caolinita, cloritización, y la silicificación. Los diques presentan colores gris verdosos a gris oscuros con textura afanítica, fuerte fracturamiento y presencia de alteración clorítica en diferentes grados.

f. Stock Dacita porfirítica.

En la zona de estudio afloran cuerpo producto de la alta presión y temperatura como son la Dacita Porfirítica, que probablemente se correlacione con la dacita de Molles un cuerpo Hipabisal que aflora en dirección NW con respecto a la zona de estudio, con el cual se cree que se emplazó la mineralización, esta brecha de intrusión en el área de estudio se puede observar de grandes a pequeñas dimensiones, presenta una matriz afanítica de color verde grisáceo, su textura es porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y hornblendas bien desarrollados, sus afloramientos son generalmente en la cumbres de los cerros y sus dimensiones son variables van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho.(Ver anexo N° 3).

1.10.3. Geología estructural.

A nivel regional, la zona está afectada por un graben formado por las fallas regionales Pan de Azúcar (Norte) y la falla Medanos (Sur); y más hacia el NW ocurre la Falla Calpa; todas estas fallas hundieron la parte central más de 150m, respecto a las rocas del flanco Norte y Sur.

Así mismo, toda la región desde Nazca a Ocoña; las vetas favorables tienen un rumbo de E-W que obedece al control de la gran falla IQUIPI, a nivel local, la mina se encuentra al sur de este Graven, su control estructural está afectado

principalmente por la falla Medanos. Esta falla regional denominada Los Medanos, de rumbo N 80 W y buzamiento 60° SW, tiene un desplazamiento Sinestral Inversa, esta falla ha provocado que el bloque norte se haya hundido más de 150m (Comprobado en el Nv 1890 y Nv 1840, de la veta Aurora)

El Sistema estructural encontrado para la mina Esperanza, estaría formado por el Sistema Reeder, el cual indica que en los procesos de deformación por los esfuerzos que se ejercen durante la compresión, las primeras fallas que ocurren son las “S”, con ángulos de 17° respecto a la línea (Falla Basamento), a medida que se sigue el esfuerzo, se forma la Falla Basamento, sellando estas fallas del tipo “S”, son estas fallas del tipo “S” las que albergan mejor mineralización

En la mina Esperanza las falla Basamento serian 4 grandes estructuras de rumbos NNW-SSE y buzamientos de 60° al SW, paralelas a la falla Médanos, de estas grandes estructuras mineralizadas se están desprendiendo estructuras de segundo orden de rumbos N80-110E, son estas estructuras secundarias (Splits), las que hasta el momento son zonas favorables para albergar mineralización, estos Splits, tienen buzamientos casi verticales, Vetas Aurora, Carmen, Gisela Techo, Split Gisela, Esperanza etc.

Así mismo durante el estado de deformación se forman la falla de tercer orden llamadas fallas “P”, ortogonales a la falla basamento de rumbos N-S que provocan desplazamientos gravitacionales, cortos, así mismo estas fallas han sido reactivadas después de la mineralización.

La falla Medanos ha sido la falla principal que ejerció el control de la mineralización en la mina, esta falla ha deformado a las rocas del cretáceo superior, ha sido activa durante el neógeno mioceno y sigue activa en la actualidad.

1.10.4. Geología económica

Se considera como provincia aurífera a la zona comprendida entre Nazca y Ocoña debido a que se da la ocurrencia de vetas de oro, de apreciable longitud y potencia. Desde el punto de vista metalogénico el yacimiento de Cuatro Horas forma parte de esta provincia aurífera.

Este yacimiento es del tipo filoneano, emplazado en el Batolito de la Costa, en la zona de estudio afloran vetas paralelas entre sí, las estructuras mineralizadas tienen rumbos E – W y N 80 W con buzamientos de 30° NE, 45° NE y con una potencia de 0.10 m a 2.0 m. siendo la veta Cuatro Horas y Milagrosa de gran importancia por su potencia y leyes de oro.

a. Mineralogía

Los minerales que se describen se encuentran presentes en las vetas angostas y se pueden clasificar en dos grupos de acuerdo a su importancia económica.

b. Minerales de Mena

Teneos el oro principalmente, que se presenta en forma macroscópica oro nativo (charpas) que se da en las oquedades del cuarzo y también en la hematita, el oro microscópico o fino se manifiesta mayormente en la limonita.

El cual está netamente asociado al oro puesto que la piritita por acción meteórica del agua ha originado cavidades donde el oro se depositó en forma nativa es decir formo una estructura Boxwork o más conocido como criadero, en donde el oro se deposita, tal es así que se ha encontrado mayores leyes en oro nativo en este tipo de cuarzo.

c. *Minerales de Ganga*

Se distinguen minerales característicos de la zona de óxidos.

d. *Zona de óxido.*

Principalmente Cuarzo (SiO_2) lechoso y blanco, hematina (Fe_2O_3), limonta ($\text{FeO}(\text{OHnH}_2\text{O})$), calcita (CaCO_3) gris oscura y piritita como cobre.

e. *Génesis del yacimiento*

El yacimiento tiene su origen en la geotectónica donde se relaciona a las áreas magmáticas continentales, es decir relacionado a la subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

El tipo de yacimiento aurífero por su morfología, relaciones texturales, y secuencia paragenética, y las correlaciones de campo, se tiene que el yacimiento es un filón de tipo hidrotermal por las siguientes razones.

La mineralización se encuentra rellenando fracturas, la roca encajonante actúa como receptáculo de las soluciones hidrotermales ascendentes o hipogénicas, por esta consideración es un depósito epigenético.

f. *Tipos de depósito*

1. *Aspecto Metalogenético*

Regionalmente la mina forma parte de una franja de cobre-oro que sigue un alineamiento Este-Oeste y en ella se encuentran yacimientos de oro de mediana escala como Ocoña, Champune, Calpa, Caravelí (Chinito), Ishihuinca y San Luis. En la franja ocurren numerosos depósitos trabajados a pequeña escala como 4 Horas, Estrella, El Cambio, Torrecillas, Bonanza, Orión, Eugenia, Posco, Clavelinas, etc. Esta franja forma parte del cinturón aurífero Nazca-Ocoña. La Unidad Esperanza se sitúa en la parte central de la franja y su potencial corresponde a un yacimiento de pequeña escala.

