



**UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
FACULTAD DE INGENIERIA Y
NEGOCIOS CARRERA DE
INGENIERÍA EN MINAS**

PROYECTO DE TESIS

“Optimizar el proceso de Fortificación de Minera Florida.”

Profesor/es responsable/es:

Manuel Viera

Carlos Espinoza

Estudiante:

Daniel Rivas

Claudio Ugarte

Carrera Ingeniería en Mina.

JUNIO – 2018
SANTIAGO DE CHILE

RESUMEN EJECUTIVO.

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.

Se propone un procedimiento de control de los materiales de fortificación basado establecer una metodología eficaz, establecer una banda de control de consumo de materiales de fortificación, para tener un mejor monitoreo del gasto que se realiza.

EXECUTIVE SUMMARY.

Minera Florida extracts precious mineral such as Au, Ag, Zn, through a Sublevel Stopping exploitation method, which is located in the commune of Alhué, within the Metropolitan region. The exploitation requires the excavation of galleries of preparation, development and production that must be stable for variable periods of time and for which it is necessary to apply fortification or maintenance of different types according to the importance of the gallery. The fortification is done by installing several types of anchor bolts, meshes and shotcrete. Due to the geomechanical conditions of the mine, depth and size of the work, it is necessary to apply different fortification formats, which is carried out by a contractor company. The cost of fortification per linear meter has shown important monthly variations in recent times, evidence of possible waste of material, over-consumption or changes in stability needs.

The present study seeks to achieve an improvement in the fortification process through the Six Sigma methodology, where this system will allow studies, measurements and analysis. Achieve a significant reduction in the errors produced in the productive line of the activity, in addition to identify waste and consumption within tolerable limits. Applying this tool is expected to reduce the cost of fortification materials in Minera Florida, Yamana Gold, which currently reaches US \$240 per linear meter. The objective is to reduce the cost by US \$ 20 to an approximate value of US \$220 per linear meter built.

We propose a control procedure for the fortification materials based on an effective methodology, establishing a control band for the consumption of fortification materials, in order to have a better monitoring of the expenditure that is made.

AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias por haber sido un apoyo fundamental a lo largo de toda nuestra vida universitaria, quienes supieron darnos el sabio consejo para mantener la constancia, la perseverancia, la paciencia y la tolerancia y así lograr conseguir la meta final: la obtención de nuestro título profesional. A todos aquellos, amigos, académicos y compañeros que nos alentaron a mantenernos en esta etapa de nuestras vidas, aportando sabios consejos para nuestra formación en lo cotidiano, en la vida y especialmente en nuestro estudio para hacernos mejores y grandes profesionales y mejores personas.

Daniel: A mi señora Montserrat Sepúlveda, que sin ella nada de esto podría ser realidad, a mi madre Hortensia y suegra Marilú por vuestra comprensión y apoyo, mis más sinceros agradecimientos, no podemos dejar de mencionar a los académicos y compañeros de clases, que estuvieron siempre en el desarrollo profesional.

Claudio: A mi madre María Angélica Valdés, quien ha sido fundamental con su constante apoyo y que junto a mi padre Mario Antonio Ugarte, que desde el cielo me ha acompañado siempre y a Alejandra Villarroel quién con su amor y cariño han sido el pilar fundamental para completar este difícil desafío en mi proceso de titulación.

¡Gracias a todos!!!

INDICE.

Capítulo 1. Antecedentes del estudio	6
1.1 Introducción	6
1.2 Objetivo General	6
1.3 Objetivos Específicos	6
1.4 Alcances y Limitaciones	7
1.5 Hipótesis	7
1.6 Justificación del Estudio	7
1.7 Descripción de la Situación Actual	7
1.8 Metodología de Trabajo	10
Capítulo 2. Descripción de la Faena. Antecedentes Generales de Minera Florida	10
2.1 Ubicación de Faena	10
2.2 Accesos	11
2.3 Instalaciones Existentes	12
2.4 Geología del Yacimiento	13
2.5 Método de Explotación	14
2.6 Método Sub Level Stopping Tradicional	17
Capítulo 3. Descripción de la Metodología SIX SIGMA	20
3.1 ¿Qué es el Six Sigma?	20
3.2 Aplicación de Metodología del Six Sigma	23
3.3 DMAIC	24
3.4 Análisis Diagrama Causa - Efecto	26
3.5 Grafico de Pareto	29
3.6 Mejoras a implementar en el proceso	30
3.7 Matriz de Esfuerzo - Impacto	33
3.8 Criterios de Decisión de Matriz de Esfuerzo - Impacto	34
3.9 Beneficios por Sistema de Gestión Implementado	36
Capítulo 4. Conclusión y Recomendación	38
Capítulo 5. Bibliografía	40
Capítulo 6.- Anexos	41

6.1 Perforación para pernos	41
6.2 Instalación de pernos helicoidales	42
6.3 Instalación de pernos – cables	44
6.4 Instalación de pernos Split Set	46
6.5 Instalación de Malla	46
6.6 Elementos de Fortificación	48
6.7 Diagrama de Flujo de la Operación	51
6.8 Cartilla de Inspección Geotécnica	53
6.9 Protocolo de Recepción de Fortificación	54

1.- ANTECEDENTES.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Este trabajo, está enfocado principalmente en la disminución o reducción de costos y mejoras en el proceso productivo de fortificación a través de la utilización del método Six sigma, mediante la definición de problemas asociados al proceso de fortificación estos serán analizados y estudiados mediante diagramas y gráficos tales como los de Ishikawa (causa-raíz), Pareto y Esfuerzo-Impacto, con estos métodos se podrá dar un conclusión favorable a los acontecimientos que producen el aumento de los costos y disminuyen la calidad en el proceso de fortificación que suceden en minera florida.

Los costos en fortificación de MFL (Minera Florida), han sido elevado durante años, por malas prácticas operacionales, descuidos o derroches respecto de los materiales de fortificación, tal y como se comentó anteriormente la propuesta es de mejorar de forma significativa el proceso y consigo disminuir los costos elevados en una primera etapa sería de un 10%.

1.2 OBJETIVO GENERAL.

Optimizar el proceso productivo, para reducir el costo de fortificación en Minera Florida, Yamana Gold, mediante la metodología Six Sigma y manteniendo los estándares de la Compañía.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Aplicar metodología Six Sigma al proceso de fortificación en Minera Florida, identificando posibles variables que afectan directamente el alto costo de fortificación.
- Gestionar operativamente la actividad de fortificación, a través de un control en terreno respecto del consumo de materiales, desarrollando una metodología de trabajo que priorice la comunicación con el área de operaciones, en cuanto al

uso, desechos y manejo de materiales sobrantes para su reutilización, reduciendo los costos de fortificación.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES.

El presente estudio aplica sólo a la actividad de fortificación de desarrollos horizontales de Minera Florida, Yamana Gold.

1.5 HIPÓTESIS.

La aplicación de la metodología Six Sigma, optimiza el proceso productivo reduciendo en un 10% el costo de fortificación en Minera Florida, Yamana Gold.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

En la actualidad, los costos asociados a las labores de fortificación de Minera Florida alcanzan aproximadamente los U\$ 240 por metro lineal construido, lo que incluye la totalidad de los materiales que se utilizan para este desarrollo. Este estudio tiene como objetivo optimizar el proceso productivo, para reducir el costo de fortificación en un 10% hasta alcanzar los U\$220/m lineal de labor.

1.7 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

En la actualidad, Minera Florida posee un costo de la fortificación o sostenimiento de túneles horizontales que es variable en el tiempo y es considerado de medio a alto. La fortificación es realizada por una empresa contratista (AURA Ingeniería), bajo la guía de personal operativo de Minera Florida (MFL), según las necesidades de fortificación emanadas del área de geomecánica. La variabilidad del costo de fortificación podría ser una evidencia de desperdicio, sobre consumo de materiales, o cambios en la calidad del macizo respecto al historial de la mina u otra causa que podría ser investigada y gestionada y así reducir este costo. Se ha observado en terreno, un cierto nivel de derroche o desperdicio de materiales, además de un sobre consumo de materiales, lo que evidencia la necesidad de un control más exhaustivo. Así, el material sobrante de cada tramo fortificado no recibe un tratamiento de reciclaje o acopio una vez acabados

los trabajos, incentivando con ello un derroche por parte de la empresa contratista.

Como se menciona anteriormente uno de los costos mas elevados de la minería son el de sostenimiento y/o fortificación, la que incluye el costo del material entregado por la mandante en este caso (MFL), y el servicio que presta la empresa colaboradora (AURA Ingeniería), que se especializa en la construcción de túneles y su respectiva fortificación.

Comúnmente se detectan errores en el proceso, tal como la mala instalación de elementos de fortificación, además del desperdicio y derroche de materiales utilizados en el proceso de sostenimiento.

