

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Optimización del sostenimiento convencional aplicando pernos split
sets y malla electrosoldada para reducir costos en la empresa minera**

la española – Arequipa

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Luis Alberto MAXIMILIANO GAMARRA

Asesor:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA

Cerro de Pasco – Perú - 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Optimización del sostenimiento convencional aplicando pernos split
sets y malla electrosoldada para reducir costos en la empresa minera
la española – Arequipa**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA
MIEMBRO

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas



Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 059 -2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Luis Alberto MAXIMILIANO GAMARRA

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
“Optimización del sostenimiento convencional aplicando pernos split sets y malla electrosoldada para reducir costos en la empresa minera la española – Arequipa”

Asesor:
Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA

Índice de Similitud: **12 %**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 18 de noviembre de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho cariño a
mis padres

Quienes me han impulsado para lograr mis
objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres, quienes son guía en mi camino, A mis docentes de la facultad de Ingeniería de Minas, por ser los que han enseñado y preparado para afrontar en los retos de la carrera.

RESUMEN

El trabajo de investigación intitulado Optimización del Sostenimiento Convencional aplicando Pernos Split set y Malla Electrosoldada en la Empresa Minera La Española, tiene como principal objetivo, optimizar el proceso de sostenimiento, que eran realizadas con el sistema de cuadros de madera y puntales, con el sostenimiento mecanizado de los pernos Split set y malla electrosoldada, lo cual mediante los análisis realizados conllevara así mismo en la reducción de costos en el proceso de producción. Para efectuar el trabajo de investigación se tomó en consideración las bases teóricas y prácticas. En su etapa inicial, se analizaron las deficiencias en el uso de la madera en todos los procesos del sistema de sostenimiento, se analizaron y evaluaron los factores que influyen en los costos de explotación del yacimiento orientados a mejorar y reducir los costos de explotación. Después de las pruebas realizadas, se determinará que el sistema de sostenimiento de pernos divididos y malla electrosoldada, teniendo en consideración la geología de la zona y la evaluación geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento.

Palabras Claves: Sistema de sostenimiento, Split set, Malla electro soldada, sostenimiento mecanizado.

ABSTRACT

The research work entitled Optimization of Conventional Support applying Split Set Bolts and Electrowelded Mesh in the La Española Mining Company, has as its main objective, optimizing the support process, which was carried out with the system of wooden frames and props, with the support machining of the Split set bolts and electrowelded mesh, which through the analyzes carried out will also lead to cost reduction in the production process. To carry out the research work, the theoretical and practical bases were taken into consideration. In its initial stage, the deficiencies of the use of wood in all the processes of the support system have been analyzed, analyzing and evaluating the factors that influence the exploitation costs of the deposit, aimed at improving and reducing exploitation costs, and then in Based on the tests carried out, it was determined by the Split set bolt support system and electrowelded mesh, taking into consideration the geology of the area and the geomechanical evaluation of the rock mass of the deposit.

Keywords: Support system, Split set, Electro welded mesh, mechanized support.

INTRODUCCION

El sostenimiento de las labores subterráneas requiere de un análisis adecuado para garantizar la estabilidad de las áreas de trabajo, Mantener la eficacia y la seguridad de los procedimientos de explotación utilizados.

Una de las condiciones necesarias para que el sostenimiento se realice eficientemente después de una excavación es la correcta indagación y evaluación estructural del macizo rocoso. Conocer la roca permitirá tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de las excavaciones, el tamaño.

Habrá una necesidad mínima de sostenimiento en masas rocosas masivas o levemente fracturadas con excavaciones bien perfiladas. La necesidad de sostenimiento aumentará en masas rocosas fracturadas o estratificadas con excavaciones bien perfiladas. Es seguro afirmar que será necesario planificar cuidadosamente el sostenimiento en áreas de falla o corte, así como en masas rocosas extremadamente fracturadas y débiles. Será necesario desarrollar estrategias específicas para el sostenimiento en situaciones de altos esfuerzos que provocan fallas en la masa rocosa de las excavaciones.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que los requisitos de sostenimiento son más conservadores en trabajos permanentes como estaciones de piques, rampas, galerías de nivel y otros, que en trabajos de desarrollo y explotación.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	3
1.2.1. Ubicación	3
1.2.2. Accesibilidad.....	3
1.2.3. Geología Regional.....	4
1.2.4. Geología Local	6
1.2.5. Geología Estructural.....	7
1.2.6. Geología Económica	8
1.3. Formulación del Problema	10
1.3.1. Problema general.....	10
1.3.2. Problemas Específicos	10
1.4. Formulación de Objetivos	11
1.4.1. Objetivo general	11
1.4.2. Objetivos específicos	11
1.5. Justificación de la investigación	11
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	13
2.2. Bases Teóricas - Científicas.....	17
2.2.1. La Optimización del Sistema de Sostenimiento de Labores Subterráneas.	17
2.2.2. Sostenimiento en Minería Subterránea	18
2.2.3. Sostenimiento de Labores Horizontales	25
2.2.4. Split Set	28
2.2.5. Malla Electrosoldada.....	32
2.3. Definición de términos básicos	35
2.4. Formulación de Hipótesis	38
2.4.1. Hipótesis general	38
2.4.2. Hipótesis Específicos	38
2.5. Identificación de las Variables	38
2.5.1. Variable Independiente:	38
2.5.2. Variable Dependiente:.....	38
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación.....	40
3.2. Nivel de Investigación.	40
3.3. Métodos de investigación.....	40
3.4. Diseño de la Investigación	41
3.5. Población y Muestras	41
3.5.1. Población.....	41
3.5.2. Muestra.....	41

3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.6.1.	Técnicas.....	42
3.6.2.	Instrumentos.....	42
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	43
3.8.	Tratamiento Estadístico.....	43
3.9.	Orientación ética, filosófica y epistémica	43

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	44
4.1.1.	Tipo de sostenimiento aplicado en labores de explotación.....	44
4.1.2.	Ciclo de minado aplicando el sostenimiento mecanizado.....	47
4.1.3.	Evaluación geomecánica gal 455E – NV 1720.....	48
4.1.4.	Evaluación Geomecánica GAL 486E – NV 1665.....	49
4.2.	Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados.....	50
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	75
4.4.	Discusión de Resultados	76
4.4.1.	Resultados en la adquisición de elementos de sostenimiento mecanizado	76
4.4.2.	Consumo de puntales de eucalipto en la minera	76
4.4.3.	Costo de madera vs. costo de madera y flete	76
4.4.4.	Comparación de costos Split set y madera incluido el flete.....	77
4.4.5.	Aplicación de los pernos Split Set	78

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación Geográfica Mina La Española	3
Ilustración 2. Geología Regional.....	6
Ilustración 3. Plano Geología Estructural.....	8
Ilustración 4. Cuadro recto	23
Ilustración 5. Cuadro cónico.....	24
Ilustración 6. Cuadro cojo	24
Ilustración 7. Mecanismo de anclaje del Split Set. Fuente: SNMPE, 2004	28
Ilustración 8. Malla electrosoldada.....	33
Ilustración 9. Diagrama de rosetas GAL 455E.....	49
Ilustración 10. Diagrama de rosetas GAL 486E.....	50
Ilustración 11. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 1.	54
Ilustración 12. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 2.	58
Ilustración 13. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 3	62
Ilustración 14. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 4.	66
Ilustración 15. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 5.	70
Ilustración 16. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 6.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de la minera La Española S.A.....	3
Tabla 2. Características físico-mecánicas de la malla.....	34
Tabla 3. Características físicas de la malla electro soldada.....	34
Tabla 4. Operacionalización de Variables.....	39
Tabla 5. Geomecánica del Tajo 560-E.	46
Tabla 6. Tiempo de minado con sostenimiento convencional	48
Tabla 7. Tiempo de minado con sostenimiento mecanizado.....	48
Tabla 8. Clasificación RMR89 - Estación Geomecánica 1.	51
Tabla 9. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 2	55
Tabla 10. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 2	58
Tabla 11. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 3	59
Tabla 12. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 3	62
Tabla 13. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 4	63
Tabla 14. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 4	66
Tabla 15. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 5	67
Tabla 16. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 5	71
Tabla 17. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 6	71
Tabla 18. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 6	75
Tabla 19. Evolución de precios incluidos el transporte (en soles)	77
Tabla 20. Comparación de eficiencia y productividad con sostenimiento Split set vs madera.	79
Tabla 21. Costo de explotación de sostenimiento con Split set y malla electrosoldada	80
Tabla 22. Costos indirectos de explotación de sostenimiento con Split set y malla electrosoldada.....	80

Tabla 23. Costo de explotación de sostenimiento con madera.....	81
Tabla 24. Costos indirectos de explotación de sostenimiento con madera	81

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Hoy en día en la minería moderna se necesita prevenir los accidentes por caída de rocas más aun en minería subterránea, en la cual durante los últimos años ha ocasionado numerosas pérdidas humanas. La caída de rocas se presenta debido al tipo de terreno, cargas de esfuerzo sobre la roca, perforación y voladura de rocas, presencia de agua entre otras, por lo cual es necesario un método de sostenimiento adecuado, capaz de prevenir esta caída de rocas posterior a un análisis detallado del macizo rocoso en base a datos registrado en interior mina.

En minería subterránea, la elección más adecuada de los métodos de sostenimiento se enfoca en características de la evaluación geomecánica global del macizo rocoso y mediante la caracterización de la calidad de este, se debe tener en cuenta el requerimiento de sostenimiento seleccionando entre soporte y refuerzo (pasivo y activo), para así mantener la estabilidad de las labores mineras para poder garantizar su operatividad.

La minera la Española S.A., viene explotando el yacimiento mediante el método Cut and Fill Stopping (Corte y Relleno Ascendente), el sostenimiento utilizado para las labores de extracción de minera es el convencional es decir se utiliza cuadros de madera.

Sin embargo en los últimos meses la minera tiene problemas con el abastecimiento de madera a la labor demandando un tiempo extra en el ciclo de minado, el cual asciende a un promedio de dos horas incluyendo el traslado de superficie a interior mina, y el izaje de la madera hasta la labor la cual se realiza de forma manual y con winches neumáticos, lo cual conlleva a que el tiempo dedicado a otras etapas del minado se reduzca, específicamente en el tiempo de limpieza de mineral, reduciendo así la productividad y eficiencia de la empresa, otros inconvenientes es la instalación de sostenimiento.

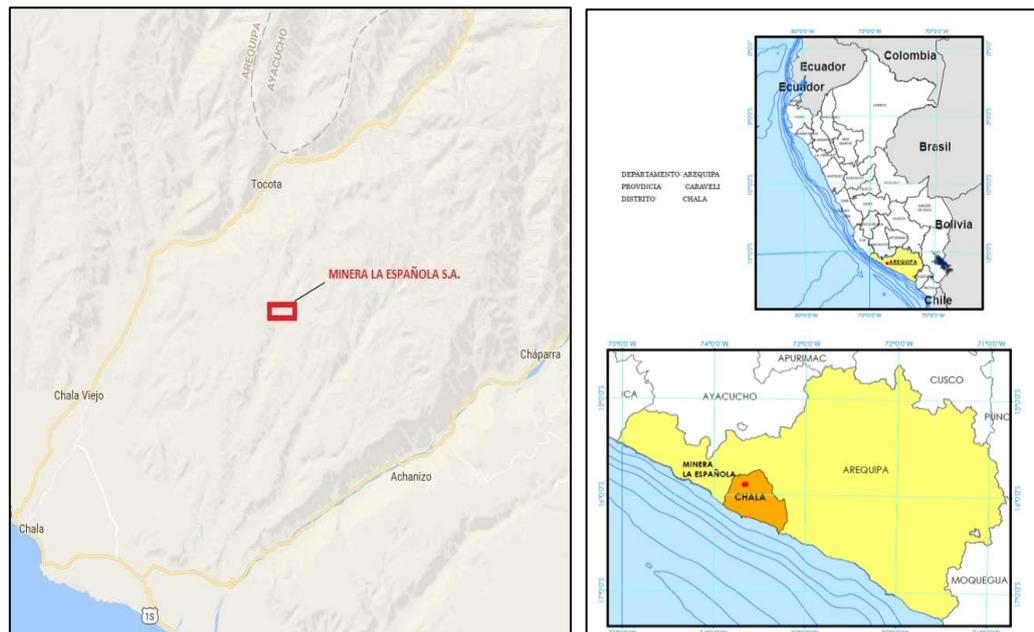
Por ello la optimización del sostenimiento busca prevenir accidentes por caída de rocas; así mismo, usar la técnica de sostenimiento mecanizado con perno Split Set y malla electrosoldada considerando el tipo de macizo rocoso, y su caracterización geomecánica, utilizando fórmulas matemáticas ya elaboradas con el fin de determinar el mejoramiento del método de sostenimiento en mención, teniendo este método una serie de bondades técnicas y económicas, así como mejorar las condiciones del ambiente de trabajo para el personal que labora en la Mina La Española.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Ubicación

La mina se encuentra en la faja litoral que comprende la cadena costanera, con una altura promedio de 2375,040 m.s.n.m., políticamente está ubicada en el paraje La Española, provincia de Caraveli, departamento de Arequipa.