2. Tipo de yacimiento

La mineralización está emplazada en fracturas de relleno (vetas), filoneano, de origen hidrotermal, la temperatura de formación corresponde a yacimientos mesotermales (100-200°C). Esperanza se encontraría en los niveles altos del sistema hidrotermal. Las principales alteraciones hidrotermales que afectan a las rocas encajonantes son la propilítica (clorita, epidota, calcita) y la argílica (caolinita). Las vetas destacan por su contenido de oro y cobre, con valores subordinados de plata. A su vez se encuentran vetas del tipo Cuarzo sericita con alto contenido de oro (Veta Karla, Coila, Noelia).

CAPITULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

Apaza, A. E. (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. (2009), en su tesis *“Ejecución y sostenimiento de labores de desarrollo en la Unidad Minera Paula S.A.C”*, 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 maderay 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., (2005), en su Informe de trabajo Profesional para optar el título Profesional de Ingeniero de minas , de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. 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. (Geological StrengthIndex) modificado y el mapeo geomecánico y partes diarios de control.

Torres, C. E., (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”*. Concluye que al realizar el reemplazo del tipo de sostenimiento mecanizado con pernos Split set y Malla Electrosoldada en las labores de explotación se reduce su costo de producción en 1,23US\$/Tm.. lo que representa el 7,5 % del costo total de todo el tajeo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. 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. (Torres, 2011).

a) *Sostenimiento con madera*

El sostenimiento con madera tiene por objeto mantener abiertas las labores mineras durante la explotación, compensando el equilibrio inestable de las masas de roca que soporta.

b) *Resistencia de la madera*

Un rollizo de madera, debido a su naturaleza celular puede ser considerado como un atado de tubos paralelos. Este resiste mucho mejor a la presión en contra de los extremos que la presión en contra de los lados.

Una elevada presión en contra de los extremos de un rollizo originará que este se parta longitudinalmente y luego falle. Una elevada presión en contra de los lados compactará las células, comprimiendo el rollizo. En caso de no tener soporte este rollizo se doblará y posteriormente fallará por ruptura. En las minas convencionales del Perú se usa más el eucalipto presentando características favorables para el sostenimiento. (Flores, 2001).

c) *Clases de terreno*

El conocimiento de las diversas clases de terrenos es fundamental para el enmaderador a fin de terminar la necesidad de sostenimiento de las labores.

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

- **Terreno compacto:** Es el formado por cristales o por partículas bien cementadas.
- **Terreno fracturado:** Muestra una serie de planos paralelos de discontinuidades como los planos de estratificación en la roca sedimentaria.
- **Terreno arcilloso:** Constituido por rocas casi elásticas que se deforman bajo la presión.
- **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.

e) Principios de sostenimiento con cuadros de madera

- La estructura debe ser colocada lo más cerca posible al frente para permitir solo el mínimo reajuste de terreno antes de dicha colocación.
- Ella debe ser rígida para que el reajuste que se produce después de la colocación sea reducido al mínimo.
- La estructura debe estar constituida por pieza fácil de construcción, manipuleo e instalación.
- Las partes de la estructura que han de recibir las presiones o choques más fuertes deben tener tales características y ubicación que trabajen con el menor efecto sobre la estructura principal misma.
- Ellas deben interferir lo menos posible a la ventilación y no estar sujetas a riesgos de incendio.
- Su costo debe de ser tan bajo como lo permita su rendimiento. (Ramírez, 2000).

f) Tiempo de vida de la madera

- La madera es el material más barato que puede utilizarse. En la mayoría de casos es satisfactorio; desde el punto de vista de su resistencia, pero su corta duración es la característica desfavorable.
- La duración de la madera en la mina es muy variable, pues depende de las condiciones en que trabaje, por ejemplo: La madera seca; dura más.

- La madera descortezada, dura más que aquella que conserve la corteza.
- La madera “curada” (tratada con productos químicos para evitar su descomposición) dura más que la que no ha sido tratada.
- La madera en una zona bien ventilada dura más que en una zona húmeda y caliente.
- Puede estimarse que la madera tiene una vida que fluctúa entre uno o tres años.

g) Fortificación con madera

Este tipo de sostenimiento es el más divulgado en nuestra minería y se aplica en todas las labores mineras como son: Galerías, cruceros, chimeneas, sub niveles, tolvas preparación de tajos y otros. (Flores, S. E.,2001).

La madera es el elemento de sostenimiento más antiguo que aun todavía se usa en el minado convencional, los cuadros de madera son instalados en zonas de roca fracturada a muy fracturada o en lugares donde existen altos esfuerzos y presiones.

h) Cuadros de madera

Son un tipo de estructura de sostenimiento de acuerdo al tipo de terreno y a condiciones especiales de cada Mina. Se utilizan en labores horizontales e inclinadas. Su dimensión está de acuerdo al diseño de la labor.

i) Tipos de cuadros

- Cuadro recto

Son usados cuando la mayor presión procede del techo, están compuestos por tres piezas, un sombrero y dos postes, asegurados con

bloques y cuñas, en donde los postes forman un ángulo de 90° con el sombrero.

- **Cuadros cónicos**

Son usados cuando la mayor presión procede de los hastiales, la diferencia con los cuadros rectos, solo radica en el hecho de que los cuadros cónicos se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes, de tal manera de formar un Angulo de 78° a 82° , respecto al piso, quedando el cuadrado de forma trapezoidal.

- **Cuadros cojos**

Estos están compuestos por solo un poste y un sombrero, se utilizan en vetas angostas menores de 3 m de potencia, su uso permite ganar espacio de trabajo pueden ser verticales o inclinados, según el buzamiento de la estructura mineralizada, estos cuadros deben adecuarse a la forma de la excavación para que cada elemento trabaje de acuerdo a las presiones ejercidas por el terreno. (Maldonado, 2008).

2.2.2. Sostenimiento de labores horizontales

En las labores horizontales se emplean principalmente, los siguientes tipos:

- Cuadros de madera
- Cuadros de madera reforzados

1) Elementos auxiliares de sostenimiento

Son algunas piezas de madera que, generalmente complementan el trabajo de la estructura de sostenimiento; ya sea transmitiendo las cargas, o fijando una pieza hasta que las presiones la sujetan definitivamente o evitando la caída de pequeños trozos de techo o las hastiales sobre la labor, etc.

- Bloques o blocks.

- Cuñas.
- Encribados o “emparrillados”.
- Longarina.

2) Tipos de estructura de sostenimiento

Aunque la variedad de estructuras en esta clase de labores (chimenea y tajeos) no es tanto como en las labores horizontales.