Por lo tanto, se propone analizar el proceso de fortificación, mediante la metodología Six Sigma, para identificar aquellos aspectos que requieran una mejora y destacar los aspectos positivos del trabajo. El resultado será un plan de trabajo conjunto con la empresa contratista (AURA Ingeniería), para el uso adecuado y racional de estos materiales una vez terminado los trabajos.

De acuerdo a las solicitudes técnicas establecidas por el área de geomecánica, las mediciones en KPI deben tener un óptimo de 5,9 elementos instalado de fortificación por metro lineal desarrollado.

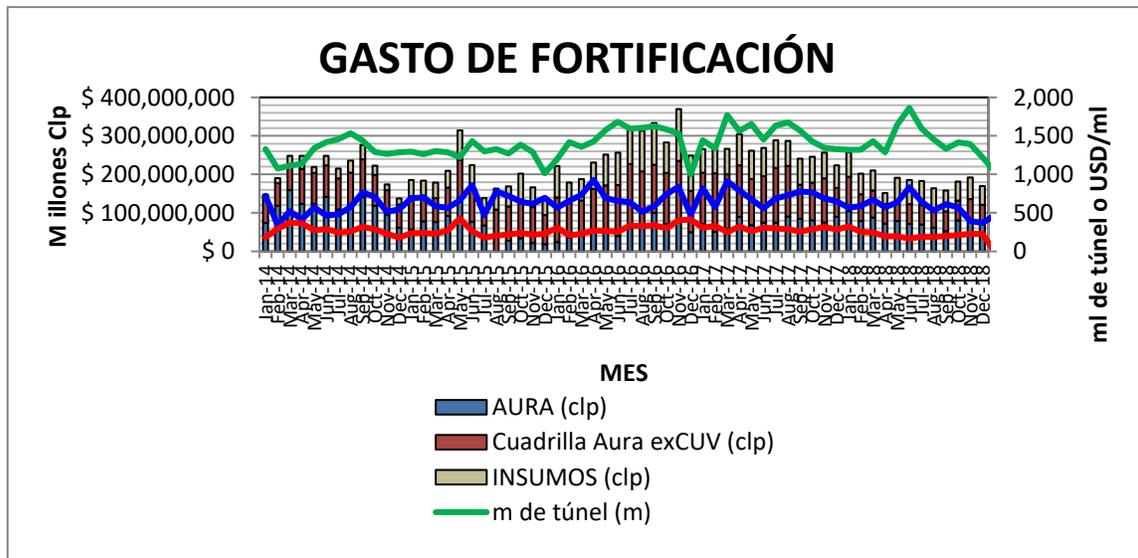


FIGURA 1. GASTOS DE FORTIFICACIÓN ENTRE 2014-2018.
Fuente: MF L (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

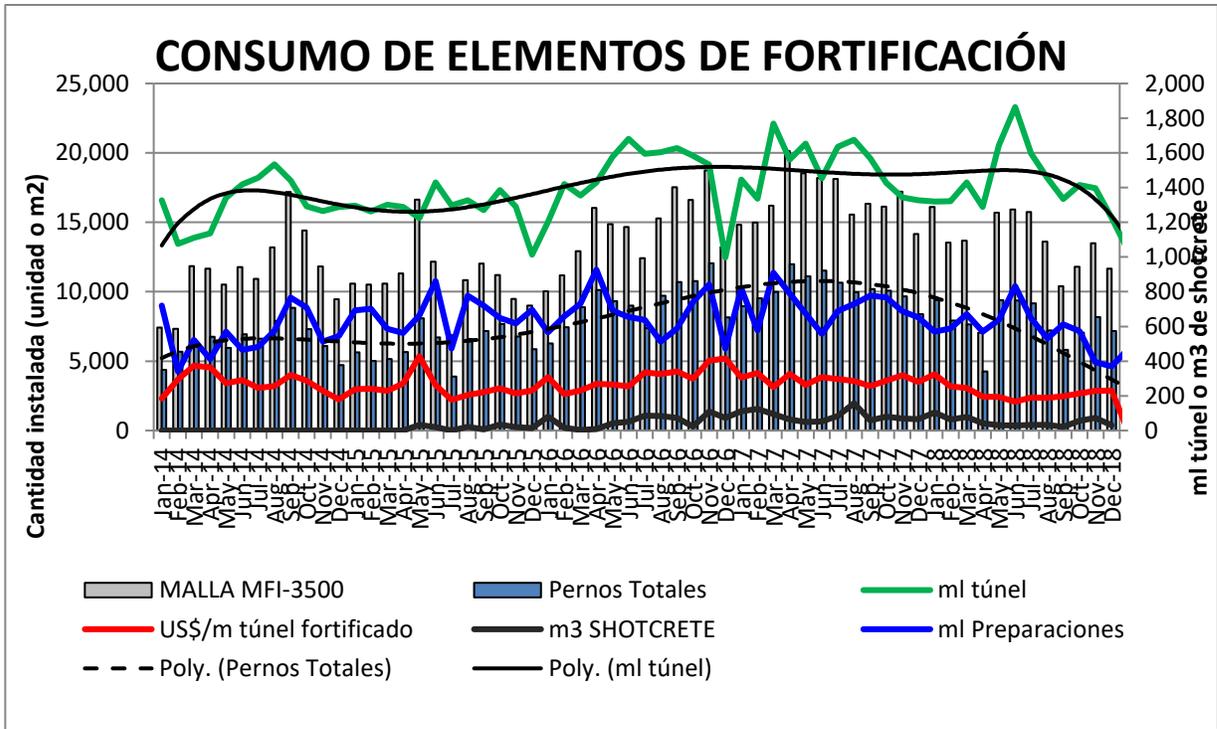


FIGURA 2. CONSUMO DE ELEMENTOS DE FORTIFICACIÓN ENTRE 2014-2018.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

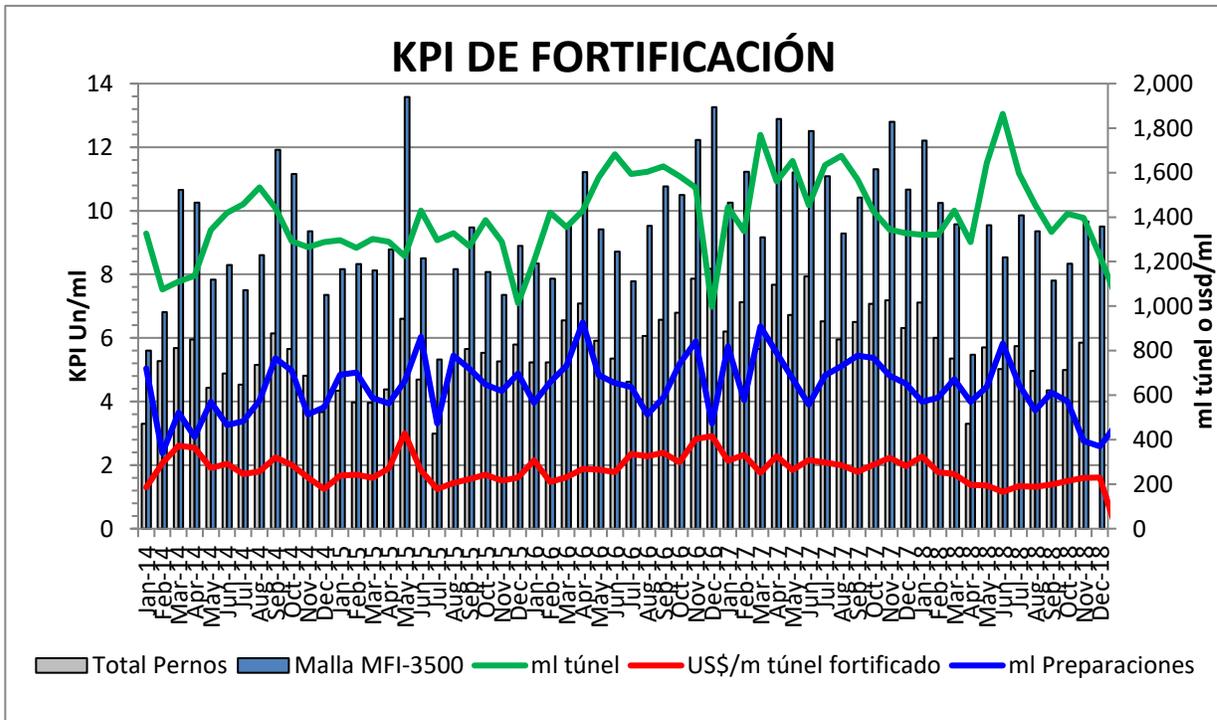


FIGURA 3. KPI DE FORTIFICACIÓN ENTRE 2014-2018.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

1.8 METODOLOGÍA DE TRABAJO.

La metodología que se empleará en el presente proyecto, se basa en puntos fundamentales para reducir los costos de fortificación en Minera Florida, Yamana Gold.

Auditar el procedimiento y así poder detectar las problemáticas las cuales generan deficiencias en la operación.