Ilustración 1. Ubicación Geográfica Mina La Española



Fuente: Geología-Mina La Española S.A.

1.2.2. Accesibilidad.

La mina está ubicada en la zona 32-O de Chaparra, conformada por 08 concesiones totalizando 5,800 Has. Las coordenadas son las siguientes:

Tabla 1. Ubicación de la minera La Española S.A.

Vértices	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
1	8244000	646000
2	8244000	641000
3	8242000	641000
4	8242000	646000

Fuente: Geología-Mina La Española S.A.

1.2.3. Geología Regional

En el área de la mina las rocas predominantes son volcánicas e hipabisales de composición andesítica pertenecientes al complejo Bella Unión (Cretáceo medio), también se presentan rocas intrusivas de composición diorítica y monzonitas de grano medio a fino, sobre yaciendo a las rocas del complejo Bella Unión se encuentra la formación Moquegua con tobas dacíticas- riolíticas de la formación Huaylillas (Terciario Superior). Al sur de las concesiones afloran rocas sedimentarias de la formación Millo (Terciario Superior), estas rocas cubren a las rocas del complejo Bella Unión, que son las que hospedan a la mineralización, por lo que es posible que otras vetas paralelas a las vetas Carmen y Esperanza puedan encontrarse encapadas.

Rocas Hipabisales

Complejo Basal Bella Unión: Denominado por J Caldas (1978), se trata de rocas no diferenciadas, al ser tan variables en composición, pero de naturaleza andesítica a dacítica, instruida por plutones menores de andesita a dacita con diques de naturaleza andesíticas. Se tratan de rocas sub volcánicas, del cretáceo superior, que se ha instruido casi con la misma edad de las rocas del batolito.

Así como también tenemos presencia de Sienita a manera de intrusivos menores.

- Andesita: Roca ígnea volcánica (intermedia) de textura afanítica generalmente de color verde, pudiendo variar de rojizas a otros colores, según la alteración. Presentando como minerales esenciales: Plagioclasa, ferros magnesianos y con un cuarzo que se presenta en mínimas cantidades (10%). Estas rocas se presentan generalmente al este de la concesión.

- Sienita: Roca ígnea plutónica de color blanco, textura granular presentando como minerales esenciales: Feldespatos (ortosa y plagioclasa), anfíboles (horblenda), accesorios como piroxenos además de pocas cantidades de cuarzo y mayor porcentaje de biotitas que presentan una fuerte cloritización y diabasas porfíricas de grano medio grises a verdosos. Se presenta muy pegada hacia la veta Aurora.
- Diques Andesíticos: Por el alrededor de la veta Aurora encontramos enjambre de diques andesíticos y aplíticos de rumbo NE a SW de anchos de hasta 0.50m a 02m, con diseminación de pirita. Fina muy localizada hacia las cajas.
- Stocks Dioríticos: Está formado por roca grises moteadas, de grano muy grueso, compuesto principalmente por plagioclasa, con abundantes fenocristales (horblenda bien desarrolladas y biotitas), estas ocurren al sur de la concesión, muy pegado hacia la veta Carmen y se orienta hacia la veta Esperanza este, estos diques han sido intruidos muy posterior a la mineralización debido a que no afecta en nada su intrusión.
- Monzonitas: Se encuentran al oeste de la concesión, son rocas de grano medio a fino con abundante ortosa, plagioclasa y cuarzo con pocos fenocristales, presenta un color gris claro a rosáceo, tiene una edad cretáceo superior.

Formación Moquegua

Se describe con este nombre a afloramientos de depósitos continentales en la quebrada Millo, están formados por rodados de cuarcitas y calizas en una matriz arenosa-tobácea, sobre yace al complejo Bella Unión, en la quebrada Pan de azúcar tiene un afloramiento de 400 m y los elementos están redondeados a

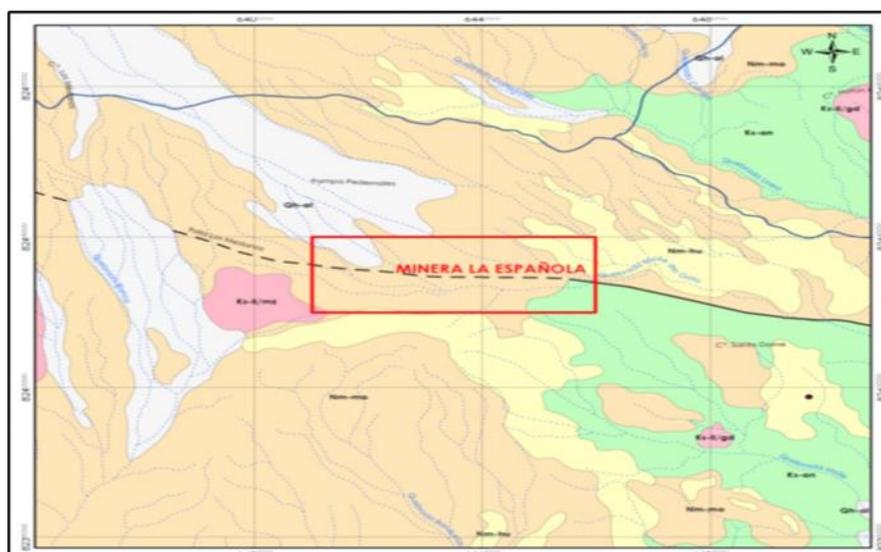
sub-redondeados. Es de edad Neógeno-Miocena, en la zona afloran en todo el petitorio minero, ocultando gran parte de las vetas mineralizadas.

Formación Huaylillas

Se presenta al NE de la concesión, está formada por una secuencia piroclástica. Son rocas volcánicas, ignimbritas de color rosado claro, siendo clasificadas como riolitas, riolacitas y andesititas. Esta descansa en discordancia sobre la formación Moquegua, se presenta en forma de horizontes de 10 m y 200 m. Presenta una edad Neógeno Miocena.

En la siguiente figura se indica la geología regional.

Ilustración 2. Geología Regional



Fuente: Geología-Mina La Española S.A.

1.2.4. Geología Local

La Minera aurífera La Española S.A. se ubica a 776 Kms. de la ciudad de Lima, al SE de la ciudad de Chala, en el paraje la Españolita, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altura media de 2375,040 m.s.n.m., y se encuentra en la Carta 32-O. Está compuesta por 08 concesiones mineras que abarcan un área de 5, 800 hectáreas. Regionalmente la mina está dentro de una faja de 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, Orión, Eugenia, Posco, y otros Esta faja forma parte del cinturón aurífero Nazca-Ocoña. La mina española se sitúa en la parte central de la faja y su potencial corresponde a un yacimiento de mediana escala minera.

La geología del área está conformada por vetas delgadas y medianas (potencia entre 0.10 y 0.80 metros con leyes que oscilan entre 05 a 25 gr/ton) emplazadas dentro del paquete intrusivo del Batolito de la costa peruana. Este paquete intrusivo tiene sus respectivas variaciones que van desde intrusivos faneríticos como granodioritas, dioritas de grano medio y paquetes sub- volcánicos con pórfidos andesíticos.

Es un yacimiento epitermal de baja sulfuración con alcance mesotermal; emplazadas en rocas intrusivas a sub volcánicas.

1.2.5. Geología Estructural

Por los alrededores de la mina pasa una falla regional denominada LOS MEDANOS, de rumbo N80W y más hacia el W a N50W, esta falla sirve como control de mineralización, formando a su vez fallas de rumbo E-W, asimismo ejercen un control en su deposición (fallas inversas), con buzamiento muy sinuoso hacia el norte y sur, cuando se inclina hacia el sur no son favorables para la mineralización y cuando se inclinan hacia el norte son muy favorables. Todas estas estructuras estarían controladas por tres fallas con rumbos NNW-SSE y buzamientos de 60° al SW, de estas grandes estructuras mineralizadas se están desprendiendo estructuras de segundo orden de rumbos casi E-EW y buzamientos subverticales.

En general las zonas mineralizadas están controladas por esfuerzos principales de compresión tanto en vertical como en longitudinal, asimismo

exploración detallada y confiable, información sobre muestreo pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas, de afloramientos, zanjas, tajos, túneles, laboreos y sondajes, las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y de leyes. Esta categoría requiere un alto nivel de confianza en el entendimiento de la geología y controles del yacimiento, la confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos y para permitir una evaluación de la viabilidad económica.

- **Recurso Mineral Indicado.**

Parte de un recurso cuyo tonelaje, morfología, características físicas, leyes y contenido mineral pueden estimarse con un nivel de confianza medianamente razonable que se puede apreciar en la Tabla 06. El estimado se basa en la información de exploración, muestreo y pruebas reunidas con técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos zanjas, pozos, labores mineras, beneficios y taladros; no obstante, los lugares están demasiado distantes o inadecuadamente espaciados para confirmar la continuidad geológica y de leyes, pero si lo suficientemente cercanos para asumirlas. La confianza en el estimado resulta suficientemente alta como para aplicar los parámetros técnicos y económicos para una posible evaluación de pre-factibilidad económica.

- **Recurso Mineral Inferido.**

Parte de un recurso cuyo tonelaje, leyes y contenidos minerales pueden estimarse con un bajo nivel de confianza, resulta inferido a partir de evidencias geológicas y/o leyes asumidas por muestreos superficiales, pero no verificadas en profundidad. La confianza en el estimado es insuficiente como para aplicar parámetros técnicos y económicos o realizar una evaluación económica de pre-factibilidad que merezca darse a conocer al público. Según Código JORC.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.?
- b) ¿Como establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.
- b) Establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

1.5. Justificación de la investigación

La mina presenta zonas húmedas, lo cual es contraproducente para el rendimiento de la madera, ya que este disminuye su ciclo de vida, lo cual se refleja en el pandeo de los puntales, necesitando un cambio inmediato para evitar deslizamientos y accidentes.

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 tajo.

Además, los problemas por inestabilidad del macizo rocoso en la mina La Española pueden conllevar a una serie de accidentes o incluso pérdidas humanas perjudicando muchas veces la producción y rentabilidad de la empresa, por lo cual debemos desarrollar los trabajos de una manera ordenada y cumpliendo con

las recomendaciones geomecánicas y estándares establecidos que conllevan a realizar trabajos seguros.

Por tanto, es necesario mejorar el sostenimiento convencional (madera) con perno split set y malla electrosoldada, con lo cual se busca que el sostenimiento tendrá un mayor tiempo de duración y con ello el rendimiento en la mina aumenta.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones que tuvieron fueron los relacionados a características del yacimiento y las características estructurales de la zona, para lo cual se tuvo que realizar un nuevo mapeo geomecánico que nos permitiera tener los parámetros requeridos para efectuar el nuevo método de sostenimiento en la Mina la Española.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

a) Antecedentes nacionales.

- **(Vela F., 2019)**, de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, desarrolla su tesis “Optimización de costos de sostenimiento, reduciendo el consumo de madera por la aplicación de la malla electrosoldada y perno Split Set en Veta Victoria - C.M.H. S.A.”, El presente trabajo de investigación denominado “Optimización de costos de sostenimiento, reduciendo el consumo de madera por malla electrosoldada y perno Split set en veta Victoria CMH S.A.”, es realizado para poder reemplazar el continuo uso de la madera en el sostenimiento por pernos de fricción y malla electro-soldada en los tajos con vetas angostas dentro de CMH S.A especialmente en la veta Victoria. En donde el problema principal es: el abastecimiento de la madera a la mina no siempre es oportuna y genera retrasos en la explotación de labores, perjudicando los planeamientos de mina, retrasando la explotación ya

que algunas veces las labores quedan paralizadas hasta que llegue el lote de madera, otro problema es el costo de traslado de la madera a la unidad minera a comparación de los pernos y malla electro-soldada, estos últimos son mucho más baratos. Por esos conceptos la empresa se ve obligada a analizar otras alternativas de sostenimiento. Sustentamos este estudio en el tiempo que demora realizar el sostenimiento con cuadros de madera frente al sostenimiento con pernos Split Set y malla electro-soldada, en los factores de seguridad que ofrece el sostenimiento con cuadros frente al sostenimiento con perno y malla en la calidad de macizo rocoso que mayormente se encuentra en los tajos de CMH veta Victoria. Para dar mayor respaldo al estudio haremos la comparación en los costos de ambos elementos, y finalmente compararemos los beneficios que trae consigo este nuevo método de sostenimiento.