Conviene establecer una clasificación según los elementos de sostenimiento empleados consideramos los siguientes tipos:

- Cuadros de madera.
- Puntales.

3) Puntales

- Son elementos más simples y de uso más frecuente en el sostenimiento de labores inclinadas.
- Generalmente se emplean puntales de madera. (cuartones de 5”x 6”, 6” x 8”, 8” x 9”) o redondos de 8” a 9 “de diámetro con longitud de 3 metros.
 - **Procedimiento para colocar puntales**
 - ❖ Colocar y marcar el sitio
 - ❖ Desatar el techo
 - ❖ Desquinchar el piso
 - ❖ Hacer la plantilla en la caja piso
 - ❖ Cortar la plantilla
 - ❖ Medir el largo del puntal
 - ❖ Preparar el puntal

❖ Colocar el puntal

Cuando el puntal es muy largo o las cajas son muy paradas será necesario preparar previamente un andante apoyado sobre 2 puntales inferiores. (Espinoza, 2000).

2.2.3. Diseño de sostenimiento

El sostenimiento que se emplea en las diferentes labores son los cuadros de madera, puntales de seguridad y puntales de guardacabeza.

a. Armado de cuadros de tres elementos en galerías y cruceros

El sostenimiento más usado es el de cuadros de madera eucalipto de tres elementos y están conformados por dos postes inclinados y un sombrero que se coloca de manera horizontal dando una forma cónica.

Los postes de madera de eucalipto son de 2.40 m, 1.8 m, y 1.20 m de longitud por, 7” y 8” de diámetro con destajes en un extremo dependiendo de la sección de las labores mineras.

Los sombreros son 8”, 9” de diámetro por 1.20 m, 1.50 m, 2.10 m de longitud y destajes en los extremos.

Los tirantes son de 6” de diámetro por 1.10 m de longitud.

Las rajadas son de 1.25 m de longitud y topes de 8” de diámetro por 40 cm de longitud, dependiendo de la distancia que hay entre el sombrero y el hastial.

b. Colocación de puntales de seguridad

El sostenimiento más confiable e las labores de producción, son poste de 6” y 7” a 8” de diámetro que se colocan perpendicularmente a la caja techo o a la caja

más débil, previniendo así cualquier desplome de rocas y debe ser inspeccionado diariamente.

c. Colocación de puntales en línea

Estos puntales se usan generalmente cuando existe amenaza de caída de rocas de la corona de una labor, generalmente en cruceros, galerías y chimeneas donde se coloca dos puntales transversalmente a la dirección de la labor y pegado al tope de la corona.

d. Colocación de puntales de avance

Son usados en el armado de camino y buzón de una chimenea, se colocan puntales a lo ancho de la sección de la chimenea a 1 m de distancia de las anteriores, encima de los puntales se colocan tablas en forma de plataformas para perforar y armar el siguiente puntal de avance y para continuar con los cuadros de la chimenea.

2.2.4. Características del sostenimiento a instalar

En la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa, se tiene definido el tipo de sostenimiento a aplicar en las labores de explotación pero para una mejor comprensión, se describe los índices de clasificación de rocas, entonces decimos que, 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. (Ramírez, 2000).

- 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 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. Cuanta 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 250Mpa.
 - **Resistencia alta,** se rompe con treves 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.(Espinoza, O. J. 2009).

a. Número de familias o sistemas.

- **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)

b. 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.

(Maldonado, Z. L. 2008).

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. (Espinoza, O. J., 2009).

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.(Espinoza, O. J.,2009).

2.2.7. Condiciones de la masa rocosa

De acuerdo a cómo se presenten las características de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento al ser excavada.

Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada.

Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada. Habrá situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando sea excavada. (Ramírez, 2000).

2.2.8. 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.

2.2.9. 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.

2.2.10. 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. (Maldonado, 2008).

2.2.11. 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 el terreno que se va atravesando conforme avanza la excavación del túnel y aplicar el sostenimiento correcto en cada caso. (Maldonado, 2008).

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.

Cuadro 4: Métodos de clasificación de macizos rocosos.

MÉTODOS DE CLASIFICACION DE MACIZOS ROCOSOS	
Métodos cualitativos	Terzaghi(1964) Lauffer(1958)
Métodos cuali/cuantitativos	Deer RQD (1964) Bieniawski(1973) 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.

2.2.12. 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 enteras 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.

Cuadro 5: 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:

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

Fuente: Escuela Profesional de Geología, Minas y geofísica, universidad de Venezuela

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:

- (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.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)$$

Clasificación de RMR (oscila entre 0 y 100)

Cuadro 6: Valores de clasificación del RMR

RMR	Descripción	Clase	Tiempo medio de auto Sostentamiento	Angulo de fricción de masa rocosa	Cohesion Kpa
0 - 21	Muy pobre	V	30 min. /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 /15m de Apert.	> 45°	> 400

Fuente: Enciclopedia libre “Clasificación Geomecánica de Bienawiski o RMR

C. Índice de resistencia geológica (GSI)

El doctor EvertHoek publicó en 1994 en el noticiero oficial de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, el artículo titulado “ *Strengh of Rock and Rock Masses*” enel cual introdujo, definiéndolo “Índice de Resistencia Geológica” (*Geological StrenghIndex*), 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 delas 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 RMi 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 Marinis, 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.

- 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 10cm 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. (Ramirez, 2000).

2.2.13. Geomecánica

La Geomecánica aplicada al diseño subterráneo constituye en la actualidad la base científica de la ingeniería minera, puesto que esta a diferencia de la ingeniería civil, tiene sus propias peculiaridades, guiados por el concepto “vida económica”, junto con el beneficio económico con márgenes ajustados de seguridad, lo cual crea problemas de diseño que son únicos a la explotación de minas. En este contexto la Geomecánica involucra seguridad y economía. (Maldonado, Z. L., 2008).

2.2.14. 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. (Espinoza, O. J., 2009).

2.2.15. Beneficios de la geomecánica

Garantizar la seguridad durante la excavación de las labores mineras, a través del análisis de deformaciones, niveles de presiones, tensiones, etc. Definición de las aberturas máximas y tiempos de auto soporte de las excavaciones mineras: ejecutadas y las futuras a ejecutarse.

Determinación de la estabilidad estructuralmente controlada de las labores de preparación y explotación, verificando en cada una de ellas la formación de bloques y cuñas inestables.