Analizar el consumo de elementos de fortificación, detectar sobre consumos y establecer bandas de control a través de diagramas y gráficos asociados a la metodología Six Sigma, que apunten a la reducción del consumo de materiales de fortificación.

Aplicar la metodología Six Sigma al proceso productivo de fortificación de labores horizontales.

Generar un procedimiento operativo que establezca la nueva forma de trabajo.

2.- DESCRIPCIÓN DE LA FAENA. ANTECEDENTES GENERALES DE MINERA FLORIDA.

2.1 UBICACIÓN DE LA FAENA.

Minera Florida se encuentra ubicada en la comuna de Alhué, provincia de Melipilla, región Metropolitana, a 180 Km al Suroeste de Santiago, en las coordenadas geográficas 34°00'S y 70°58'W (coordenadas UTM 6.236.000 Norte y 318.000 Este), a una altitud comprendida entre las cotas 300 y 1700 m.s.n.m.



FIGURA 4. MAPA DE LA REGIONAL DE LA UBICACIÓN DE MFL.
 Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2015.

2.2 ACCESOS.

El acceso a Minera Florida desde la localidad de Melipilla, es a través de la ruta G60 hasta llegar al cruce “Las Arañas”, continuando al Sur a través de la ruta 66 hasta llegar a la localidad de Santa Inés. Desde ahí se continúa por la ruta 29 que conduce hasta la localidad de Villa Alhué, para luego acceder a la faena a través de un camino de 25 km aproximadamente.

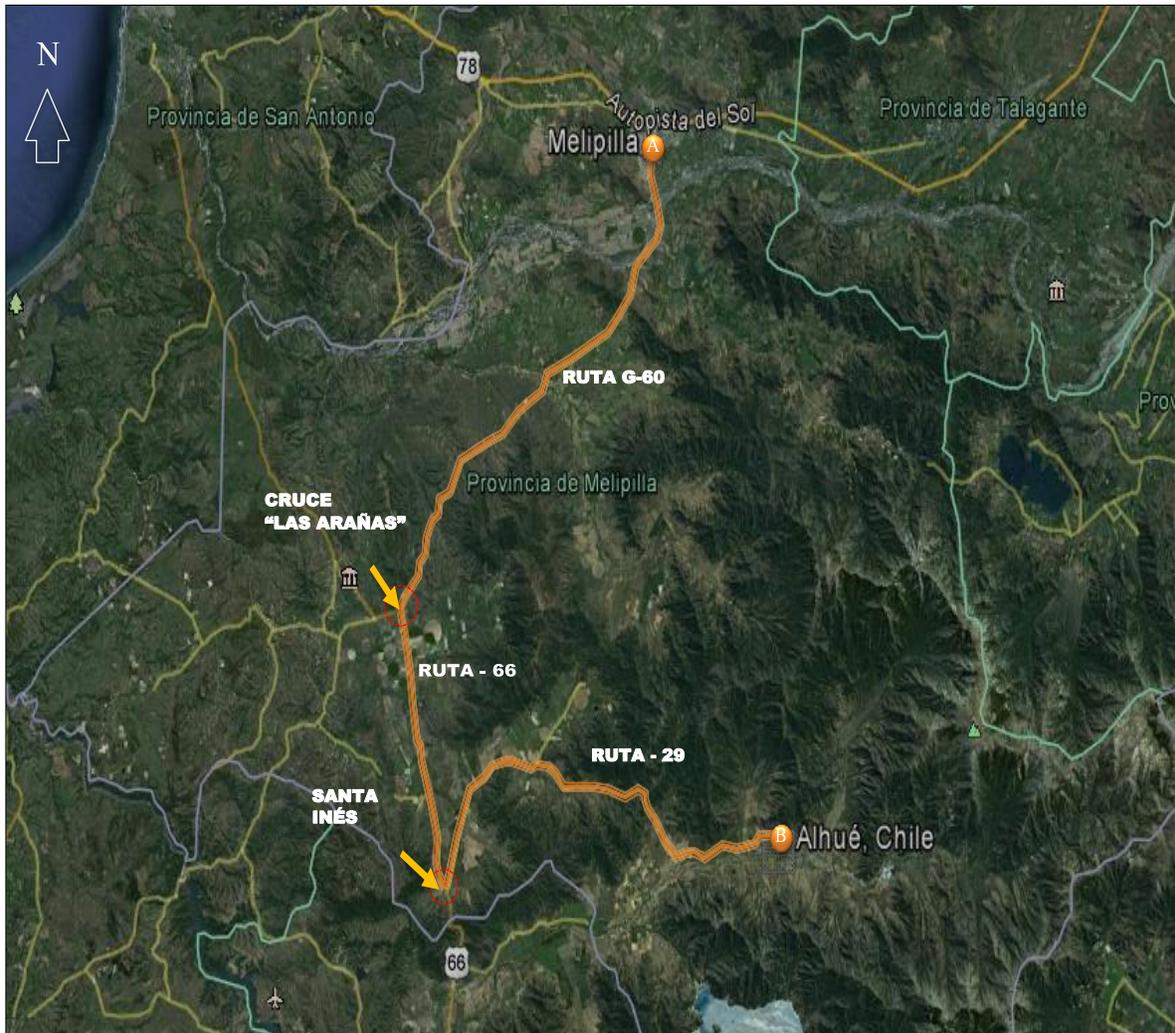


FIGURA 5. RUTA DE ACCESO A FAENA MINERA.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

2.3 INSTALACIONES EXISTENTES.

Como instalaciones relevantes que tiene la faena en superficie se encuentran: planta de procesos (tranque de relaves y planta de tratamiento), garita de control, oficinas en los Nv 620, Nv 740 y Nv 840, talleres de mantención, bodegas de materiales, bodega de rescate, sala de compresores, estanques de almacenamiento de combustible, casas de cambio, comedores, policlínico, botaderos, portales de acceso a la mina y caminos de acceso.



FIGURA 6. INSTALACIONES EN MFL.
 Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

2.4 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO.

El distrito minero Alhué, está caracterizado por la presencia de vetas auríferas y argentíferas. Los cuerpos mineralizados están conformados por un vetarrón silíceo central, el que evidencia cuatro pulsos silíceos diacrónicos: el primero de ellos se caracteriza por la presencia de sílice gris, el segundo por sílice verde, el tercero por sílice translúcida y el último por sílice blanca.

El cuerpo silíceo central es flanqueado por brechas hidrotermales, caracterizadas por la presencia de fragmentos de roca de caja inmersos en una matriz silícea, en la cual, el evento principal de sílice gris se reconoce débilmente. La mineralogía de mena corresponde a pirita, magnetita, blenda, galena, calcopirita, hematita, oro nativo, plata

nativa y electrum.

Los patrones estructurales se encuentran definidos principalmente por fallas con orientación NE-SW y NW-SE, formando un sistema estructural tipo sigmoide. Las estructuras con orientación NW-SE son las de mayor extensión y potencia, dentro de las cuales es posible señalar la Falla Maqui, Falla la Parra, Falla Portezuelo y Falla Hallazgo II. Por otro lado, las fallas con orientación NE-SW tienen menor extensión y son “cortadas” por las estructuras NW-SE. En este caso, las principales estructuras son Falla Indeseada, Falla Despreciada, Falla Oeste, Falla Tebo y Falla Tebo 2.

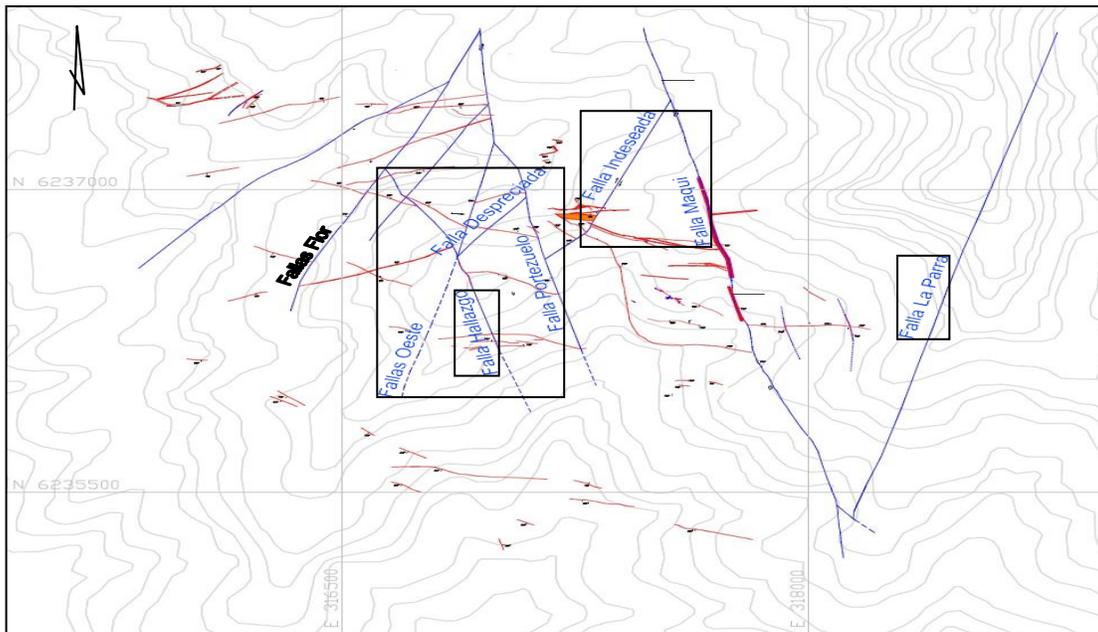


FIGURA 7. VETAS PRINCIPALES DEL YACIMIENTO.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2014.