- **(Guerra E., 2017)**, de la Universidad Nacional del Centro del Perú, presenta su tesis “Mejoramiento del Sistema de Sostenimiento con Madera mediante Pernos Split Set y Malla Electrosoldada en Labores de Explotación de la Empresa “MACDESA” –Arequipa”; la hipótesis principal planteada es que aplicando los pernos split set y malla electro soldada se mejorará el sistema de sostenimiento en labores de explotación de la minera aurífera Cuatro de Enero S.A.- Arequipa. El objetivo planteado es mejorar el sistema de sostenimiento con madera mediante los pernos Split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la empresa MACDESA- Arequipa. Entre las conclusiones de la investigación tenemos: 1. La Minera aurífera Cuatro de Enero S.A. con el sostenimiento de cuadros de madera y puntales, en

las labores de explotación utiliza un costo total de 20.27 U\$/TM y con el sistema de sostenimiento mecanizado de los pernos split set y malla electrosoldada utiliza un costo total de 19.04 U\$/TM de mineral, cuya diferencia es de 1.23 US\$/TM de mineral explotado. 2. La eficiencia con el sistema convencional es de 2,80 TM/h y con el sistema mecanizado se logra una eficiencia de 3.31 TM/h, el cual demuestra la rentabilidad de split set y malla electrosoldada. 3. La productividad con el sistema de sostenimiento convencional es de 4,51 TM/ hombre-guardia y con el sistema mecanizado de split set y malla electrosoldada es de 6,35 TM/hombre-guardia haciendo una diferencia de 1,84 TM/hombre-guardia. 4. El costo de transporte de la madera es alto en comparación con el costo de transporte de pernos split set y malla electrosoldada lo cual es determinante en los costos de explotación del yacimiento.

b) Antecedentes internacionales

- **(Gonzales L., 2009)**, de la Universidad Javeriana Bogota, Colombia, presenta tesis de investigación “Diseño del Sistema de sostenimiento mecanizado para la Empresa Wilcos Minera S.A”. La investigación está basada en el diseño de un sistema de sostenimiento mecanizado en la empresa WILCOS Minera S.A., utilizando procedimientos estandarizados, con el fin de minimizar los riesgos a los que se exponen día a día los trabajadores, contribuir con el bienestar de ellos y aumentar la productividad en la empresa. Lo primero que se realizó fue un mapa de procesos con el fin de saber el direccionamiento estratégico de la empresa, y alinear el trabajo con los objetivos de la misma. Posteriormente se realizó el diagnóstico de la situación actual de la

empresa frente a los requisitos exigidos por las normas de seguridad, y otro diagnóstico para saber el cumplimiento de las normas legales Colombianas Vigentes. Se establecieron los planes de acción correctivos y preventivos para ajustar la situación de la empresa frente a los requisitos exigidos por la normatividad colombiana vigente, se realizó el panorama de riesgos, el análisis de vulnerabilidad, se diseñó un plan de implementación del del sistema para que la empresa lo utilice. Finalmente se realizó el análisis financiero con el fin de establecer si la implementación del sistema es viable para la empresa.

- **(Rivas D., 2018)**, Universidad de las Américas Facultad de Ingeniería y Negocios Carrera de Ingeniería en Minas – Santiago de Chile, desarrolla la tesis “Optimizar el proceso de Fortificación de Minera Florida.”. Minera Florida extrae minerales preciosos como Au, Ag, Zn mediante un método de explotación Sublevel Stopping, la cual se encuentra ubicada en la comuna de Alhué, dentro de la región Metropolitana. La explotación requiere la excavación de galerías de preparación, desarrollo y producción que deben ser estables por períodos variables de tiempo y para lo cual se requiere aplicar fortificación o sostenimiento de distintos tipos según la importancia de la galería. La fortificación se realiza mediante la instalación de varios tipos de pernos de anclaje, mallas y hormigón proyectado (shotcrete). Por las condiciones geomecánicas de la mina, profundidad y tamaño de las labores, es necesario aplicar diferentes formatos de fortificación, la que es realizada por una empresa contratista. El costo de la fortificación por metro lineal ha mostrado variaciones mensuales importantes en el último tiempo, evidencia de

posible derroche de material, sobre-consumo o cambios en las necesidades de estabilidad. El presente estudio busca conseguir una mejora en el proceso de fortificación mediante la metodología Six Sigma, donde este sistema permitirá realizar estudios, mediciones y análisis. Lograr reducir de forma significativa los errores producidos en la línea productiva de la actividad, además para identificar derroches y sobre consumo para establecer procedimientos de control que permitan variaciones en el costo de fortificación dentro de límites tolerables. Aplicando esta herramienta se espera reducir el costo de materiales de fortificación en Minera Yamana Gold, el que la actualidad alcanza los U\$ 240 por metro lineal. El objetivo es reducir el costo en U\$ 20 a un valor aproximado de U\$ 220 por metro lineal construido

2.2. Bases Teóricas - Científicas.

2.2.1. La Optimización del Sistema de Sostenimiento de Labores Subterráneas.

Los actuales estudios del sostenimiento de las excavaciones subterráneas en base a las Teorías de Elasticidad y Plasticidad se tratarán de considerar en nuestra investigación para evaluar los parámetros definidos, dado que los análisis están basados en condiciones ideales. Aunque el análisis tensional de medios continuos puede utilizar muchos prototipos elásticos, sólo dos métodos permiten tratar con generalidad las complejas situaciones planteadas en la ingeniería: Los Métodos Numéricos como es el caso de los Elementos Finitos y los Métodos o estudios Experimentales en modelos como es el caso de los Modelos Fotoelásticos. Para las evaluaciones del sostenimiento de las excavaciones subterráneas se practica el Test de Markland, que define un plano potencial de

falla, un ángulo de talud (i), ángulo del plano potencial de falla (β) y un ángulo de fricción (ϕ), donde $\phi < \beta < i$.

Hoy en día la Minería Peruana ya comenzó a entender que invertir en seguridad es también invertir en la calidad y en la productividad, todo accidente es evitable si toda la organización que lleva a cabo la operación minera está capacitada, entrenada y motivada.

La caída de rocas es el principal problema en la mina, para poder mantener unida la masa rocosa debemos poder entender cómo se encuentra la roca y porqué el fracturamiento, esto se debe a la formación geológica del yacimiento que se encuentran sujeto a una serie de esfuerzos. En las operaciones mineras de la mina La Española, se emplea el sostenimiento mecanizado, en este caso como elemento primordial de seguridad, se emplea el Sostenimiento convencional a la cual se quiere agregar una malla electrosoldada con pernos Split para el sostenimiento ideal para la estabilización de techos en túneles. Su aplicación rápida y económica sobre cualquier tipo de roca, resulta ventajoso.

En la Minera La española, dentro de la operación se realiza subsiguientemente en la guardia que realiza el disparo, previamente se realiza el desatado del techo y las cajas y se decide por el tipo de sostenimiento que se debe aplicar por las características que presenta el terreno.

2.2.2. 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”.

2.2.2.1. Clases de Terreno

El conocimiento de las diversas clases de terrenos es fundamental para el enmaderado 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.

A. Sostenimiento Según la Clase de Terreno

- Terreno compacto: no requiere sostenimiento sino la formación de una buena bóveda autosostenida.
- Terreno fracturado: exige solo un sostenimiento ligero, esta clase de terrenos es más resistente en dirección perpendicular a las rajaduras o planos de discontinuidad que en dirección paralela a los mismos.
- Terreno suave: requiere de tipo pesado. En esta clase de terrenos las presiones son mayores cuando más fino es el tamaño de los fragmentos.
- Terreno arcilloso: exige un sostenimiento extremadamente resistente o estructuras flexibles capaces de adaptarse a las presiones que se desarrollan.

2.2.2.2. 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.

A. 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.

B. 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 piezas fáciles 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 buen rendimiento.

C. 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.

D. Sostenimiento 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.

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 existe altos esfuerzos y presiones.

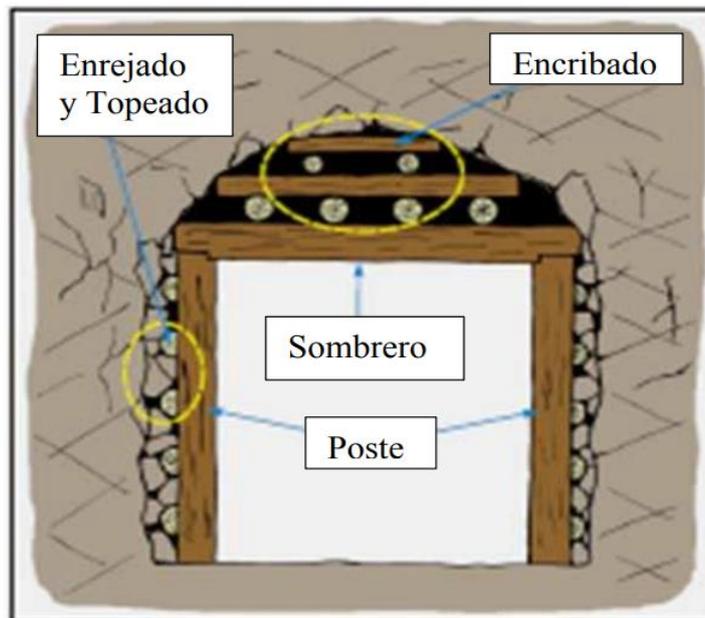
E. Cuadros de Madera

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.

F. 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.

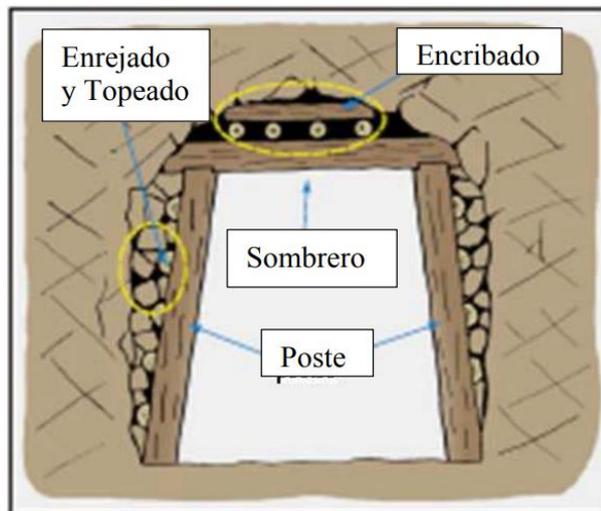
Ilustración 4. Cuadro recto



Fuente: Mina La Española.

- Cuadros cónicos: Son usados cuando la mayor presión procede de los hastíales, 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.

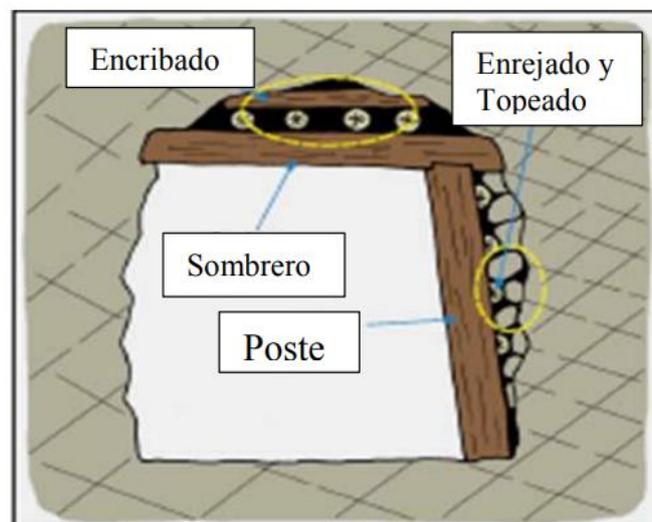
Ilustración 5. Cuadro cónico.



Fuente Mina La Española.

- 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.

Ilustración 6. Cuadro cojo



Fuente Mina La Española.

2.2.3. Sostenimiento de Labores Horizontales

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

- Cuadros de madera
- Cuadros de madera reforzados

2.2.3.1. 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.

2.2.3.2. 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.