Permitirá definir las orientaciones más favorables para el minado de las labores de preparación y desarrollo a ejecutarse, definir las secuencias de explotación tanto a nivel global como particularmente.

También definirá las categorías de sostenimiento a aplicarse, determinando estándares de sostenimiento en función a los tiempos de exposición de las labores mineras: explotación y desarrollo. Permitirá la estandarización del tipo y cantidades de sostenimiento a aplicarse en cada una de las labores mineras, así como el tipo de relleno. Permitirá seleccionar y diseñar alternativas de nuevos métodos de explotación en las futuras zonas de explotación. Así como establecer algunas variantes en el método de explotación utilizado. Permitirá mediante el monitoreo verificar y validar suposiciones adoptadas durante las fases de diseño inicial del laboreo minero. (Flores, 2001).

2.2.16. 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 (DipDir)
- Buzamiento (Dip)
- Espaciamiento.
- Persistencia calidad de relleno

- Tipo de relleno.
- Espesor del relleno
- Compresión uniaxial
- RQD (Indice de calidad de roca)
- Presencia de Agua.

a) *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.

b) *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.
- Pernoscementados.
- Pernos helicoidales. (Mining Rock, 2011).

2.2.17. Instrumentos y equipos para el control del comportamiento del macizo rocoso

a) Extensómetro de cinta digital: Se utiliza para medir las deformaciones y/o convergencia de las paredes o techos de las excavaciones subterráneas.

b) Martillo de Schmidt: Es un instrumento para realizar ensayos de dureza y/o resistencia de la roca, se mide mediante el rebote sobre la superficie de la estructura.

c) Equipo de pull test: Esta máquina de arranque de pernos determina la capacidad de carga o de anclaje de los pernos de roca (anclaje puntual o repartido) en un determinado macizo rocoso.

2.2.18. 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.

2.2.19. 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 opone 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 / pie de longitud, dependiendo principalmente del diámetro del taladro y del tipo de laroca.

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 t/perno, la gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación y los problemas que plantea su durabilidad. (Industria de

Fortificación Minera S.A.C., 2010).

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. (Mining Rock, 2011)

La estabilización se produce por fricción y la resistencia mínima aproximada es de 1.0 t/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 t/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 t/perno.
- Gran sensibilidad de anclaje al diámetro de perforación.
- Su uso es temporal.
- Se requiere protección contra la corrosión.

2.2.20. 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. (Industria de Fortificación minera)

S.A.C. 2010).

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.

2.2.21. Malla electrosoldada

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. (Mining Rock, 2011).

Las características de este elemento de sostenimiento son las siguientes:

Cuadro 7: Características Físico-mecánicas de la malla

FABRICADAS EN ACERO TREFILADO	LAMINADO AT 56 – 50H
Límite de Fluencia	5000 kg/cm ²
Límite de Ruptura	5600 kg/cm ²

Fuente: Accesorios - Tubos y perfiles CL.

Cuadro 8: Características Físicas de la Malla Electro soldada

TIPO DE MALLA	Distancia Barras		Distancia Barras		Sección de Acero		Peso Malla kg
	Long. Mm	Transv. Mm	Long. Mm	Transv. Mm	Long. Cm ² /m	Transv.	
C-139	100	100	4.2	4.2	1.39	1.39	28.34
C-188	150	150	6	6	1.88	1.88	39.03
C-196	100	100	5	5	1.96	1.96	40.04
C-257	150	150	7	7	2.57	2.57	53.1

Fuente: Malla Electrosoldada -Tubos y perfiles CL.

Ventajas 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. (Industria de fortificación Minera S.A.C.2010).

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 (Mining Rock, 2011).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. 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.

2.3.2. Labor

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

2.3.3. Geo mecánica

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

2.3.4. Cuadros de madera

Es un armazón de madera que puede ser cónicos, rectos y cojo, que se usan en el sostenimiento de los hastiales de una labor minera.

2.3.5. Puntales

Son rollizos de madera que se usan para formar cuadros de madera y para sostenimiento de labores mineras.

2.3.6. Perforación

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

2.3.7. Perno Split set

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

2.3.8. 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.

2.3.9. Falla

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

2.3.10. Fisura

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

2.3.11. Macizo rocoso

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

2.3.12. Costos

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

Reducir los costos de sostenimiento mediante el reemplazo de madera con pernos Split set y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

Mediante los pernos split set y malla electrosoldada se reducirá los costos de sostenimiento en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

- a) ¿Cuál es el costo de sostenimiento con madera en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa. ?
- b) ¿Cuál es la reducción los costos de sostenimiento con pernos split set

y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad
Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.?

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Al utilizar la madera, se determinará los costos de sostenimiento en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.
- b) Al utilizar los pernos Split set y malla electrosoldada se reducirá los costos de sostenimiento en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

CAPITULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a las características del estudio de investigación es de tipo descriptivo, estudio se refiere a la reducción de costos de sostenimiento de la madera mediante los pernos split set y malla electro soldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

La metodología para realizar el estudio de investigación ha consistido en su etapa inicial en evaluar el sistema de sostenimiento con madera considerando las ventajas, desventajas y las deficiencias que presenta el uso de la madera, analizando los factores que influyen en los costos de madera, costos de transporte, costos de instalación y el tiempo de duración de la madera, los mismos que se registrarán en sus respectivas fichas de control. Posteriormente en el presente 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 con pernos split set y malla electrosoldada según las características geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento aurífero de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

Finalmente para determinar el sistema de sostenimiento a utilizar se realizará el Análisis comparativo de los costos de sostenimiento con madera y los costos con pernos split set y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

3.2. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

a) **Objetivo específico N° 1**

Determinar los costos de sostenimiento con madera en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

Para determinar los de sostenimiento con madera, primeramente se ha determinado la cantidad requerida de la madera para la labor minera y posteriormente se ha determinado el costo de transporte de la madera, costo de los puntales según el diámetro requerido, costo de instalación y mano de obra.

b) **Objetivo específico N° 2**

Reducir los costos de sostenimiento con pernos split set y malla electrosoldada en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

Primeramente se ha calculado los costos de transporte de pernos Split set y Malla electrosoldada, costos de los pernos, costos de la malla electrosoldada, costo de perforación de taladros para los pernos Split set, costos de instalación y mano de obra y posteriormente se ha determinado el costo promedio y se ha realizado el análisis comparativo con los costos de sostenimiento con madera encontrando la diferencia entre ambos costos de sostenimiento.