2.5 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.

Las vetas que conforman actualmente Minera Florida presentan en un 39% potencias menores a 1m, 27% potencias entre 1 a 2 m, el 25% potencias entre 2 a 5 m, el 6% potencias entre 5 a 10 m y el 3% potencias mayores a 10m. Así mismo, el 21% presenta buzamientos inferiores a 65°, el 56% presenta buzamientos entre 65° a 80° y el 23% presenta buzamiento superior a 80°.

El plan minero considera la explotación de 6 sectores. Los sectores Maqui, Mina Este, Peumo y Tribuna presentan con mayor frecuencia potencias menores a 2 m, los sectores

Alhué Core y Marisol entre 2 a 5 m. El detalle se indica en la siguiente figura.

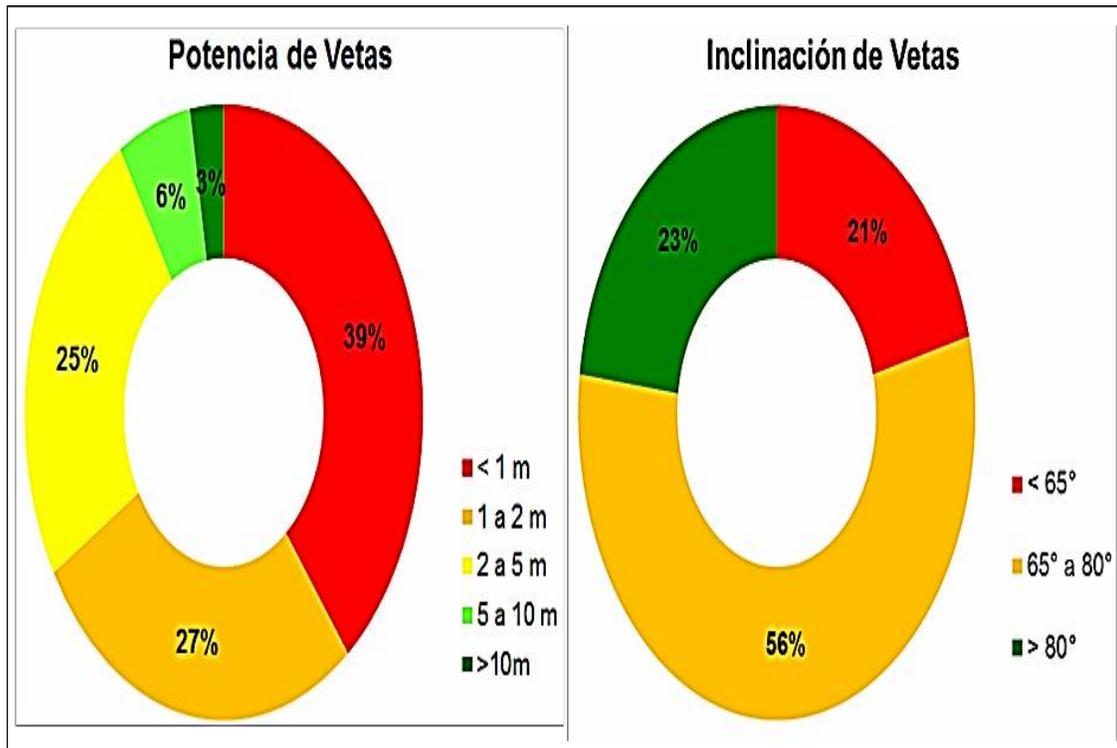


FIGURA 8. DIAGRAMA DE POTENCIAS E INCLINACIONES DE VETAS.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2014.

El plan minero considera la explotación de 6 sectores. Los sectores Maqui, Mina Este, Peumo y Tribuna presentan con mayor frecuencia potencias menores a 2 m, los sectores Alhué Core y Marisol entre 2 a 5 m.

Así mismo indicar que se tiene presencia de vetas entorno a cavidades que se encuentran con material de relleno (cavidades rellenas).

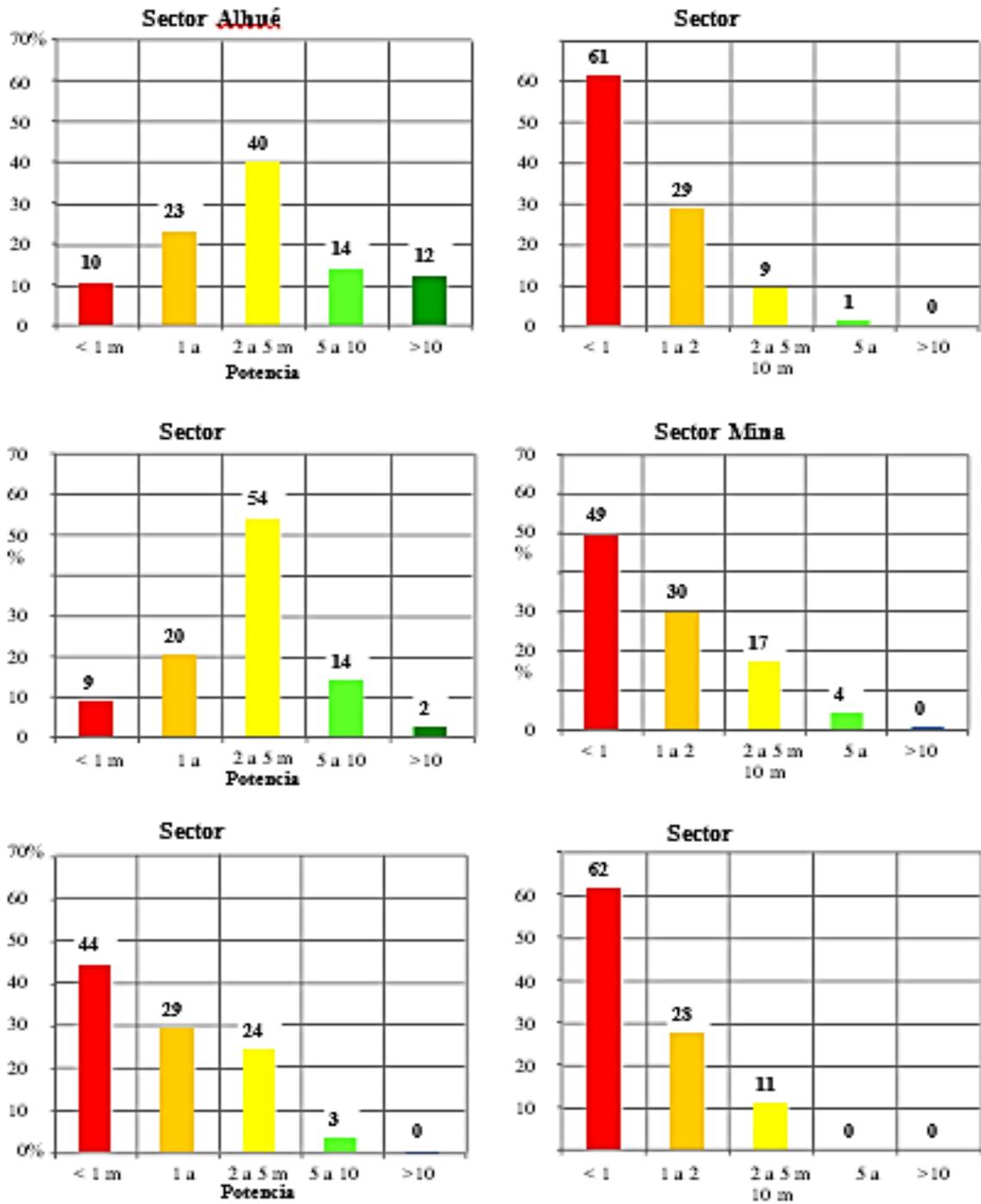


FIGURA 9. GRÁFICOS DE POTENCIA DE VETA POR SECTORES.
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2014.