A. 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.

B. 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.

2.2.3.3. 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

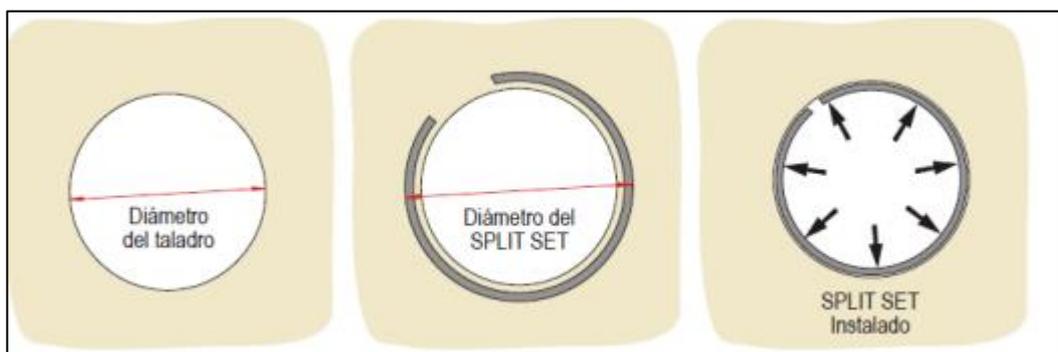
Son usados en el armado de camino y buzón de una chimenea, se coloca puntales a lo ancho de la sección de la chimenea a 1 m de distancia de las anteriores, encima de los puntales se colocan tablas en forma de plataformas para perforar y armar el siguiente puntal de avance y para continuar con los cuadros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

2.2.4. Split Set

La SNMPE (2004), define al Split Set como un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina. El Split set al ser introducido a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga. Los Split Sets pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por pie de longitud del perno, dependiendo principalmente del diámetro de la perforación, la longitud de la zona del anclaje y el tipo roca (SN MPE, 2004).

La SNMPE (2004) recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones para su utilización:

Ilustración 7. Mecanismo de anclaje del Split Set. Fuente: SNMPE, 2004



Fuente: SNMPE

- Los Split sets son utilizados mayormente para reforzamiento en labores temporales, conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de regular a mala calidad. No es recomendable su uso en roca intensamente fracturada y débil.

- Su instalación es sencilla, solo se requiere una máquina jackleg o un jumbo. Proporciona acción de refuerzo inmediato después de su instalación.
- El diámetro del taladro es crucial para su eficacia, el diámetro recomendado para los Split sets de 39 mm es de 35 a 38 mm, con diámetros más grandes se corre el riesgo de un sostenimiento deficiente y con diámetros más pequeños es muy difícil introducirlos.
- En presencia de agua son susceptibles a la corrosión.
- Su instalación es dificultosa cuando son de longitudes largas.

Es un estabilizador de roca por fricción para fortificación de techos y paredes.

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

Parámetros:

- Diámetro: 39 milímetros.
- Longitud: 5 pies (1,50 metros).
- Resistencia: De 1 a 1,5 toneladas métricas/ pie de longitud, dependiendo principalmente del diámetro del taladro y del tipo de la roca.
- Tipo de roca: Regular, en roca intensamente fracturada y débil no es recomendable su uso.
- Instalación: Requiere una máquina jack-leg o un jumbo, una presión de aire de 60 a 80 psi.

2.2.4.1. Diámetro de Perforación del Taladro

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

Los pernos tipo split-set corresponden a una marca registrada por Ingersoll Rand Comp. (EE.UU.) y están constituidos por un tubo, de 2,3 mm. de espesor, que tiene una ranura longitudinal y un diámetro superior al del taladro en el que va a ser anclado el proceso de colocación de un split-set, es sumamente sencillo, ya que basta con introducir a presión el split-set en el taladro donde debe ser anclado. Los split-set consiguen un cierto efecto de puesta en carga inmediato y permiten un deslizamiento muy importante antes de la rotura como aspectos negativos hay que señalar su escasa capacidad de anclaje, que en el mejor de los casos no sobrepasan los 11

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

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

- Pernos de anclaje puntual
- Pernos de anclaje repartido
- Pernos de anclaje combinado

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

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

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

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

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

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

A. Ventajas

- Los Split set consiguen un efecto de puesta en carga inmediato y permiten un deslizamiento muy importante antes de la rotura.
- Permiten la resistencia inmediata debido a su función como anclaje de la resina rápida y la reducción de costo de la lechada para estos elementos de sostenimiento de roca.
- El proceso de instalación es sencillo y consiste en colocar el split set en el taladro a presión.

B. Desventajas

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

2.2.4.2. 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.

2.2.5. Malla Electrosoldada

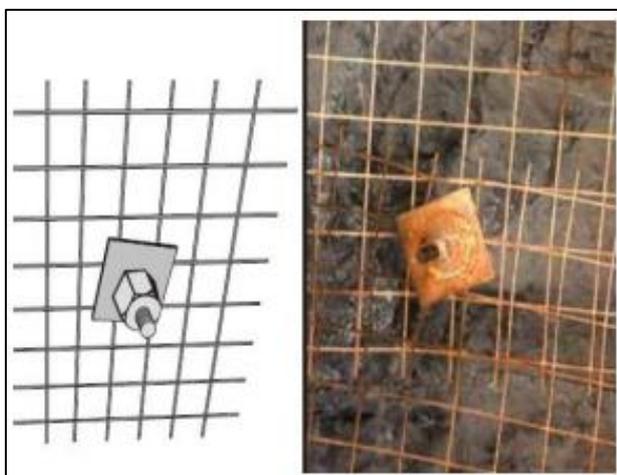
Otro de los pernos de fricción muy utilizados son los pernos Hidrabolt, el mismo que está dando buenos resultados en el sostenimiento de labores temporales de explotación, con una distribución sistemática con malla y sin malla electrosoldada.

Según la SNMPE (2004), la malla metálica es utilizada para los siguientes tres fines: “primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca; segundo, para retener los trozos de roca, actuando en este caso como un elemento de

seguridad; y tercero, como refuerzo del shotcrete”. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.

La malla electrosoldada es la más utilizada que consiste en una cuadrícula de alambres soldados en sus intersecciones, generalmente de N° 10/08, con cocadas de 4”x4”, construidas en material de acero negro que pueden ser galvanizada. Esta malla es recomendada para su uso como refuerzo del concreto lanzado (shotcrete) (SNMPE, 2004).

Ilustración 8. Malla electrosoldada.



Fuente: SNMPE, 2004.

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.

Las características de este elemento de sostenimiento son las siguientes:

Tabla 2. Características físico-mecánicas de la malla

Fabricadas en acero trefilado-laminado AT56-50H	
Límite de fluencia	5 000 kg/cm ²
Límite de ruptura	5 600 kg/cm ²

Fuente: Tubos y perfiles CL. Accesorios.

Tabla 3. Características físicas de la malla electro soldada

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

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

a. Ventajas geomecánicas y operacionales.

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

En la actualidad por las necesidades y la búsqueda de la mecanización de las minas, se está investigando nuevos productos para poner en prueba en el

sostenimiento de labores de la minería subterránea, por estas razones el Western Australian School of Mines (WASM) y la Federal Research Institute (WSL), han realizado pruebas de versatilidad de la malla romboidal de simple torsión y alta resistencia, puede trabajar en terrenos donde existe la presencia de estallido de rocas, como indican en su publicación: Los sismos y daños por rockburst (estallido y desplome de rocas) en minería subterránea de profundidad.

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

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

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

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

2.3. Definición de términos básicos

- **Costos:** Son los recursos económicos que se utilizan para la producción de bienes o servicios.

- **Cuadros de madera:** Es un armazón de madera que pueden ser cónicos, rectos y cojo, que se usan en el sostenimiento de los hastiales de una labor minera.
- **Falla:** Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas que afecta al macizo rocoso ocasionando desplazamiento a lo largo de la falla.
- **Fisura:** Es la grieta, rotura o fractura que se presenta en la superficie del macizo rocoso.
- **Geomecánica:** Es la ciencia aplicada al comportamiento mecánico del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entoreno físico.
- **Labor:** Nombre general para todos los trabajos mineros subterráneos, tales como: túnel, socavón, galería, chimenea, sub nivel, rampa etc.
- **Macizo rocoso:** Es el conjunto de bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades que se presenta en la naturaleza.
- **Malla electrosoldada:** 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 frío con una tensión de fluencia característica de 500 MPa.
- **Mineral.** Materia inorgánica de origen natural que compone la corteza terrestre, posee un valor económico y constituido por 2 elementos: La mena y la ganga. También es una materia inorgánica.
- **Minería.** Parte de la industria que se ocupa de la búsqueda, extracción, beneficio y venta de los minerales y rocas de rendimiento económico.
- **Perforación:** Es una operación mecánica que consiste en realizar taladros en el macizo rocoso o mineral.

- **Perno split set:** Son pernos de anclaje que se utiliza en el sostenimiento de labores mineras subterráneas para mantener la estabilidad del macizo rocoso.
- **Productividad.** - Es la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.
- **Puntales:** Son rollizos de madera que se usan para formar cuadros de madera y para sostenimiento de labores mineras.
- **Relleno:** Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.
- **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.
- **Roca meteorizada:** Es la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y la biósfera.
- **Rugosidad:** Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.
- **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.
- **Yacimiento de Mineral.** Compuesto de uno o más minerales que contiene sustancias metálicas aprovechables cualquiera que sea su tamaño o la forma que presenta el conjunto.

- **Zonas de corte:** Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.
- **Zonificación geomecánica.** - Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- a) Con mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reduciremos los costos en la Empresa Minera La Española S.A.
- b) Con establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reduciremos los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

2.5. Identificación de las Variables

2.5.1. Variable Independiente:

X: Optimización del sostenimiento convencional en la empresa Minera La Española S.A.

2.5.2. Variable Dependiente:

Y: Reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Tabla 4. Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Optimización del sostenimiento convencional en la Empresa Minera La	Optimizando el sostenimiento se busca prevenir accidentes por caída de rocas; así mismo, cambiarla técnica de sostenimiento convencional con perno Split Set y malla electrosoldada considerando el tipo de macizo rocoso, y su caracterización geomecánica, utilizando fórmulas matemáticas ya elaboradas con el fin de Optimizar el método de sostenimiento al mecanizado, teniendo este método una serie de bondades técnicas y económicas, así mismo mejorar las condiciones del ambiente de trabajo para el personal que labora en La Mina La Española.	Caracterización Geomecánica Sostenimiento	Tipo de roca Tiempo de Auto Soporte Parametros Geotecnicos Zonificacion
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.	Determinamos la reducción de costos de acuerdo a los rendimientos de sostenimiento convencional con madera es 2.80 TM/h, relativamente más bajo que cuando se usa el sostenimiento con perno split set y Malla Electro – soldada, que es de 3,31 TM/h 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.	Compañía Minera La Española	Redimiento por tipo de Sostenimiento Estabilidad Diseño de Labores

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

- Investigación aplicada. este tipo de investigación se centra en la utilización de los conocimientos y saberes para la resolución práctica de problemas, en este sentido aplicar los conocimientos en pernos Split Set y malla electrosoldada.
- Basado en la optimización del sostenimiento se obtendrán datos intentando comprender la realidad aplicando un lenguaje formal para levantar información, o sea, mediante herramientas conceptuales, con el fin de comprender. Se determina que tenemos una Investigación descriptiva.

3.2. Nivel de Investigación.

Descriptivo

3.3. Métodos de investigación

El método que se siguió para la realización de la presente investigación fue como sigue:

- Método cualitativo: Se utilizan para responder cuestionamientos que no pueden ser medibles y se enfocan en obtener información de experiencias y percepciones de los participantes que interesan a la investigación. Permitiendo obtener la conclusión general a partir de los datos obtenidos y los antecedentes de la Mina La Española, corroborando con los datos obtenidos en el trabajo de campo.

3.4. Diseño de la Investigación

El diseño corresponde a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, se tiene el sostenimiento convencional efectuado en la mina, y la aplicación del nuevo sostenimiento con un diseño adecuado y garantizado de acuerdo a la investigación efectuada con respecto al sostenimiento con Split Set y su aplicación en la Mina La Española.

3.5. Población y Muestras

3.5.1. Población

La optimización del sostenimiento convencional se realizará en todas las labores de la Mina La Española, representando la población del trabajo de investigación.

3.5.2. Muestra

Son los rendimientos de sostenimiento convencional con madera que es relativamente más bajo que cuando se usa el sostenimiento con perno Split Set y Malla Electro – soldada, y también de acuerdo a la productividad en el caso del sostenimiento con madera en comparación con el sostenimiento con Split Set y Malla Electrosoldada, lo cual es considerablemente más alto que la productividad del tajo cuando se aplica el sostenimiento convencional con cuadros de madera, determinado de acuerdo al muestro realizado..

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.1. Técnicas

Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación y análisis de data**

Se recolecta la información histórica del sostenimiento convencional y de los tiempos de soporte del sostenimiento aplicado.