3.3. POBLACIÓN

La población para el presente estudio de investigación se ha considerado la Galería San Fernando y San Pedro desarrollados en roca semidura de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

3.4. MUESTRA

Para la muestra se ha considerado la Galería San Fernando de una sección de 3.0 m x 2.80 m y de una longitud de 180 metros en roca semidura en el tajeo de

explotación Gisela de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L.
 – Arequipa.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1. Variable independiente

Calidad del macizo rocoso de la Galería San Fernando y el Tajeo de explotación Gisela de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

3.5.2. Variable dependiente

Costos de sostenimiento mediante pernos Split set y malla electro-soldada en las labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

Cuadro 9: Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente:		
Calidad del macizo rocoso de la Galería San Fernando y el Tajeo de explotación Gisela de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. - Arequipa.	• Tipo de roca	• Roca dura, semidura y suave
	• RMR	• Roca muy buena, roca buena, roca regular, roca mala, roca muy mala.
	• Sección	• m ²
Variable dependiente		
Costos de sostenimiento mediante pernos Split set y malla electro-soldada en las labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.	• Costo de pernos	• US\$/perno
	• Costo de malla electrosoldada.	• US\$/m ²
	• Costo de instalación	• US\$/m ²

3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

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

3.6.1. Técnicas para el procesamiento de la información

Se aplicaran instrumentos y procedimientos de acuerdo a lo siguiente:

- Cuadros estadísticos.
- Revisión de los datos.
- Tipo de sostenimiento.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Tipo de sostenimiento aplicado en labores de explotación

El tipo de sostenimiento aplicado en las labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí, son cuadros de madera, puntales de seguridad, y puntales en línea tipo guarda cabeza, 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: Cuadros de madera, perno Split Set, Perno Split Set y Malla electro – soldada.

En el estudio nos referimos a la influencia del uso de cuadros de madera y los pernos Split Set y Malla Electrosoldada como sostenimiento en la eficiencia, productividad y costo de explotación de los tajeos de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí, que en base a los parámetros de estudio realizado, se realizará un reemplazo del tipo de sostenimiento convencional a sistema mecanizado en labores de explotación de un ancho de 1.90 m, esta restricción está basada por el espacio de trabajo para la colocación de pernos split set y la malla electro-soldada que impide poder trabajar en menores anchos de minado, y la clasificación de tipo de roca tiene que ser mayor a 30 en el índice RMR, mayor de 0.5 en el sistema Q y mayores que MF/P, IF/R. se considera estos límites porque los valores menores a estos parámetros en algunos casos también se pueden aplicar el sostenimiento mecanizado, pero generalmente requiere de un sostenimiento secundario como son puntales de seguridad, puntales en línea o pilares artificiales lo cual ocasiona altos

costos de explotación.

El estudio se refiere al tajeo Gisela, y tajeo San Luis que anteriormente se realizaba la explotación con un sostenimiento con cuadros de madera y que actualmente se realiza la explotación con pernos Split set y malla electro-soldada como sistema de sostenimiento, en este estudio analizamos los beneficios que obtiene la Unidad Minera Esperanza, al realizar este cambio en el sistema de sostenimiento. A continuación se presenta en la Tabla 1, el levantamiento geomecánico del tajeo San Luis y se muestra en el plano geomecánico del tajeo San Luis

Tabla 1: Geomecánica del Tajeo San Luis

UBICACIÓN	ÍNDICES GEOMECÁNICOS			COHESIÓN N kg/cm ²	ANGULO FRICCIÓN σ	Sostenimiento		TIE MPO DE SOPORTE	SECCION ACTUAL		APER TURA MAXI MA m.
	TIPO	Q	R			RECOMENDACIÓN	ACTUAL		ANCHURA	ALTO	
	POSIÇÃO	G	M			GSÍ(MODIFICADO)			O	m	
ESTRUCTURA MINERALIZADA	IV	Q	0.36	1.25	17.5	Perno sistemático (1.2x1.2) con malla y/o pilar	Perno sistemático (1.2x1.2) con malla y/o pilar	10 horas	1,90	2,0	2,55
		M	4								
		F/P	-								
		P	1.0								
CAJAS	IV	E	1.33	1.65	23.5	Perno sistemático(1.0x1.0)con malla o cuadro sistemático(0.85 m luz)	Perno sistemático(1.0x1.0)con malla	10 horas	1,65	1,8	2,05
		IF/P	0.4								
	II	A	1.66	3.45	42.1	Sin soporte, perno ocasional o cuadro ocasional	sin soporte	8 Mese s	1.65	1.8	6.35
		F/B	-								
		R	1.4								
	II	A	7.65	3.85	44.6	Sin soporte, perno ocasional o cuadro ocasional	Perno ocasional	4 Mese s	1.55	1.8	5.65
		F/R	-								
		R	1.2								

Fuente: Área geomecánica, Unidad Minera Esperanza de Caravelí– Arequipa.

Como podemos observar en el Tajeo San Luis, la zona mineralizada tiene un ancho promedio de 1,90 metros y tiene un valor promedio de RMR 36, y en el índice Q se

encuadra entre 1,0-0,4 y en el sistema GSI se encuentra entre los parámetros muy fracturado – pobre, intensamente fracturada – pobre , basándose en esta clasificación en un inicio, la explotación se realizó con cuadros de madera obteniendo alto costo de explotación y una baja eficiencia y productividad, en conclusión el rendimiento del tajeo era relativamente más bajo, hasta que se decidió utilizar el sistema de sostenimiento mecanizado con perno Split set y malla electro – soldada, haciéndose más productivo por la disminución de tiempo y su eficiencia, incrementó significativamente y el costo de explotación es relativamente bajo.

Como se puede observar en la zona mineralizada existen 2 tipos de roca, la longitud total del tajo de 120 m., de un promedio de 1,90 m. de potencia y el tipo de roca predominante es el que tiene el valor de RMR 40, este tipo de roca (MF/P o RMR 40) se presenta en una longitud de tajeo de 120 m., y los parámetros geomecánicos en los que se encuentran el tajo es de 0,4-3,0 en el índice Q.