En base al modelo geotécnico de la mina, se puede indicar que las vetas se encuentran emplazadas dentro de macizos rocosos de regular a buena calidad geotécnica y distribuida en forma regular. Bajo las condiciones descritas y considerando la experiencia operacional adquirida por Minera Florida, para la explotación de minerales se continuará mayoritariamente aplicando las siguientes variantes del método Sub Level Stoping Tradicional:

- Sub Level Stoping con una galería de extracción única o Sublevel Benching
- Sublevel Benching contra relleno

En menor medida se continuará con la aplicación del método Sub Level Stoping Tradicional. Para la recuperación de vetas que presenten alturas inferiores a 24 m se utilizará el método Undercut en retroceso, en caso de que estas vetas se encuentren en torno a cavidades rellenas las tronaduras serán realizadas contra relleno. En vetas de menor potencia y que requieran una alta selectividad para su explotación se utilizará el método Cut And Fill, este método también será factible de utilizar en macizo rocoso de regular a mala calidad geotécnica.

2.6 MÉTODO SUB LEVEL STOPING TRADICIONAL.

El método consiste en explotar las vetas mediante sub niveles construidos entre 12 a 24 m en la vertical (medida de piso a piso). En el nivel inferior (galería base) se realiza perforación y tronadura en realce (con diámetros de 2½") generando una abertura que permite recibir el mineral tronado desde los niveles superiores (Undercut), así mismo, en este nivel se realiza la extracción del mineral a partir de estocadas de extracción previamente construidas en la base de explotación. En los niveles superiores (sub niveles) se realizan perforaciones en forma ascendente (realce) y descendente (banqueo) con equipos de perforación radial (simba), con diámetros que varían de 2 ½" a 3 ½". (Métodos de Explotación, 2010)

La explotación comienza con la apertura de una cara libre (slot) generada mediante la construcción de una chimenea tipo VCR, ubicadas a un extremo de la unidad a explotar (caserón proyectado), de sección que va desde 1,5 m a 1,5 m a 2,0 x 2,0 m y tronaduras de perforaciones paralelas a estas chimeneas, en todo el ancho de la veta a explotar, conectando los sub niveles entre sí de cada panel de explotación.

La extracción del mineral tronado es realizada mediante cargador frontal o LHD desde las estocadas de extracción, las cuales presentan secciones que varían entre 3,8 m x 3,8 m a 4,0 m x 4,0 m (en función de tipo de equipo a utilizar), con un espaciamiento mínimo de 10m y que conectan con una galería de transporte intermedia generada de forma paralela a la galería base, donde se realiza el traspaso del mineral mediante una chimenea hacia el nivel de transporte principal que se encuentran ubicados en los niveles 870-740-620, en estos niveles se cuenta con infraestructura de carguío a camiones (Troya de carguío cargador/camión), desde donde el mineral es transportado hacia la planta.

La infraestructura principal para el desarrollo de este método consiste en una rampa de sección de 4,5m x 4,2 m en forma de espiral con pendientes hasta 15%, que permite acceder a los distintos niveles y se cuenta con chimeneas de ventilación que comunican los distintos niveles.

Actualmente este método se aplica en general en vetas que presentan potencias superiores a 3,5 m e inclinaciones mayores a 60°, este método también es aplicado en vetas de menor potencia (<3,5m) cuando las evaluaciones económicas permiten sustentar los desarrollos, como también cuando por estrategia operacional se considera explotar en una etapa temprana el Undercut. Para la explotación de las vetas que presentan potencias menores a 3,5m (bajas potencia) se incorpora una variante al método de explotación Sub Level Stopping actual, variante que se ha denominado Sub Level Stopping con una galería de extracción única o Sublevel Benching y para los sectores que se encuentran entorno a cavidades rellenas, la variante a implementar se ha denominado Sublevel Benching Contra Relleno.

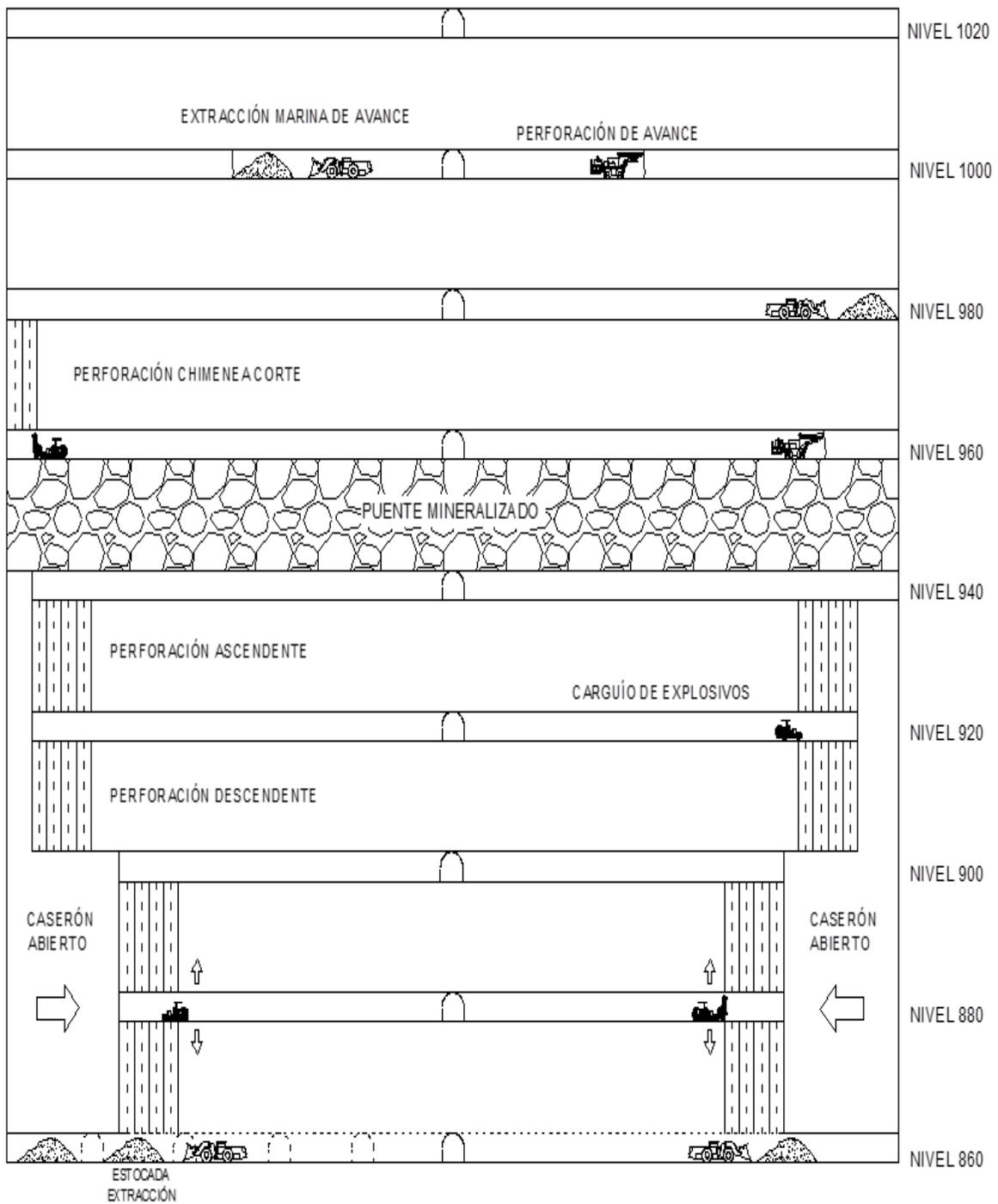


FIGURA 10. METODO DE EXPLOTACIÓN SUB LEVEL STOPING.
 Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2012.

3.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA:

3.1 ¿QUÉ ES EL SIX SIGMA?

Seis Sigma, o Six sigma (σ), es una metodología de mejora de procesos creada en Motorola por el ingeniero Bill Smith en la década de los 80, esta metodología esta centrada en la reducción de la variabilidad, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto o servicio al cliente. La meta de Six Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente.

Para entender que es Six sigma conviene primero entender que es variación y como se mide. Sigma (σ), es una letra griega que significa una unidad estadística de medición, usada para definir la desviación estándar de una población, esta mide la variabilidad o dispersión de un conjunto de datos y se calcula con la desviación estándar. (Lean Solutions, 2019)

OBJETIVO PRINCIPAL DE SIX SIGMA

El objetivo principal de esta estrategia de mercado es lograr casi la perfección de los niveles de desempeño en un proceso determinado y para un producto específico, en el caso de nuestro proyecto es el de disminuir el costo y mejorar el proceso productivo de fortificación de MFL.

Este sistema de mejora promueve los objetivos en el corto y mediano plazo. Esto último permite una reducción de los reclamos por parte de los clientes (MFL) y aumento en la confiabilidad y fidelidad de estos. En otras palabras, la estrategia Six Sigma responde tanto a las necesidades de la empresa como a las del cliente.

LIDERAZGO COMPROMETIDO.

Este tipo de liderazgo es piramidal, es decir se compromete con el proyecto desde arriba (desde la cúspide), hacia abajo. Por lo tanto, dicho proyecto debe ser entendido por todos los miembros de la organización desde los altos mandos hasta los empleos menos complejos.