- **Observación directa y toma de datos**

Se realiza observaciones directas de todo el proceso de sostenimiento en la mina, para la información obtenida del macizo rocoso.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se analizo la información proporcionada por la compañía y la información por internet que sirvieron como antecedentes para la aplicación del sostenimiento convencional con pernos Split Set y Malla Electrosoldada.

3.6.2. Instrumentos.

Instrumentos de recolección de datos.

Materiales

- ✓ Planos topográficos.
- ✓ Reporte de procesos de sostenimientos realizados.
- ✓ Sostenimientos realizados con anterioridad (Documentación).
- ✓ Informe de Sostenimientos y detalles geomecánicos.
- ✓ Picota, brújula, flexómetro, mapeador.
- ✓ Estación Total.
- ✓ Libreta de campo.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El proceso de datos se efectuó mediante el análisis de la productividad del tajo, se calculó mediante los reportes quincenales y mensuales de mina donde indica las tareas empleadas en el mes y el tonelaje extraído del tajo, de los cuales se extrae las toneladas métricas/ hombre – guardia (TM / h – g), que es el indicador de la productividad.

Es importante precisar que el Modelo Geomecánico, considerado para el análisis de la estabilidad varia segundo las secciones geomecánicas y las zonas de explotación, en este contexto se empleó el modelamiento numérico solo en las secciones representativas.

3.8. Tratamiento Estadístico

Las acciones que se aplicaron sobre las unidades experimentales y que son objeto de comparación son los sostenimientos convencionales realizados y la comparación con el sostenimiento mecanizado aplicado. Permittiéndonos obtener una estadística dentro de todos los procesos efectuados obteniendo un modelo estadístico que refleja los resultados obtenidos.

3.9. Orientación ética, filosófica y epistémica

Al efectuar el presente trabajo de investigación se desarrolló dentro de los principios de la ética profesional y la mina La Española ha venido y sigue trabajando a través de un sólido programa de Diversidad e Inclusión, que busca seguir construyendo y consolidando una empresa más justa, segura, ética e inclusiva. Para ello cuenta con claras políticas que son el marco de referencia de esta gestión. Asimismo, cuenta con un estándar de igualdad y no discriminación remunerativa, entre otras iniciativas que son parte de su cultura laboral y que incluyen charlas de sensibilización entre quienes son parte de la Compañía.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Tipo de sostenimiento aplicado en labores de explotación

El tipo de sostenimiento aplicado en las labores de explotación de la minera La Española S.A. 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 y malla electro – soldada.

En el estudio nos referimos a la influencia del uso de cuadros de madrea y los pernos split set y malla electrosoldada como sostenimiento en la eficiencia, productividad y costo de explotación de los tajos de la empresa La Española, que en base a los parámetros de estudio realizado, se podrá realizar un reemplazo del tipo de sostenimiento convencional a sistema mecanizado en labores de

explotación de un ancho de 1.8 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 tajo 560-E, y tajo 450 W 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 empresa La Española al realizar este cambio en el sistema de sostenimiento. A continuación, se presenta en el cuadro el levantamiento geomecánico de tajo 560-E y se muestra en el plano geomecánico del tajo 560-E.

Tabla 5. Geomecánica del Tajo 560-E.

Ubicación	Índices Geomecánico				Cohesión kg/cm ²	Angulo fricción σ	Sostenimiento		Tiempo de soporte	Sección actual		Apertura máxima M.
	Tipo roca	GSI	Q	RM R			Recomendación GSI(modificado)	Actual		Ancho M	Alto M	
Estructura mineralizada	IV	Q MF/ P	0.4- 1.0	35	1.2	16.5	Perno sistemático (1.2x1.2) con malla y/o pilar	Perno sistemático (1.2x1.2) con malla y/o pilar	10 hora s	1,8	2,0	2,5
	IV	E IF/ P	1.0- 0.4	30	1.6	22.5	Perno sistemático(1.0x 1.0)con malla o cuadro sistemático(0.8 m luz)	Perno sistemático (1.0x10) con malla	10 hora s	1,6	1,8	2,0
Cajas	II	A F/B	10- 40	65	3.4	42.1	Sin soporte, perno ocasional o cuadro ocasional	sin soporte	8 Mes es	1.6	1.8	6.35
	II	A F/R	7- 12	64	3.8	44.6	Sin soporte, perno ocasional o cuadro ocasional	Perno ocasional	4 Mes es	1.5	1.8	5.65

Fuente: Área de geología de la minera La Española.

Como podemos observar en el Tajo 560-E, la zona mineralizada tiene un ancho promedio de 1.8 metros y tiene un valor promedio de RMR 35, 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 tajo 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 en TM/hora, 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 150 m. aproximadamente de un promedio de 1,8 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 tajo de 150 m. aproximadamente, 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. En la siguiente tabla se observa los tiempos promedio de ciclo de minado en las labores de explotación de la Minera La Española.

Tabla 6. Tiempo de minado con sostenimiento convencional

Descripción	Incidencia	Tiempo (minuto)	Tiempo (hora)
Ventilación	6,25%	30	0,50
Desatado	1,50%	07	0,12
Traslado de madera	13,50%	65	1,08
Sostenimiento	25,00%	120	2,00
Perforación	26,63%	128	2,13
Limpieza	18,75%	90	1,50
Voladura	8,38%	40	0,67
Tiempo total	100,00%	480	8,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Tiempo de minado con sostenimiento mecanizado

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%	110	1,83
Voladura	8,38%	40	0,67
Tiempo total	94,26%	452	7,54

Fuente: Elaboración propia.

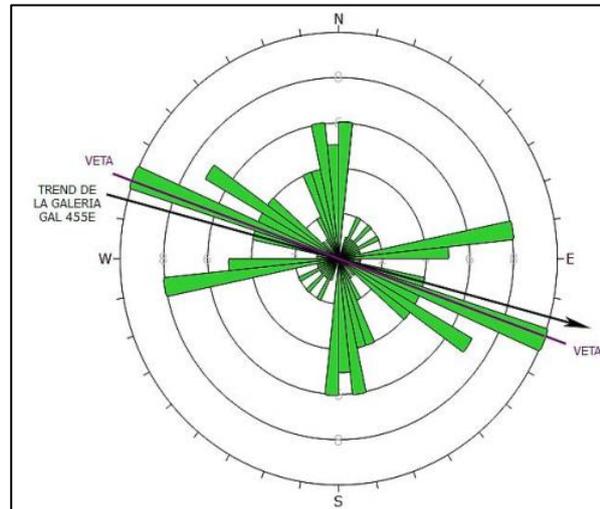
Se debe recalcar que en la actualidad es mayor el uso de split set de 5 pies de longitud y 39 mm. de diámetro, por ese motivo se observa que es más alto el consumo de split set de 5 pies esto principalmente por la sección de las labores y porque generalmente la longitud del barreno utilizado es de 6 pies.

4.1.3. Evaluación geomecánica gal 455E – NV 1720

En el diagrama de rosetas, se observa que la densidad más alta es la orientación principal (Falla veta) que es sub horizontal, siendo muy desfavorable

para la construcción del túnel, en segundo lugar, se encuentran las estructuras transversales al Trend de la Gal. 455E, la densidad de las estas estructuras relacionadas a la veta es menores.

Ilustración 9. Diagrama de rosetas GAL 455E.

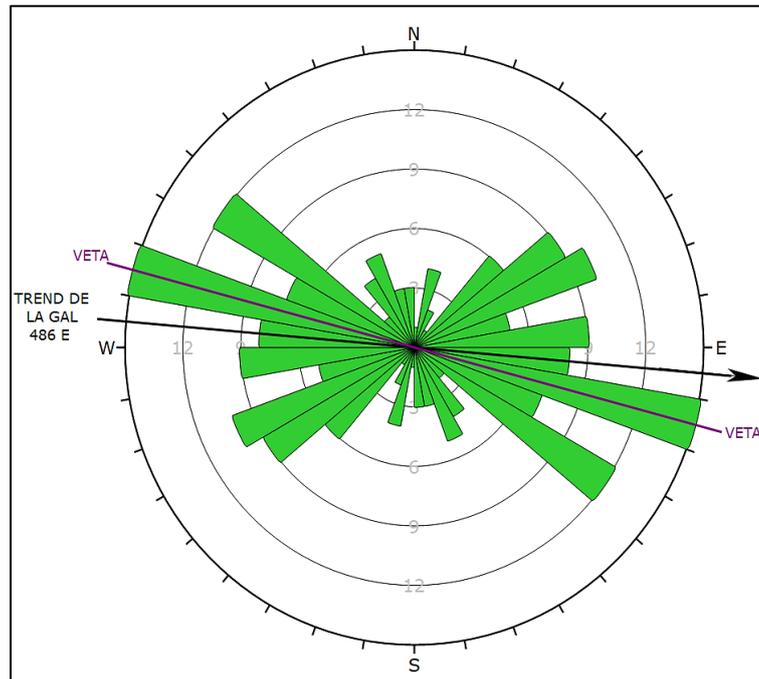


Fuente: Geomecánica Mina La Española.

4.1.4. Evaluación Geomecánica GAL 486E – NV 1665.

En el diagrama de rosetas, se observa que la densidad más alta es la orientación principal (Falla - veta) que es sub horizontal, siendo muy desfavorable para la construcción del túnel, en segundo lugar, se encuentran las estructuras transversales al Trend de la GAL 486E, la densidad de las estas estructuras relacionadas a la veta es menores.

Ilustración 10. Diagrama de rosetas GAL 486E.



Fuente: Geomecánica Mina La Española.

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Evaluación Geomecánica con 06 Estaciones

Se presenta el análisis realizado con 06 estaciones de caracterización geomecánica mediante los cuales interpretaremos los resultados del proceso de optimización del sostenimiento con la aplicación del sistema mecanizado.

1°. Estación Geomecánica 1

Está conformada litológicamente por andesitas afaníticas con estimación de resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad que presenta la estación geomecánica 1. El RMR para esta estación geomecánica es de 31, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 8. Clasificación RMR89 - Estación Geomecánica 1.

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO	VALOR	
RCU	7	
RQD	8	
ESPACIAMIENTO	10	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	1
	RUGOSIDAD	1
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA	10	
RMR BÁSICO	43	
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12	
RMR LABOR	31	
TIPO DE ROCA	IV	

a. Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 1

Se observa las trazas de los sistemas principales de discontinuidades (familias principales), en el cuadro superior derecho se tiene la lista de orientación de las familias (Dip y Dip Direction). Entre estas familias forman cuñas de diferentes tamaños, la de mayor consideración es la cuña formada por los planos de discontinuidad de la veta: $59^{\circ}/173^{\circ}$ (D/DD), D-3: $76^{\circ}/22^{\circ}$ (D/DD) y D-4: $78^{\circ}/260^{\circ}$ (D/DD), esta cuña se ubica en la corona y parte del hastial sur de la galería (caja techo) con un alto potencial de caída.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 1, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 1:

- Sección de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 13 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con dos golpes de picota.

- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: malla electrosoldada y split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 1 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1 x 2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 1 se tiene 13 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y lisas a onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de

Roca es IV de mala calidad con un RMR de 31. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 1 es Muy Fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 1

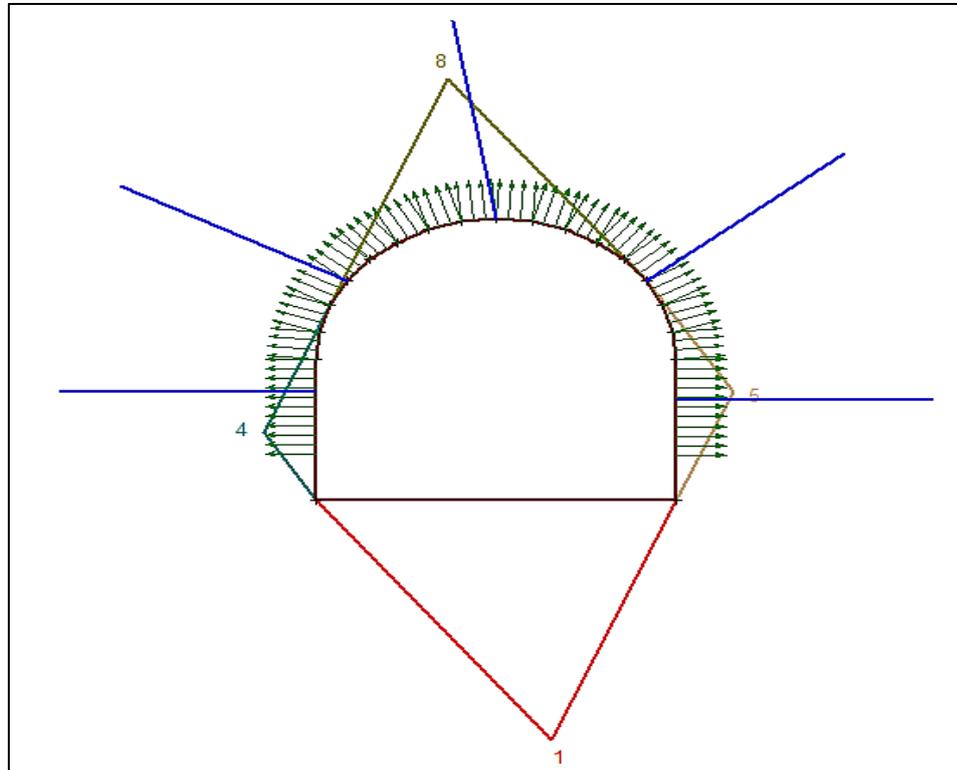
Con el fin de corroborar el soporte del diseño para el tipo de roca IV y así asegurar la estabilidad de la galería 455E se realizó el siguiente análisis estructural de cuñas con el software Unwedge; el cual nos muestra en forma gráfica la presencia de cuñas y de igual manera nos alerta del factor de seguridad de cada una de ellas. Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades: Dip.Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split Set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 1 se puede observar tres sistemas principales de discontinuidades las cuales forman cuñas; la cuña número 8 ubicada en la corona con un factor de seguridad de 0.392 y peso de 1.343 Ton la cual la hace inestable con un alto potencial de caída de rocas; de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento con malla y Split Set de 5 pies espaciado a 1.70 x

1.00m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 11. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 1.