4.1.2. Ciclo de minado aplicando el sostenimiento mecanizado.

En este caso el ciclo de minado es similar al ciclo de minado del sistema convencional 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), otra de las diferencias con el sostenimiento convencional es que se puede realizar un corte horizontalmente (breasting) un poco más alto porque no existe la restricción del tamaño de los puntales, en consecuencia realiza un corte y medio en cada ciclo de minado, lo que no se puede realizar en el ciclo de minado con sostenimiento convencional con cuadros de madera.

Tabla 2: Tiempo de minado con sostenimiento convencional (Madera)

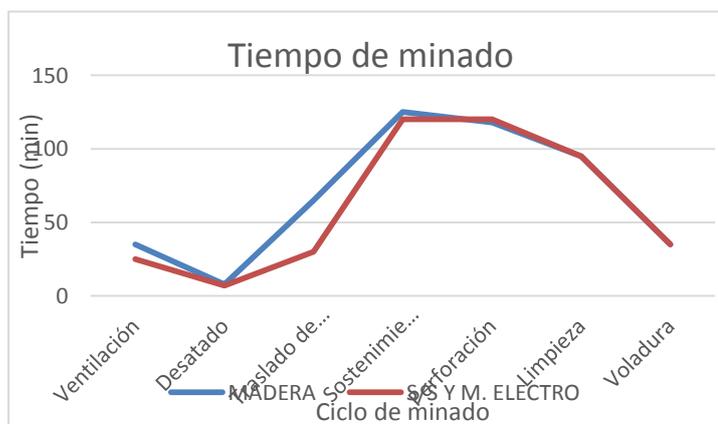
Descripción	Incidencia	Tiempo (Minuto)	Tiempo (Hora)
Ventilación	6,30%	35	0,58
Desatado	1,40%	08	0,13
Traslado de madera	14,25%	65	1,08
Sostenimiento	28,00%	125	2,08
Perforación	24,50%	118	1,97
Limpieza	19,05%	95	1,58
Voladura	6,50%	35	0,58
Tiempo Total	100,00%	480	8,00

En la siguiente Tabla 2, se observa los tiempos promedio de ciclo de minado en las labores de explotación de la Minera aurífera Esperanza de Caravelí.

Tabla 3: Tiempo de minado con sostenimiento mecanizado (Perno Split set y Malla Electrosoldada)

Descripción	Incidencia	Tiempo (Minuto)	Tiempo (Hora)
Ventilación	5,25%	25	0,42
Desatado	1,50%	07	0,12
Traslado de malla	6,25%	30	0,50
Sostenimiento	25,00%	120	2,00
Perforación	25,00%	120	2,00
Limpieza	22,88%	150	1,83
Voladura	8,38%	35	0,67
Tiempo Total	100,00%	480	8,00

GRAFICO 1: TIEMPO MINADO



Se debe recalcar que en la actualidad es mayor el uso de split set de 5 pies de longitud y 39 mm de diámetro, por ese motivo se observa que es más alto el consumo de split set

de 5 pies esto principalmente por la sección de las labores y porque generalmente la longitud del barreno utilizado es de 6 pies.

4.1.3. Costo de compra de elementos de sostenimiento mecanizado.

El costo de flete es de 0.17 S/.por kilogramo de carga, y siendo que el peso de un juego de split set y arandela es de 0.45 kg, lo cual hace que el flete sea relativamente más económico que transportar un puntal de eucalipto.

El peso del split set es menor de medio kilogramo, esto es beneficioso porque ayuda a transportar este elemento en mayores cantidades. Como el dato indica el jefe de almacén general de la Unidad Minera Esperanza, que aprovechan para transportar los split set junto con otros cargamentos que se transporta a la mina, más no es así con el caso de los puntales de madera, se tenían que hacer hasta 7 viajes en un mes de este elemento de sostenimiento (puntales de madera), esto además de encarecer el costo de explotación también es dificultoso el transporte y más cuando se presenta conflictos sociales.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.2.1. HIPOTESIS 1.

Al utilizar la madera, se determinará los costos de sostenimiento en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa.

a) Consumo de puntales de eucalipto en la Unidad Minera Esperanza de Caravelí

Se presenta el consumo de puntales de eucalipto, que se destina para el sostenimiento de labores de explotación, preparación, de los cuales los

puntales de 4 -5 pulgadas y puntales de 6-7 pulgadas de diámetro son los que se utilizan en las labores de explotación (tajos), en su mayoría el consumo de puntales de eucalipto de las labores de explotación de la minera Esperanza de Caravelí, son los de 6 -7 pulgadas de diámetro, el consumo de madera se mantiene constante.

b) Costo de madera vs costo de madera y flete

El precio de transporte encarece el precio de compra del puntal de eucalipto .y de acuerdo a los estándares que maneja la mina se tiene que un puntal de 4-5 pulgadas de diámetro pesa un promedio de 50.45 kg, el transporte de un puntal de cada uno de estos puntales tiene un costo promedio de S/.27.00 nuevos soles respectivamente por puntal.

Los costos son elevados en comparación con el perno split set y malla electro-soldada, los cuales tienen un peso de 0.45 kg. por juego, y 108 kg. por rollo de 25 x 2 m.

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 madera resultando elevados costos de explotación.

c) Comparación de costos split set y madera incluido el flete

En la Tabla 4, se muestra claramente como inciden los costos de transporte en el precio de ambos elementos de sostenimiento, y se ve que el costo más alto es el de los puntales de 6 – 7 pulgadas de diámetro y los split set de 5

pies, esto indica que el sostenimiento mecanizado es rentable en comparación con el sistema convencional.

Tabla 4: Evolución de precios incluidos el transporte (en soles)

Año \ Descripción	2016 Soles	2017 Soles	2018 Soles	Promedio Soles
Split Set de 5' y flete	22,25	26,35	35,45	28,02
Malla rollo (25 x 2 m) y flete	675,00	750,00	840,00	755,00
Puntal de 4 – 5" de diámetro y flete	23,50	27,00	30,50	27,00
Puntal de 6 – 7" de diámetro y flete	25,55	28,.60	33,40	29,18

En la Tabla 4, se ilustra en forma detallada como varían los precios de los elementos de sostenimiento incluyendo el transporte. Este precio más el transporte en los puntales de eucalipto es muy alto en comparación con solo el precio de puntal.

Con respecto a la eficiencia y productividad de las labores de explotación, se realizó un estudio de tiempo a las labores donde se realizaron el reemplazo de tipo de sostenimiento de convencional a mecanizado, estos datos se tomaron del Tajeo San Luis en estos tajeos se realizó el cambio del tipo de sostenimiento, donde dio buenos resultados y se incrementó el tonelaje de explotación en un 10 %, y se aceleró la velocidad del ciclo de minado haciéndose más rápido la velocidad del corte del tajeo, en la actualidad se puede realizar hasta tres cortes en el tajeo.