REQUISITOS.

Existen 4 requisitos básicos para que se pueda llevar a cabo el Six Sigma:

- El trabajo en equipo. Cada unidad funcional de la empresa es indispensable para que el proceso del negocio funcione. Por ende, el trabajo aislado no funciona en este tipo de estrategias.
- La capacitación de los empleados. Los empleados deben estar capacitados y ser capacitados por la empresa para optimizar tiempos y beneficiar a la compañía.
- Herramientas básicas y sofisticadas. Independientemente del tipo de empresa o negocio de la que se trate, las herramientas básicas y las sofisticadas deben encontrarse al alcance de todo el personal de la empresa.
- Comunicación con los clientes. La satisfacción con los clientes es el pilar central de la compañía y el objetivo central de la estrategia Six sigma, por tanto, la mirada de la empresa debe tener siempre en cuenta al cliente.

METODOLOGÍA QUE SE APLICA EN EL SIX SIGMA.

El proyecto se basa en una metodología cuantificable, medible y robusta. No obstante, siempre es conveniente la aplicación de un análisis cualitativo ya que este favorece a la búsqueda de la optimización de los resultados esperados en la reducción de errores y costos en la fortificación de Minera Florida, Yamana Gold.

CICLOS O FASES DE SIX SIGMA.

Para este tipo de estrategias, existen diferentes ciclos de vida que se pueden dividir en fases o etapas.

- Fase N°1. Durante esta etapa se identifica y se selecciona el proyecto.
- Fase N°2. Se constituye o conforma el equipo de trabajo.
- Fase N°3. Se encuadra el marco del documento, donde se establecen los límites, metas y prohibiciones, etc.
- Fase N°4. Se capacita al equipo.
- Fase N°5. Puesta en marcha del proceso.
- Fase N°6. Traspaso hacia la resolución.

VENTAJAS.

A lo largo de las veces que este método se ha implementado se han podido rescatar diferentes ventajas, entre ellas, las más notables son:

- Puede medir el problema y validarlo. Todo problema debe ser posible de medir.
- Se enfoca tanto en el cliente interno como externo.
- Saca a la luz malos hábitos de personas y promueve el cambio.
- Medición de los resultados y verificación del impacto de estos.

HERRAMIENTAS.

Las herramientas son aquellas técnicas que ayudan en la comprensión, gestión y mejora de un proceso determinado, en este caso el de fortificación. Las herramientas del Six Sigma son:

- Generar ideas y organizar la información.
- Obtienen datos relevantes.
- Procesamiento de datos.
- Análisis estadístico de los datos.

- Implementación de gestión de procesos.

Además, en la industria minera actual se muestran cada día nuevas tecnologías de sostenimiento, encontrándose una oportunidad de ahorro en esta actividad. Lo mencionado asegura una fortificación adecuada del macizo rocoso, tanto en techo como gálibos. Durante los años 2015 y 2016 las labores de desarrollo tuvieron una media de 7,9 elementos instalados por metro de avance (a esto indica pernos Split set y pernos helicoidal), habiéndose obtenido inclusive un mes con un valor de 11,3 elementos instalados/metro de avance. Una oportunidad adicional que presenta el proyecto de optimización y control de materiales de fortificación es que las acciones planeadas podrían ser llevadas al ámbito de la explotación.

3.2 APLICACIÓN METODOLOGICA DEL SIX SIGMA.

LLUVIA O TORMENTA DE IDEAS.

Es de suma importancia en nuestro negocio, al momento de ocurrir un problema de cualquier tipo, más comúnmente de calidad, las sesiones de lluvia o tormenta de ideas son una forma de pensamiento creativo encaminada a que todo los miembros de un grupo puedan participar libremente y así puedan generar ideas sobre determinados problemas, tal es así que prontamente nuestro equipo de mejora continua o en este caso el ITO de fortificación de minera Florida (MFL), se apresuran a organizar una lluvia o tormenta de ideas, esta es organizada entre Supervisores de ambas empresas (MFL, AURA INGENIERÍA), y las 8 cuadrillas de fortificación, (2 por turno), en total 96 personas.

Entre las 96 personas participantes se pudieron generar una serie de ideas respecto a los problemas que pudiese tener el proceso de fortificación y sus costos en general (30 ideas). Estas ideas constituyen las cantidades potenciales de inicio. Esta es una de las etapas mas importantes del proceso, por lo que debe exigir cierto grado de exigencia en la entrega de ideas las cuales deben ser claras y apuntando a la mejora. Se coordina reunión con 6 Ingenieros, la gran mayoría del área de Geomecánica, donde cada uno de ellos entrego su punto de vista acerca de la causa potencial y su efecto en la solución del problema, generándose la matriz de causa efecto, donde se prioriza el 50% de las ideas que obtienen mayor puntaje acumulado a criterio del especialista.

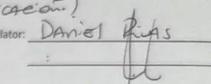
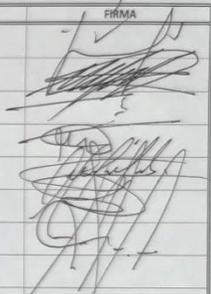
MINERA FLORIDA		FORMULARIO ESTRUCTURAL			
GGI-S-F-15		Revisión: 01		Página 1 de 2	
Tema : lluvia de ideas (mejoras en proceso y disminución de costos de fortificación.) Contenido: Asunto : Fecha : 21-01-19 Hora Inicio: Hora Término:					
				Nombre Relator: Daniel Rojas	
				FIRMA: 	
N°	NOMBRES Y APELLIDOS	RUT	CARGO	EMPRESA	FIRMA
21	Nelson Montano Ireland	6.605.947-1	Subgerente	MFL	
22	BRAYAN HIDALGO CASTILLO	11.968.116-5	ING. GEOMECÁNICO.	MFL	
23	Nelson JAVIERAS U.	160748508	J. GEOMECÁNICA	MFL.	
24	MARC MEVILLE-STEF D	17756472-9	G. GEOMECÁNICO	MFL	
25	JURIQUE MANRES REYES	12.212.886-6	ING. FORTIFICACION	MFL	
26	Juan SILVA ESPINOSA	11691441-6	ING. PUNO ING.	AURD.	
27	Victor Castro Noguera	16401731-1	JEFE TOPOGRAFIA.	MFL.	
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					

FIGURA 11. HOJA DE CHARLA DE LLUVIA DE IDEAS.
Fuente: Estatus de Minera Florida para realización de charlas, 2019.

3.3 DMAIC.

- Definir:

El proceso a ser evaluado es el de fortificación, esto con el fin de optimizar las etapas de fortificación y así conseguir resultados en la disminución de los costos de instalación y control de materiales de fortificación.

- Medir:

La forma de medir el defecto en los procesos de fortificación, será mediante evaluaciones periódicas con revisión en terreno, verificando el cumplimiento de las notas de fortificación y protocolos de trabajo, además de graficar estas situaciones

en Efecto-Causa, Pareto y Esfuerzo-Impacto.

- Analizar:

Según las mediciones realizadas y revisando el historial de trabajo de periodos anteriores se identifican las causas de los problemas de trabajos deficientes, desperdicios de materiales, incumplimiento de los estándares de calidad que implementa la compañía para estos tipos de trabajos que conforman una parte importante del ciclo productivo, con la finalidad de conseguir un ahorro de costos por la disminución de fallos o errores y de los tiempos de ciclo en los procesos de hora efectiva.

- Mejorar:

Las acciones necesarias para mejorar el proceso serán definidas mediante manuales instructivos que definan claramente el proceso de trabajo, inducciones, charlas, evaluaciones constantes en terreno, controlar las salidas de bodegas, verificar el orden en los patios de acopio de materiales, realizar campañas de retiro de insumos de interior mina con el fin de no ser desperdiciados.

- Control:

Se aplicarán medidas necesarias que garantice la eficacia y continuidad del proceso de fortificación, mediante trabajos en conjunto con jefaturas de las EECC, cumpliendo con los procedimientos solicitados por el área de geomecánica, notas de fortificación y un exhaustivo control en terreno.