2º. Estación Geomecánica 2

Esta estación lo conforman rocas alteradas constituidas por andesitas afaníticas, generadas por los flujos epitermales de baja sulfuración que cambiaron la composición mineralógica y textura de la roca caja, definiendo laminaciones en el hastial sur (caja techo) paralelas a la excavación ocasionando desprendimiento de rocas en laminas, a la vez existen fallas transversales a la excavación que generan desprendimiento de rocas en cuñas, no proporcionando seguridad a la caja techo por su baja resistencia en comparación con la caja piso, con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para

fracturarla. Siendo definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo y óxidos, moderadamente alterada, siendo afectada por el goteo constante proveniente de la corona y hastial sur (caja techo). El RMR para esta estación geomecánica es de 28, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 9. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 2

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		8
ESPACIAMIENTO		10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA		2
RMR BÁSICO		40
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		28
TIPO DE ROCA		IV

a. Análisis mediante el software DIPS de la Estación Geomecánica

2.

Se puede observar la formación de dos cuñas representativas, la de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 52°/192° (D/DD), D-2: 80°/79° (D/DD) y D-3: 46°/327°(D/DD), la cuña se ubica en la corona de la galería con un alto potencial de caída. Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 2, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 2:

- Sección de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 18 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con un golpe de picota.
- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: cuadro de madera espaciado a 1.20m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: cuadro de madera espaciado a 1.20m.

La estación geomecánica 2 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 2 se tiene 18 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y lisas a onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como

factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 28. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 2 es muy fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es cuadros de madera espaciados a 1.20m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 2

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades: Dip. Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del cuadro de madera: 12 Ton/m².
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

En la estación geomecánica 2 se puede observar la formación de cuatro cuñas, la más inestable es la número 8 que está ubicada en la corona y presenta un factor de seguridad de 0.0 con un peso de 0.406 Ton la cual la hace inestable y con un alto potencial de caída por la presencia de goteo de agua; de acuerdo a la tabla GSI recomienda sostenimiento con cuadros de madera espaciados a 1.20m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 12. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 2.

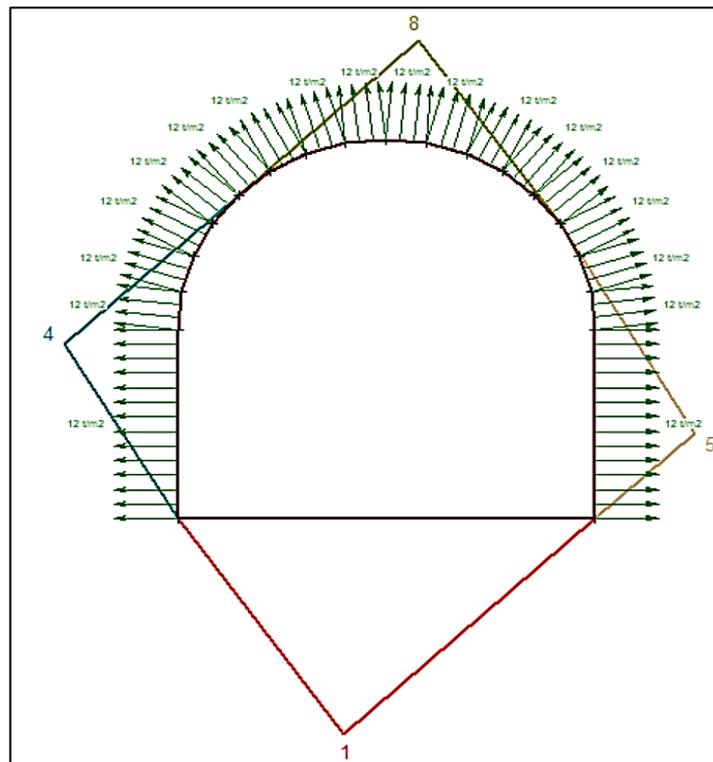


Tabla 10. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 2

	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	2.925	0.739	0.521	0.406
Altura Aprox (m)	1.19	0.57	0.50	0.56
FS	Estable	50.897	92.443	27.343
Factor de seguridad diseño 1.5				

3°. Estación Geomecánica 3

Esta estación lo conforman rocas andesitas afaníticas, la potencia de veta en esta estación se reduce y solo se observa estructura (falla veta) y discontinuidades paralelas a la excavación, a la vez existen fallas transversales a la excavación, no proporcionando seguridad a la excavación subterránea, con estimación de resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias

de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo, arcilla y óxidos, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 39, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 11. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 3

RMR BIENIA WSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		13
ESPACIAMIENTO		8
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	4
	ABERTURA	5
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRANEA		7
RMR BÁSICO		51
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		39
TIPO DE ROCA		IV

a. Análisis mediante el software DIPS de la Estación Geomecánica 3.

Se puede observar la formación de tres cuñas representativas, la de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta:

53°/199° (D/DD), D-2: 82°/87° (D/DD) y D-3: 61°/34°(D/DD)

La cuña se ubica en la corona de la galería y parte del hastial izquierdo (caja piso) con un alto potencial de caída de rocas.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 3, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 2:

- Sección de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 14 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con dos golpes de picota.
- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70x1.0m

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5' espaciados 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 3 de la GAL 455E del Nv. 1720 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 3 se tiene 14 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas y onduladas, haciendo

la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de agua, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 39. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 3 es Muy Fracturada/Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5' espaciados 1.70x1.0m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 3

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 103.0m.
- Orientación de las discontinuidades Dip.
- Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 3, se puede observar la formación de cuatro cuñas principales, de las cuales dos presentan un factor de seguridad de 0.0. La cuña número 4 es la más inestable e insegura por su peso de 4.203 Ton. ubicada en el hastial izquierdo de la excavación, la número 8 que está ubicada en la corona con un peso

de 0.254 Ton la cual la hace inestable y con un alto potencial de caída por la presencia de humedad y relleno con panizo entre las discontinuidades; de acuerdo a la tabla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 13. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 3

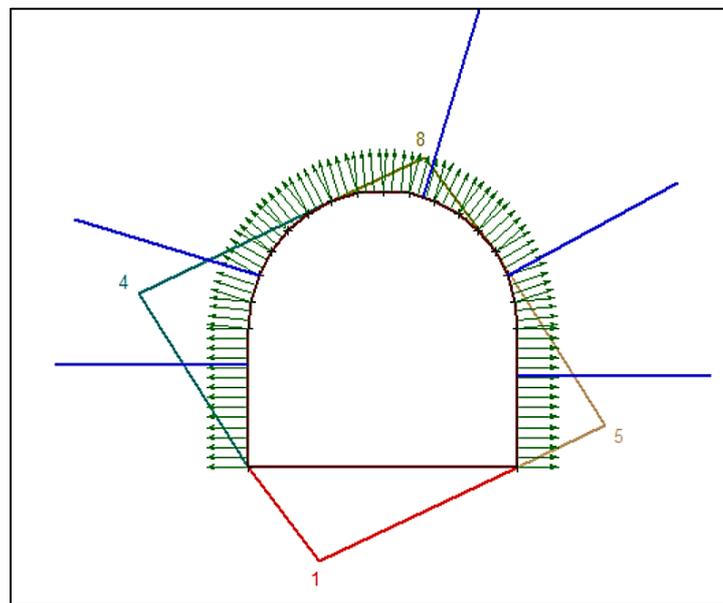


Tabla 12. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 3

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	2.554	4.203	2.074	0.254
Altura Aprox (m)	0.72	0.88	0.68	0.30
FS	Estable	21.066	40.463	1.957
Factor de seguridad diseño 1.5				

4°. Estación Geomecánica 4

Está estación lo conforman rocas andesitas afaníticas, se observa fallas transversales que generan desplazamiento a la veta N-S, están bien definidas por los espejos de falla, hacia el hastial sur (caja techo de veta) las discontinuidades son paralelas a la excavación generando

falsas cajas ocasionando desprendimiento de rocas en laminas, no proporcionando seguridad; con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas (lisas), con rellenos de panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad. El RMR para esta estación geomecánica es de 36, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 13. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 4

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		8
ESPACIAMIENTO		10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA		10
RMR BÁSICO		48
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		36
TIPO DE ROCA		IV

a. Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 4.

Se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y bloques tabulares por las discontinuidades paralelas a la excavación, la cuña de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: 52°/176° (D/DD), D-3: 82°/237° (D/DD) y D-4: 66°/337°(D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 4, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 4:

- Tipo de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 15 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con un golpe de picota.
- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: malla electrosoldada y Split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 4 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel.

En la estación geomecánica 4 se tiene 15 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas,

haciendo la prueba de resistencia la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 36. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 4 es Muy Fracturada/Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 4

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.0m.
- Orientación de las discontinuidades: Dip. - Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 4, se puede observar la formación de cinco cuñas principales, de las cuales la número 2, 7 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. La cuña número 8 es la más insegura

por su peso de 3.001 Ton. ubicada en la corona con un alto potencial de caída por la presencia de humedad y espejos de fallas entre las discontinuidades, también se puede observar cuñas de menor tamaño; de acuerdo a la tabla GSI., recomienda sostenimiento malla y Split Set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 14. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento -EG 4.

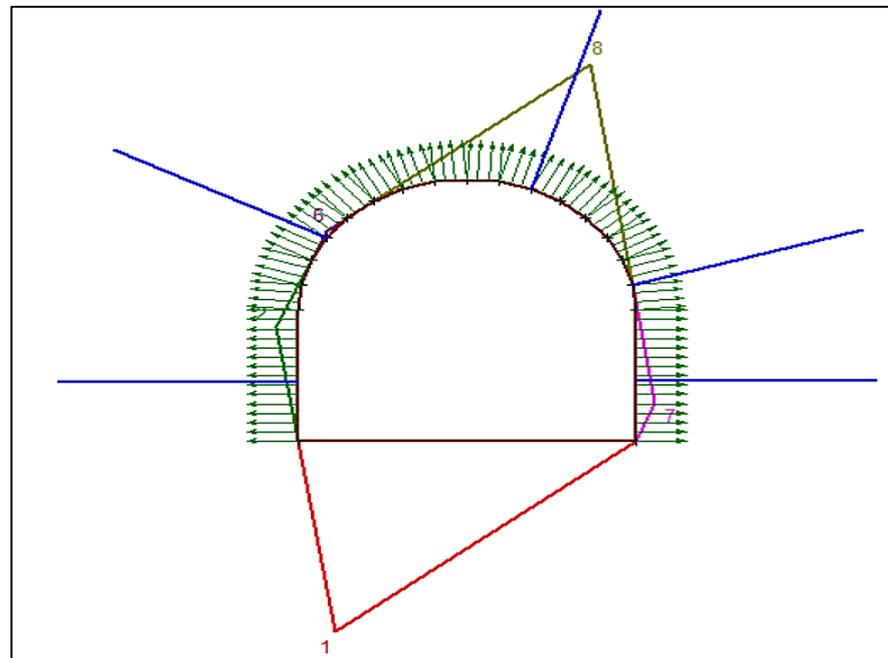


Tabla 14. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 4

Descripción	Cuña 1	Cuña 2	Cuña 6	Cuña 7	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial izquierdo superior	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	10.221	0.104	0.002	0.071	3.001
Altura Aprox (m)	1.53	0.14	0.003	0.12	1.07
FS	Estable	3.229	8.271	3.454	2.273
Factor de seguridad diseño 1.5					

5°. Estación Geomecánica 5

Está conformada por rocas andesitas afaníticas, en el hastial norte (caja piso) las rocas son muy fracturadas y en el hastial sur (caja techo) formación de falsas cajas paralelas a la excavación con espejos de fallas ocasionando desprendimiento de rocas en bloques tabulares; con estimación de resistencia R3, categorizándolo en términos de roca medianamente resistente, por requerir un golpe fuerte con la punta de la picota para fracturarla. Siendo definido por cuatro familias de discontinuidades, con espaciados de 0.06m. – 0.2 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas, onduladas y lisas, con rellenos de óxidos y panizo, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 31, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 15. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 5

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
.		7
RQD		8
ESPACIAMIENTO		8
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA		7
RMR BÁSICO		43
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES		-12
RMR LABOR		31
TIPO DE ROCA		IV

a. Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 5.