4.2.2. HIPOTESIS 2

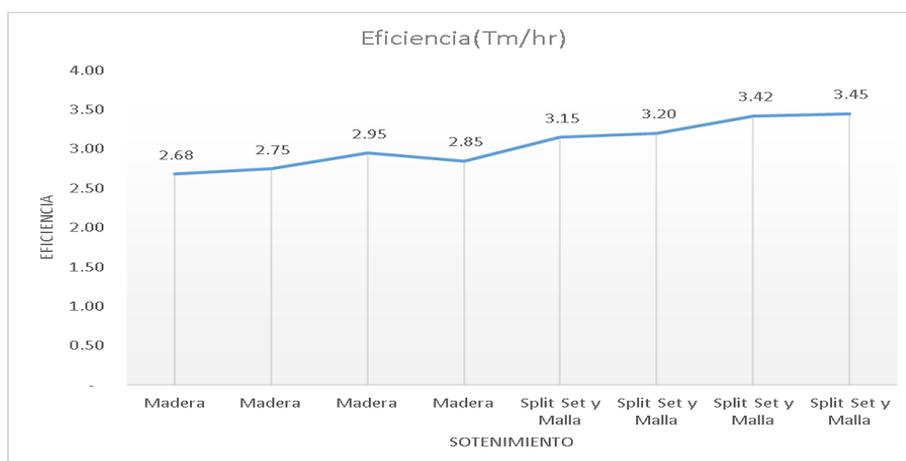
Al utilizar los pernos Split set y malla electrosoldada se reducirá los costos de sostenimiento en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa. La productividad del tajo se calculó mediante los reportes mensuales de mina donde indica las tareas empleadas en el mes y el tonelaje extraído del tajo, de los cuales se extrae las toneladas/hombre – guardia (t/h-g), que es el indicador de la productividad.

En la Tabla 5, se muestra la eficiencia y la productividad de las labores de explotación de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.

Tabla 5: Eficiencia y productividad con sostenimiento split set y malla vs. madera

Fecha	Sostenimiento	Eficiencia(Tm/hr)	Producción(Tm /h – g)
Abril	Madera	2,65	4,10
Mayo	Madera	2,75	4,35
Junio	Madera	2.95	4,65
Julio	Madera	2,85	4,95
Agosto	Split Set y Malla	3,15	6,55
Setiembre	Split Set y Malla	3,20	6,75
Octubre	Split Set y Malla	3.42	6,25
Noviembre	Split Set y Malla	3,45	5,85
Promedio	Madera	2,80	4,51
Promedio	Split Set y Malla	3,31	6,35

GRAFICO 2: Eficiencia de la madera



Se observa que la eficiencia de la madera es menor al de Split set y malla electrosoldada.

Se observa en la Tabla 5, los rendimientos de sostenimiento convencional con madera es 2.80 Tm/hr., relativamente más bajo que cuando se usa el sostenimiento con perno split set y malla electro – soldada, que es de 3,31 Tm/hr y también de acuerdo a la productividad en el caso del sostenimiento con madera es de 4.51 Tm/hombre-guardia, en comparación con el sostenimiento con Split Set y Malla electro – soldada, la productividad es de 6,35 Tm/ hombre – guardia, lo cual es considerablemente más alto que la productividad del tajo cuando se aplica el sostenimiento convencional con cuadros de madera.

Con relación al costo de explotación, de las labores de explotación de la Unidad

Minera Esperanza de Caravelí – Arequipa.se presenta los cálculos para un costo de explotación con sostenimiento convencional con entibación de cuadros de madera, y un costo de explotación con sostenimiento mecanizado con perno Split Set y Malla Electro –soldada, para un periodo de tiempo de un mes, con un tonelaje de explotación de 750 Tm por mes, para ambos casos. Los cálculos se han realizado, tomando como referencia los datos del tajeo San Luis, que es la labor típica donde se realizó este tipo de cambios en el sistema de sostenimiento.

Tabla 6: Costo de explotación de sostenimiento con Split Set y Malla Electrosoldada

Ítem	Costos directos	Costo (\$)	Unidad
1	Costo de perforación y voladura	5,65	\$/TM
2	Costo de sostenimiento	5,85	\$/TM
3	Costo de limpieza	2,25	\$/TM
4	Costo de relleno	1,95	\$/TM
5	Costo servicios mina	2,65	\$/TM
COSTOS DIRECTOS		18,35	\$/TM

Ítem	Costos Indirectos	Costo (\$)	Unidad
1	Imprevistos 5 %	0,92	\$/TM
2	Gastos generales 5 %	0,92	\$/TM
COSTOS INDIRECTOS		1,84	\$/TM
COSTO TOTAL		20,19	\$/TM

Tabla 7: Costo de explotación de sostenimiento con madera

Ítem	Costos directos	Costo (\$)	Und.
1	Costo de perforación y voladura	5,65	\$/TM
2	Costo de sostenimiento	7,85	\$/TM
3	Costo de limpieza	2.25	\$/TM
4	Costo de relleno	1,95	\$/TM
5	Costo servicios mina	2,65	\$/TM
COSTO DIRECTO		20,35	\$/TM

Ítem	Costos Indirectos	Costo (\$)	Unidad
1	Imprevistos 5%	1,02	\$/TM
2	Gastos generales 5%	1,02	\$/TM
COSTO INDIRECTOS		2,04	\$/TM
COSTO TOTAL		22,39	\$/TM

GRAFICO 3: Costos de explotación



Se observa que costo de la madera es mayor al de Split set y malla electrosoldada.

4.2.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

La Unidad Minera Esperanza de Caravelí, utilizando el sistema de sostenimiento con cuadros de madera y puntales, ha requerido un costo total de 22.39 US \$/Tm de mineral y con el sistema de sostenimiento mecanizado de pernos Split Set y Malla Electrosoldada se ha reducido a un costo total de 20.19 US \$/Tm de mineral con una diferencia de 2.20 US \$/Tm de mineral extraído. Los resultados son similares a la tesis Análisis del sistema de sostenimiento con perno split set y malla electro soldada aplicado en labores de explotación en la Unidad Minera El Cofre – CIEMSA, en donde concluye que utilizando cuadros de madera el costo de sostenimiento de labores de explotación ha sido de 16,33 US\$/Tm y el costo de sostenimiento aplicando el perno Split set y malla electrosoldada ha sido de 15,09 US\$/Tm, con una diferencia de 1,24 US\$/Tm(Torres, 2 011).