3.4 ANALISIS DIAGRAMA EFECTO-CAUSA.

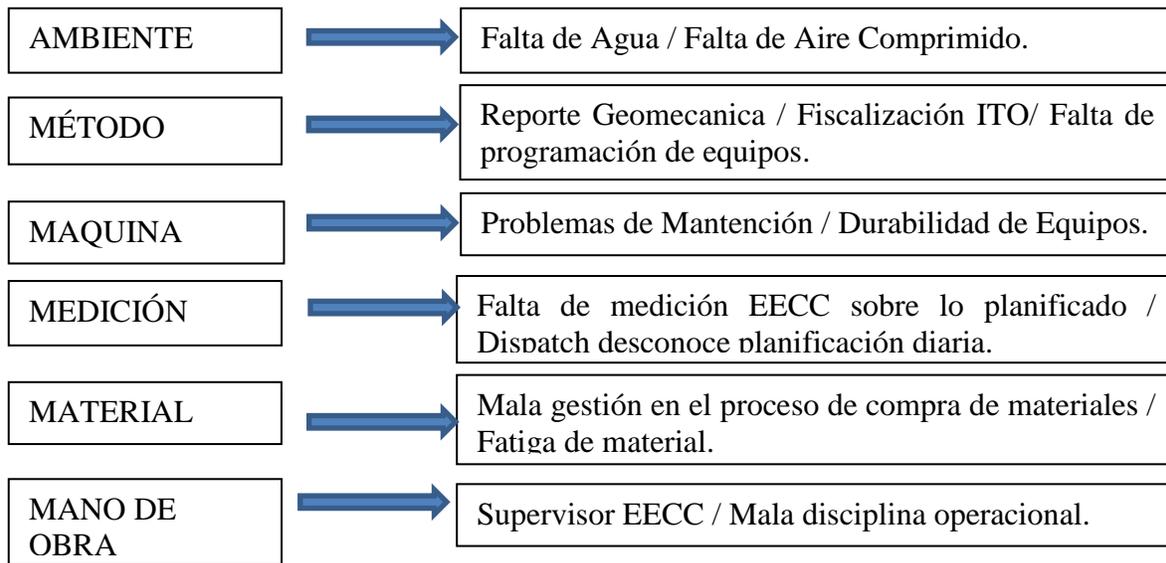


FIGURA 12. DIAGRAMA EFECTO-CAUSA.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Dentro del análisis del problema, se pudo determinar 06 variables a considerar en nuestro enfoque raíz para determinar las causas contribuyentes a nuestro problema de costos elevados en materia de fortificación; dichas variables son las siguientes:

- AMBIENTE.
- MÉTODO.
- MAQUINA.
- MEDICIÓN.
- MATERIAL.
- MANO DE OBRA.

Cada una de estas variables determinadas, cuentan con sus respectivos factores que conllevan en su justa medida a la problemática existente en los altos costos de fortificación para Minera Florida, siendo estos los siguientes:



*TABLA 1. EFECTO-CAUSA.
Fuente: Elaboración propia, 2018.*

Dichos problemas o factores contribuyentes, fueron determinados mediante observaciones diarias en terreno, encuestas realizadas al personal que desarrollan servicios de fortificación y registros de fallas continuas en el proceso de fortificación, los cuales producían una demora considerable para el restablecimiento de las operaciones de fortificación; provocando con ello pérdida de tiempo en la continuidad de los trabajos y retrasos en la planificación diaria en lo referente a los avances programados.

Unos de los problemas críticos, que se presentan constantemente al interior de túneles y galerías es la falta de aire comprimido, dicha desviación se genera cada 1 día y afecta considerablemente a la totalidad de equipos que funcionan utilizando este suministro, provocando con ellos demoras en avances y planificaciones diarias.

Otro Problema que afecta directamente en la demora del proceso antes mencionados, es el tiempo de respuesta cuando se presentan los problemas de mantenimiento de equipos; en dichas ocasiones los mantenedores presentan retrasos en la obtención de repuestos para solucionar las fallas de los equipos, las distancias entre el taller mecánico e interior

mina; provocando con ello demoras considerables en el proceso de fortificación.

Otro factor contribuyente, en la cadena de problemas detectados es la mala disciplina operacional del personal que desarrolla servicios de fortificación al interior del túnel, en ocasiones dicho personal no cumple con lo establecido o planificado para el desarrollo del día, provocando con ello no alcanzar la meta propuesta en el avance programado, mala utilización de algunos materiales considerados para el avance o simplemente no se rigen con la nota de fortificación emitida por el área de geomecánica.

De la misma forma, el Supervisor de terreno de la EECC también aporta un grado de responsabilidad en lo antes mencionado, ya que presentan poca experiencia en el proceso de fortificación, sumado a ello el poco control que mantiene con su personal al llevarlo a realizar cambios constantemente lo cual conlleva demoras parciales en los estados de avances diarios programados.

Continuando con los problemas de mantenimiento de equipos y luego de realizar inspecciones periódicas en terreno, se pudo observar una desviación considerable en lo referente a las mantenciones; no obstante a que en la actualidad se cuenta con un programa de mantención para todos los equipos, estas mantenciones no son muy constantes y carecen de ser específicas, en el sentido que dichas mantenciones se enfocan a partes exteriores de los equipos, pero no a partes internas siendo estas las que presentan mayores fallas en periodos cortos de tiempo, sumando con ello más retrasos en la operación de fortificación.

Otra falla operacional relacionada con los equipos menores que se utilizan en el proceso de fortificación; es la fatiga de material constante, dichas fallas se presentan con mayor regularidad en la perforadora YT 27, Galleteros, Grúas Manitou y pistolas neumáticas, lo anterior también incide en retrasos considerables en las labores de fortificación.

Del mismo modo y según lo antes señalado; la durabilidad de equipos también juega un rol fundamental en todo el proceso de fallas constantes de equipos; toda vez y teniendo en consideración el desgaste provocado por el día a día, la mala manipulación de algunos operadores y la mala calidad de los equipos; provocan fallas reiteradas lo que se traduce en demoras en el proceso o avances programados.

También toma relevancia fundamental, unos problemas que se da en periodo de verano el cual corresponde a la falta de agua para el los procesos o trabajos en faena; dicha condición se genera principalmente en el periodo de diciembre a marzo de cada año, sumado a ello la sequía que afecta en dicha temporada a la localidad de Alhué y la distancia en la cual se encuentran las instalaciones de faena, provocando con ello problemas y demoras en dichos periodos.

3.5 GRÁFICO DE PARETO.

De acuerdo al análisis mencionado, en el punto anterior del análisis diagrama Causa – Efecto, se establece la metodología de un gráfico de Pareto para ordenar las variables que causan el mayor impacto al proceso de fortificación.

Estas se ordenaron de mayor a menor, de acuerdo a la tendencia del factor de la probabilidad de que ocurriera versus el tiempo de impacto o de mejora para continuar el proceso de fortificación. De acuerdo a lo anterior, se menciona el siguiente gráfico:

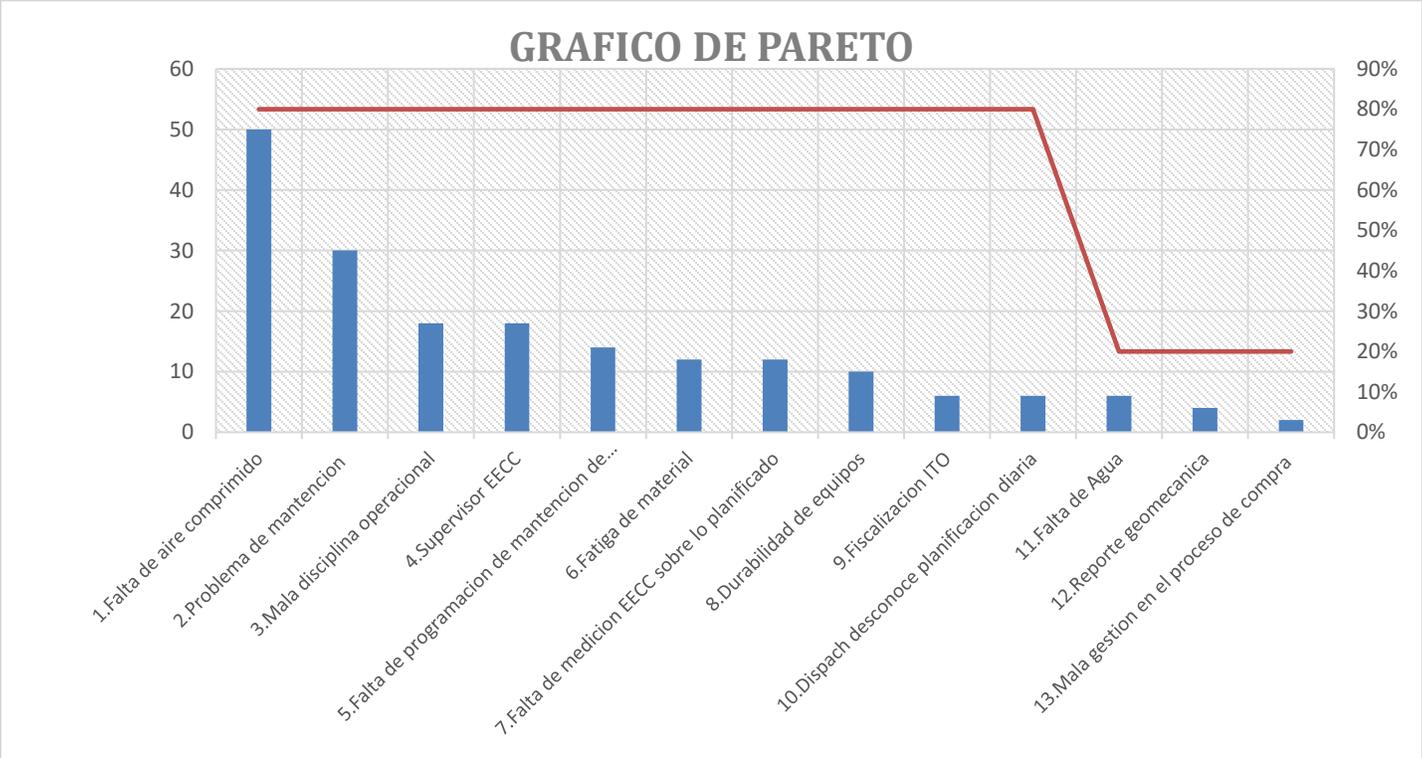


FIGURA 13. GRAFICA DE PARETO.