Se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y bloques tabulares por las discontinuidades paralelas a la excavación, la cuña de mayor tamaño está conformada por los planos de discontinuidad de la veta: $41^{\circ}/209^{\circ}$ (D/DD), D-2: $79^{\circ}/184^{\circ}$ (D/DD) y D-3: $84^{\circ}/104^{\circ}$ (D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 5, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 5:

- Sección de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 12 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con un golpe de picota.
- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: malla electrosoldada y Split Set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 5 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel. En la estación geomecánica 5 se tiene 12 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con un golpe de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad en toda la sección de la labor, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 31. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 5 es Muy Fracturada / Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 5

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.0m.
- Orientación de las discontinuidades: Dip.
- Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.

- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 5, se puede observar la formación de cuatro cuñas principales, de las cuales la número 4, 5 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. Las cuñas número 4 y 5 tienen un peso de 0.398 Ton. ubicadas en los hastiales de la excavación y la número 8 ubicada en la corona con un peso de 0.057 Ton. Las tres representan un alto potencial de caída por su Fs y la presencia de humedad con espejos de fallas entre las discontinuidades y fallas transversales; de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad de estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 15. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 5.

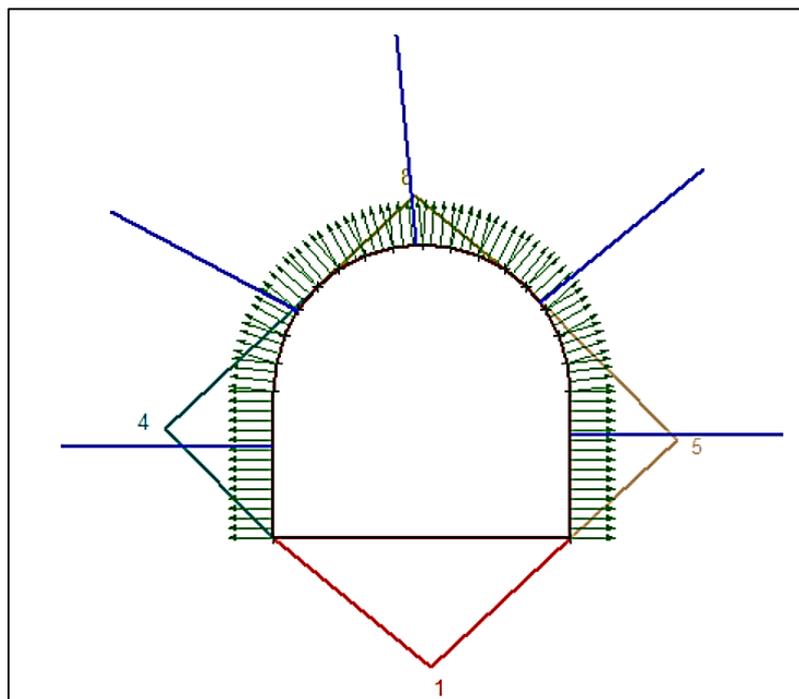


Tabla 16. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 5

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Corona
Peso (Ton.)	0.849	0.398	0.398	0.057
Altura Aprox (m)	0.92	0.77	0.76	0.34
FS	Estable	3.834	3.919	6.305
Factor de seguridad diseño 1.5				

6°. Estación Geomecánica 6

Conformada por rocas andesitas afaníticas, la potencia de veta en esta estación se reduce y solo se observa una estructura (falla veta) y discontinuidades paralelas a la excavación con estimación de resistencia R4, categorizándolo en términos de roca resistente, por requerir más de un golpe de la picota para fracturarla. Siendo definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.2m. – 0.6 m. Presentado en su estructura superficies ligeramente rugosas a onduladas, con rellenos de panizo y arcillas, moderadamente alterada, siendo afectada por la humedad en toda la sección de la galería. El RMR para esta estación geomecánica es de 33, roca tipo IV de mala calidad.

Tabla 17. Clasificación RMR89, Estación Geomecánica 6

RMR BIENIAWSKI 1989		
PARÁMETRO		VALOR
RCU		7
RQD		8
ESPACIAMIENTO		10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	2
	ABERTURA	4
	RUGOSIDAD	3
	RELLENO	1
	ALTERACIÓN	3
AGUA SUBTERRÁNEA		7

RMR BÁSICO	45
CORRECCIÓN POR DISCONTINUIDADES	-12
RMR LABOR	33
TIPO DE ROCA	IV

a. Análisis DIPS de la Estación Geomecánica 6.

Se puede observar la formación de cuñas tetrahedrales y biplanares, la cuña de mayor tamaño está conformada por la intersección de los planos de discontinuidad de la veta: $60^{\circ}/193^{\circ}$ (D/DD), D-2: $46^{\circ}/26^{\circ}$ (D/DD) y D-3: $74^{\circ}/329^{\circ}$ (D/DD), esta se ubica en la corona de la galería.

Determinación del tipo de sostenimiento de la estación geomecánica 6, según la Cartilla Geomecánica GSI.

Datos de la estación geomecánica 6:

- Sección de labor: galería 2.1 x 2.1m.
- Fracturamiento: 12 fracturas/m.
- Resistencia: se rompe con dos golpes de picota.
- Factores influyentes: orientación de las discontinuidades paralelas a la labor, agua subterránea, formación de cuñas.

Cartilla geomecánica a usar: GSI.

- Paso 1: muy fracturada (MF).
- Paso 2: regular (R).
- Paso 3: muy fracturada / regular (MF/R).
- Paso 4: malla electrosoldada y Split set de 5' espaciado de 1.70x1.0m.

Índice geológico de resistencia (GSI): muy fracturado / regular (MF/R).

Tipo de sostenimiento: malla electrosoldada y Split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

La estación geomecánica 6 de la GAL 486E del Nv. 1665 tiene una sección de 2.1x2.1 m siendo una labor temporal ya que solo servirá como vía de extracción de mineral de la veta Miriam en dicho nivel. En la estación geomecánica 6 se tiene 12 fracturas por metro, por lo que la condición de su estructura según la cartilla geomecánica GSI es Muy Fracturada (MF), la roca está moderadamente alterada, tiene presencia de discontinuidades rugosas, lisas y onduladas, haciendo la prueba de resistencia, la roca se rompe con dos golpes de la picota, por lo que la condición superficial del macizo rocoso es Regular (R). Existe la presencia de humedad, orientación de las discontinuidades paralelas a la labor y formación de cuñas como factores influyentes y según la cartilla geomecánica GSI el tipo de Roca es IV de mala calidad con un RMR de 33. Por lo tanto, el Índice Geológico de Resistencia (GSI) para la Estación geomecánica 6 es Muy Fracturada /Regular (MF/R). Finalmente, el tipo de sostenimiento recomendado según la cartilla geomecánica GSI es malla electrosoldada y split set de 5 pies espaciado de 1.70x1.0m.

b. Análisis Unwedge – Estación Geomecánica 6

Los parámetros utilizados para calcular el factor de seguridad fueron:

- Longitud del túnel: 117.m.
- Orientación de las discontinuidades: Dip.

- Dip Direction.
- Capacidad de sostenimiento del Split set: 1 Ton/pie.
- Factores influyentes: agua subterránea.
- Peso específico de la roca: 2.7 Ton/m³.
- Peso específico del agua: 0.981 Ton/m³.

Para la estación geomecánica 6, se puede observar la formación de cinco cuñas principales, de las cuales la número 4, 5, 7 y 8 presentan un factor de seguridad de 0.0. Las cuñas número 4 y 5 ubicadas en los hastiales izquierdo y derecho tienen un peso de 2.186 Ton y 1.543 Ton respectivamente, la número 7 es de un tamaño pequeño ubicada en el hastial derecho superior con un peso de 0.002 ton, por último la número 8 ubicada en la corona con un peso de 0.612 Ton, todas estas cuñas no prestan seguridad a la excavación, de acuerdo a la cartilla GSI recomienda sostenimiento malla y Split set de 5 pies espaciado a 1.70 x 1.0m donde el factor de seguridad para estas cuñas es óptimo como muestra el siguiente gráfico.

Ilustración 16. Representación gráfica de cuñas y sostenimiento - EG 6.

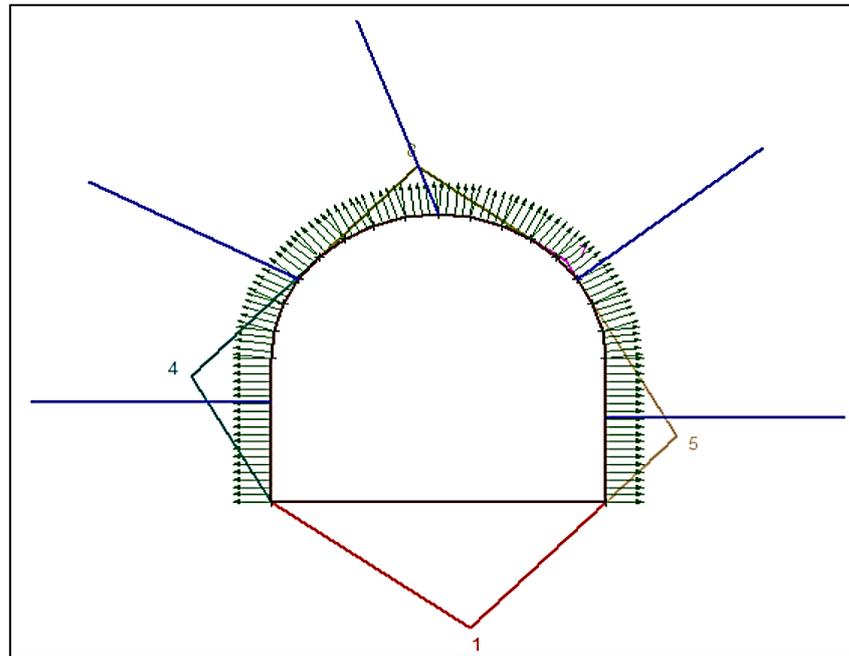


Tabla 18. Especificaciones de las cuñas con sostenimiento – EG 6

Descripción	Cuña 1	Cuña 4	Cuña 5	Cuña 7	Cuña 8
Ubicación	Piso	Hastial izquierdo	Hastial derecho	Hastial derecho superior	Corona
Peso (Ton.)	9.165	2.186	1.543	0.002	0.612
Altura Aprox (m)	0.92	0.50	0.44	0.03	0.36
FS	Estable	3.543	15.815	9.504	6.192
Factor de seguridad diseño 1.5					

4.3. Prueba de Hipótesis

En el proyecto de investigación se identifican la variable Independiente y la variable Dependiente, mediante su determinación y proceso se debe realizar la prueba de hipótesis para luego sea acepta la hipótesis: La optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

- **H0:** Optimización del sostenimiento convencional en la empresa Minera La Española S.A.

- **H1:** Reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.

4.4. Discusión de Resultados

4.4.1. Resultados en la adquisición de elementos de sostenimiento

mecanizado

El costo de flete es de S/. 0.15 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 dato indica el jefe de almacén general de la minera La Española, 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 (huelgas).

4.4.2. Consumo de puntales de eucalipto en la minera

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 La Española son los de 6 - 7 pulgadas de diámetro, el consumo de madera se mantiene constante.

4.4.3. 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 50.35 kg, el transporte de un puntal de cada uno de estos diámetros es de S/.7.50 nuevos soles respectivamente por puntal. Los costos son elevados en comparación con el 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.