CONCLUSIONES

La Unidad Minera Esperanza de Caravelí, utilizando el sistema de sostenimiento con cuadros de madera y puntales, ha incurrido en un costo total de 22.39 US \$/Tmde mineral y con el sistema de sostenimiento mecanizado de pernos Split Set y Malla Electrosoldada se ha reducido a un costo total de 20.19 US \$/Tm de mineral con una diferencia de 2.20 US \$/Tm de mineral extraído.

Los costos de sostenimiento incurridos al utilizar la madera es de 22.39 US\$/Tm de mineral extraído en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa

Los costos de sostenimiento al utilizar los pernos Split Set y Malla Electrosoldada se ha reducido a 20.19 US\$/Tm de mineral extraído en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí de la Empresa Croacia E.I.R.L. – Arequipa

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio geomecánico detallado en las labores subterráneas de la Unidad Minera Esperanza de Caravelí, para determinar otro tipo de sostenimiento mecanizado según las características del macizo rocoso del yacimiento mineral.

Se recomienda también el uso de otros sistemas de sostenimiento mecanizado tales como los pernos Hidrabolt, Cable Bolting y otros, teniendo en cuenta el comportamiento diferente de otras labores subterráneas de Unidad Minera Esperanza de Caravelí -Arequipa.

REFERENCIAS

- 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, Jorge (2005), *Sostenimiento, módulo de capacitación técnico, Empresas Minera MACDESA*.
- Ramirez, 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*.

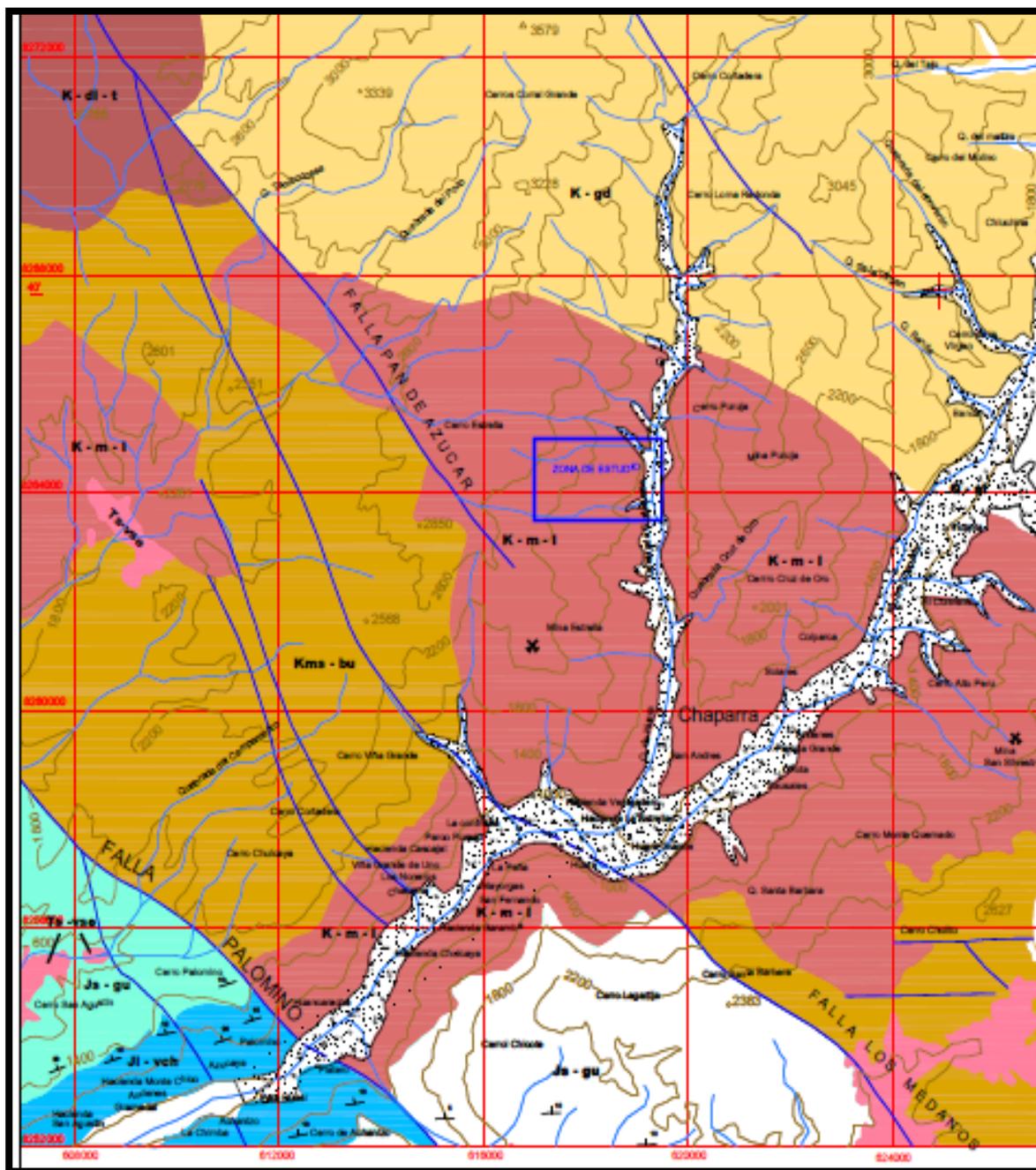
Torres Cjuno, Cristian Ernesto, (2011), *Análisis del sistema de sostenimiento con perno Split set y malla electrosoldada aplicado en labores de explotación en la Unidad Minera EL COFRE- CIEMSA*.

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 GEOLOGÍA REGIONAL



Anexo N°2: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

<p>CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO</p> <p>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.</p>		<p>CONDICIÓN SUPERFICIAL</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 estriaciones, 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>ESTRUCTURA</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>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP	
	<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>	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP	
	<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>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP	
	<p>INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP	
	<p>TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP	

Anexo N°3: ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

(GSI) MODIFICADO						
<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>		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		(extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas, (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	(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)	(resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	(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)	(blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
	<p>LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas 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 40		
	<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>				35 30 25 20	
	<p>TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)</p>				15 10 5	