4.4.4. Comparación de costos Split set y madera incluido el flete

En el cuadro 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 19. Evolución de precios incluidos el transporte (en soles)

Año \ Descripción	2019	2020	2021	Promedio
Split set de 5' y flete	20,35	25,30	29,45	25,00
Malla rollo (25 x 2 m) y flete	665,00	730,00	810,00	735,00
Puntal de 4 – 5" de diámetro y flete	20,00	25,00	28,00	24,00
Puntal de 6 – 7" de diámetro y flete	22,00	27,00	30,00	26,00

En este cuadro se ilustra más detalladamente 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 Tajo 560-E en estos tajos 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 tajo, en la actualidad se puede realizar hasta tres cortes en el tajo.

4.4.5. Aplicación de los pernos Split Set

Aplicando los pernos split set y malla electrosoldada se mejorará el sistema de sostenimiento con madera en labores de explotación de la minera La Española S.A.- 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 métricas/ hombre – guardia (TM / h – g), que es el indicador de la productividad.

En el siguiente cuadro se muestra la eficiencia y la productividad de las labores de explotación de la minera La Española.

Tabla 20. Comparación de eficiencia y productividad con sostenimiento Split set vs madera.

Fecha	Sostenimiento	Eficiencia (TM/h)	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

Fuente: Mina La Española.

Se observa en la tabla, los rendimientos de sostenimiento convencional con madera es 2.80 TM/h, relativamente más bajo que cuando se usa el sostenimiento con perno split set y Malla Electro – soldada, que es de 3,31 TM/h 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 minera La Española 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 550.0 TM por mes, para ambos casos.

Para esto se realizó los cálculos tomando los datos del tajo 560-E, que es la labor típica donde se realizó este tipo de cambios en el sistema de sostenimiento.

Tabla 21. Costo de explotación de sostenimiento con Split set y malla electrosoldada

Ítem	Costos directos	Costo (\$)	Unidad
1	Costo de perforación y voladura	5,15	\$/TM
2	Costo de sostenimiento	5,65	\$/TM
3	Costo de limpieza	2,10	\$/TM
4	Costo de relleno	1,85	\$/TM
5	Costo servicios mina	2,55	\$/TM
	COSTOS DIRECTOS	17,30	\$/TM

Fuente: Mina La Española.

Tabla 22. Costos indirectos de explotación de sostenimiento con Split set y malla electrosoldada

Ítem	Costos indirectos		Costo (\$)	Unidad
1	Imprevistos	5 %	0,87	\$/TM
2	Gastos generales	5 %	0,87	\$/TM
	COSTOS INDIRECTOS		1,74	\$/TM
	COSTO TOTAL		19,04	\$/TM

Fuente: Mina La Española.

Tabla 23. Costo de explotación de sostenimiento con madera

Ítem	Costos directos	Costo (US\$)	Und.
1	Costo de perforación y voladura	5,15	\$/TM
2	Costo de sostenimiento	6,78	\$/TM
3	Costo de limpieza	2,10	\$/TM
4	Costo de relleno	1,85	\$/TM
5	Costo servicios mina	2,55	\$/TM
	COSTO DIRECTO	18,43	\$/TM

Tabla 24. Costos indirectos de explotación de sostenimiento con madera

Ítem	Costos indirectos		Costo (US\$)	Unidad
1	Imprevistos	5,00%	0,92	\$/TM
2	Gastos generales	5,00%	0,92	\$/TM
	COSTO INDIRECTOS		1,84	\$/TM
	COSTO TOTAL		20,27	\$/TM

CONCLUSIONES

- Con este trabajo de suficiencia profesional se concluye que, con el sostenimiento de cuadros de madera y puntales, en las labores de explotación utiliza un costo total de 20.27 U\$/TM y con el sistema de sostenimiento mecanizado de los pernos split set y malla electrosoldada utiliza un costo total de 19.04 U\$/TM de mineral, cuya diferencia es de 1.23 US\$/TM de mineral explotado.
- Con este trabajo de suficiencia profesional se concluye que la eficiencia con el sistema convencional es de 2,80 TM/h y con el sistema mecanizado se logra una eficiencia de 3.31 TM/h, el cual demuestra la rentabilidad de split set y malla electrosoldada.
- Con este trabajo de suficiencia profesional se concluye que la productividad con el sistema de sostenimiento convencional es de 4,51 TM/ hombre-guardia y con el sistema mecanizado de split set y malla electrosoldada es de 6,35 TM/hombre-guardia haciendo una diferencia de 1,84 TM/hombre-guardia.
- Con este trabajo de suficiencia profesional se concluye que el costo de transporte de la madera es alto en comparación con el costo de transporte de pernos split set y malla electrosoldada lo cual es determinante en los costos de explotación del yacimiento.

RECOMENDACIONES

- Con este trabajo de suficiencia profesional se recomienda que el sostenimiento mecanizado de pernos split set y malla electrosoldada es recomendable en las labores subterráneas de explotación temporales.
- Con este trabajo de suficiencia profesional se recomienda que se debe implementar el área de geomecánica en la minera La Española S.A., para realizar un estudio detallado de la estructura del macizo rocoso del yacimiento minero La Española.
- Con este trabajo de suficiencia profesional se recomienda que también el uso de otros sistemas de sostenimiento mecanizado tales como los pernos hidrabol, swellex que proporcionan buenos resultados por su mayor adherencia en las labores de explotación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Capacitación Y Servicio Técnico Minero E.I.R.L.(2010),Estabilizador de fricción Split set cementado.
- Espinoza 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 La Española.
- Ramirez J,(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.

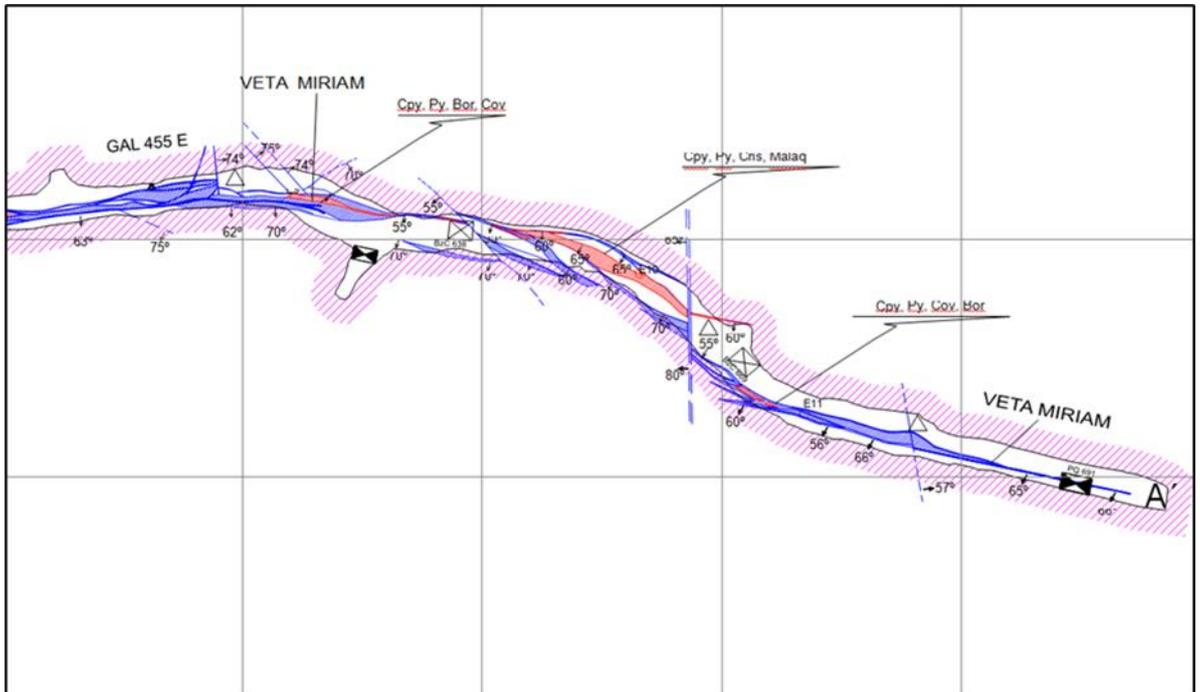
Torres Luis (2004),Capacidad de anclaje de los pernos de roca.

Tubos y Perfiles CL. Accesorios- Malla electrosoldada, Empresa de fabricación y distribución de productos para fortificación minera.

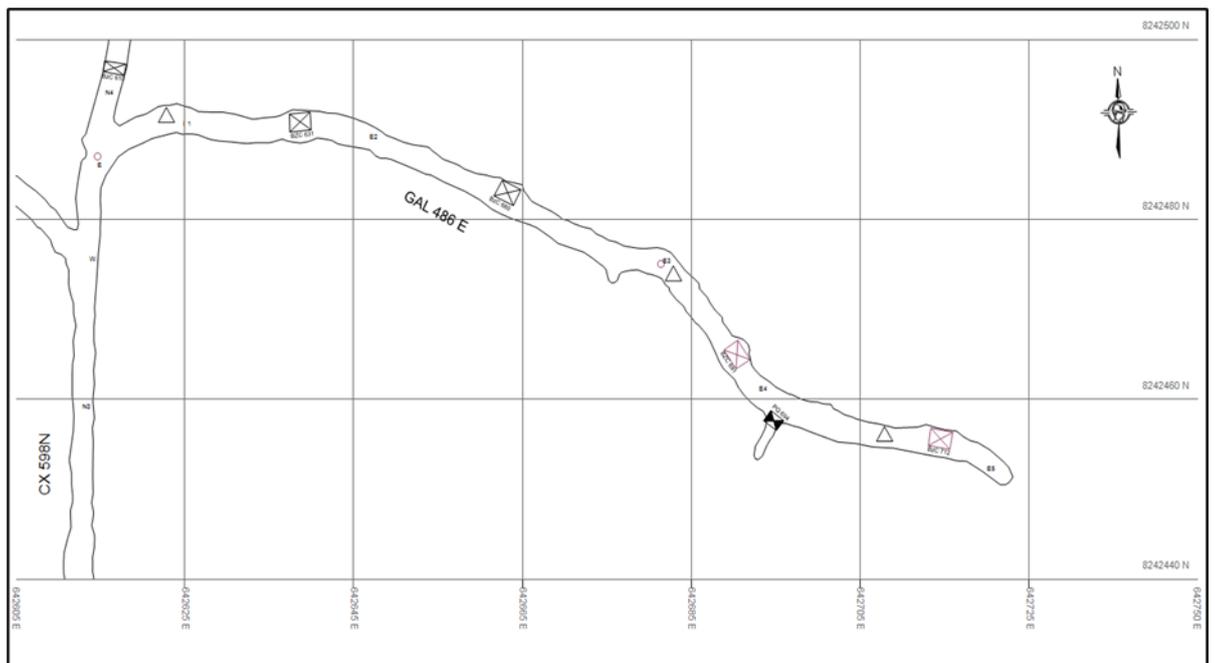
ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Anexo 1: Planos de Labores Minera La Española



Plano de Zona Gisela - Veta Miriam



Plano de Zona Aurora - Veta Aurora

Anexo 2: Matriz de Consistencia

TÍTULO: Optimización del Sostenimiento Convencional aplicando Pernos Split sets y Malla Electrosoldada para Reducir Costos en la Empresa Minera La Española – Arequipa.						
Tesista: Bach. Luis Alberto MAXIMILIANO GAMARRA						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVEST
<p>GENERAL: ¿Es posible realizar la optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la empresa Minera La Española S.A.?</p> <p>Problemas específicos A. ¿Cómo mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para Reducir Costos en la Empresa Minera La Española S.A.? B. ¿Como establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.?</p>	<p>GENERAL: Realizar la optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.</p> <p>Objetivos específicos A. Mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A. B. Establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada para reducir los costos en la Empresa Minera La Española S.A.</p>	<p>GENERAL La optimización del sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.</p> <p>Hipótesis específicas A. Con mejorar el sostenimiento convencional mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reduciremos los costos en la Empresa Minera La Española S.A. B. Con establecer los parámetros para efectuar el sostenimiento mediante pernos Split Set y Malla Electrosoldada reduciremos los costos en la Empresa Minera La Española S.A.</p>	<p>INDEPENDIENTE TE X: Optimización del sostenimiento convencional en la empresa Minera La Española S.A.</p> <p>DEPENDIENTE Y: Reducirán los costos en la Empresa Minera La Española S.A.</p>	<p>Caracterización Geomecánica</p> <p>Parámetros geotécnicos</p> <p>Compañía Minera La Española.</p>	<p>Mapeos geomecánicos</p> <p>Determinación de las RMR</p> <p>Sostenimiento</p> <p>Redimiento por tipo de Sostenimiento</p> <p>Estabilidad</p> <p>Diseño de Labores</p>	<p>TIPO: Aplicada.</p> <p>NIVEL: Evaluativa.</p>