El grafico se puede concluir que desde el punto 1 al 10 es la tendencia más fuerte que representa el 80% de los problemas y causas críticas que afectan directamente el proceso de fortificación y que generan un retroceso considerable tanto en tiempo como en recursos mal utilizados.

Del mismo modo, el 20% restante si bien se consideran las variables de falta de agua, reporte de Geomecanica y mala gestión en el proceso de compra de materiales, las que no representan una tendencia en menor frecuencia. Sin embargo, si en el tiempo llegase a producirse una o la combinación de estas puede afectar considerablemente y llegar a un indicador del 80% generando el mismo efecto de las otras variables.

3.6 MEJORAS A IMPLEMENTAR EN EL PROCESO.

Teniendo en consideración el desglose de cada una de las variables o problemáticas del proceso de fortificación, identificadas en el desarrollo de esta investigación, estas fueron presentadas a Compañía Minera Florida, los cuales en conjunto comenzamos a generar medidas de mitigación/solución, los cuales se detallan a continuación:

PROBLEMA DETECTADO	SOLUCIONES
Falta de Agua / Falta de Aire Comprimido	Para solventar la falta de agua en periodo de verano, está en construcción piscinas y estanques de acumulación de suministro, además de aumentar la dotación de personal de servicios mina que mantenga monitoreado los sistema de agua y aire comprimido – Para la mitigación de la falta de aire comprimido, está en proceso de aprobación la compra de un sistema de compresores que aumenten el caudal cuando esto mas se requiera, apuntando a mantener la red siempre disponible para toda la operación.
Fiscalización ITO/ Falta de programación de equipos	Para mitigar la falta de control o fiscalización por parte del ITO, el cual se encuentran en una jornada 4x3 y teniendo en consideración que las fallas operacionales se producen los fines de semana; justo cuando dichos fiscalizadores no se encuentran en faena; se debe contratar a un 2º ITO, para

	<p>que ambos se mantengan en turnos o jornadas 7 x 7 en jornadas de 12 horas de las 8:00 am a las 20:00 horas.– Se realizó una pauta de mantención de equipos más exhaustiva y en donde contemplara en profundidad los trabajos a realizar a cada equipo, equipo de mantención deberá generar un plan a corto plazo para realizar mantenciones programadas por horas de uso de cada equipo.</p>
<p>Problemas de Mantención / Durabilidad de Equipos</p>	<p>Para mitigar el problema de mantención, en lo referente al tiempo de demora y falta de repuesto para solucionar fallas de equipo, se realizó un catastro de las fallas más comunes en los equipos y se generó un stock considerable para reducir los tiempos de respuestos y falta de insumos – En cuanto a la durabilidad de los equipos, se realizó un cambio general de equipos menores, de mejor calidad y durabilidad, consiguiente con ello reducir considerablemente las fallas inesperadas de estos equipos.</p>

<p>Falta de medición EECC sobre lo planificado / Dispatch desconoce planificación diaria</p>	<p>Se realizaron capacitaciones, re instrucciones y reforzamientos a toda la línea operativa de la EECC que realiza los trabajos, consiguiendo con ello una mejora considerable en el proceso de cumplimiento de avances programado, toda vez que el gran problema consistía en que los supervisores o jefes de terreno en ocasiones no plasmaban en terreno lo que estaba planificado para el día de trabajo – Luego de observar los problemas técnicos y de aplicación que se presentaban en la operación, se incorpora y se hizo parte de la planificación diaria al operario de bodega (Dispatch), el cual ahora tiene mayor participación en la entrega de insumos para fortificación, mejorando con ello considerablemente los controles diarias de entrega de material.</p>
<p>Mala gestión en el proceso de compra de materiales.</p>	<p>Se mejora considerablemente el proceso de compra de materiales, realizando compras de materiales de mejor calidad, con lo cual se reduce considerablemente la fatiga de material en el proceso de fortificación.</p>
<p>Mala disciplina operacional.</p>	<p>Mediante inducciones periódicas, charlas en terreno, se pudo mitigar la mala disciplina operacional de los trabajadores que realizaban trabajos de fortificación, concientizándolos en el buen uso de materiales, reciclaje de estos mismos y logrando un ordenamiento en los trabajos que realizan día a día.</p>

TABLA 2. PROBLEMA SOLUCIONES.

3.7 MATRIZ DE ESFUERZO - IMPACTO.

La matriz de esfuerzo - impacto es una herramienta que permite resumir visualmente los pros y contra de posibles soluciones al problema estudiado.

Nos permitirá establecer prioridades al momento de escoger la solución más adecuada tomando en cuenta dos criterios:

- Esfuerzo: Nivel de dificultad para implementar la solución.
- Impacto: Nivel de impacto de beneficios al momento de resolver el problema.

Beneficios del uso de la matriz:

- Fácil de usar.
- Fomenta el trabajo en equipo y da oportunidad a todos los participantes de ser parte del desarrollo de la solución.
- Ayuda a la toma de decisiones cuando se debe escoger las mejores soluciones.

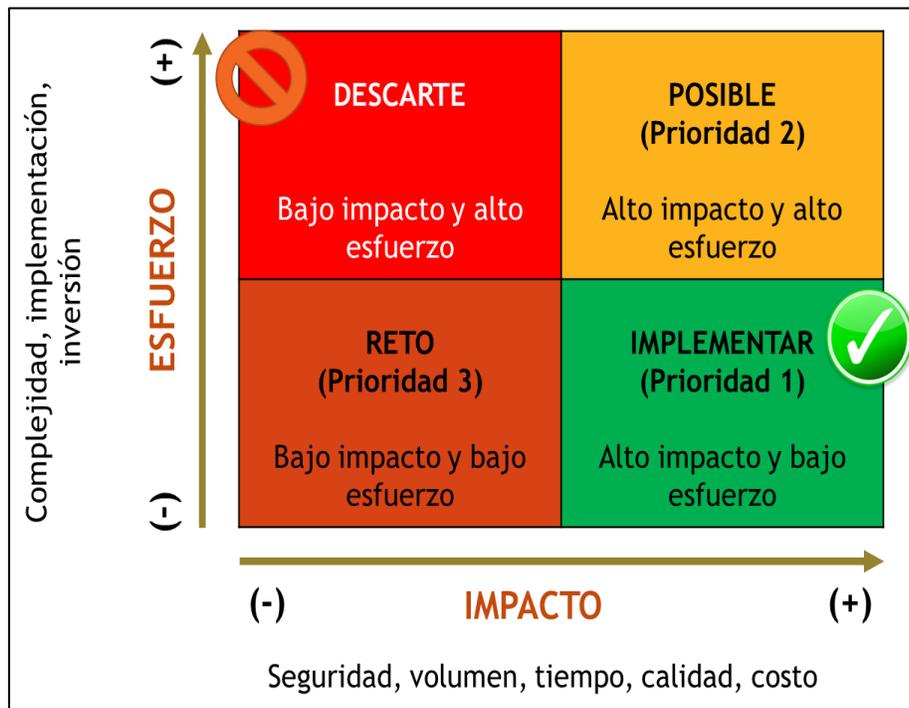


FIGURA 14. EJEMPLO MATRIZ ESFUERZO-IMPACTO.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.8 CRITERIOS DE DECISIÓN DE MATRIZ DE ESFUERZO-IMPACTO.

ESFUERZO:

Criterio	Bajo esfuerzo	Alto esfuerzo
Costo capital (no presupuestado)	< USD 25,000	> USD 25,000
Tiempo de implementación	< 3 meses	> 3 meses
Recursos humanos	Usa recursos existentes	Requiere recursos adicionales

IMPACTO:

Criterio	Bajo impacto	Alto impacto
Seguridad	Accidentes CTP > 0 (3 meses)	Accidentes CTP = 0 (3 meses)
Volumen	<3200 TMS/Día	=3200 TMS/Día
Tiempo	< 10%	> 10%
Calidad	Recuperación <1%	Recuperación >1%
Costo	Reducción gastos < 10%	Reducción gastos > 10%

TABLA 3. CRITERIO DE DECISIÓN.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

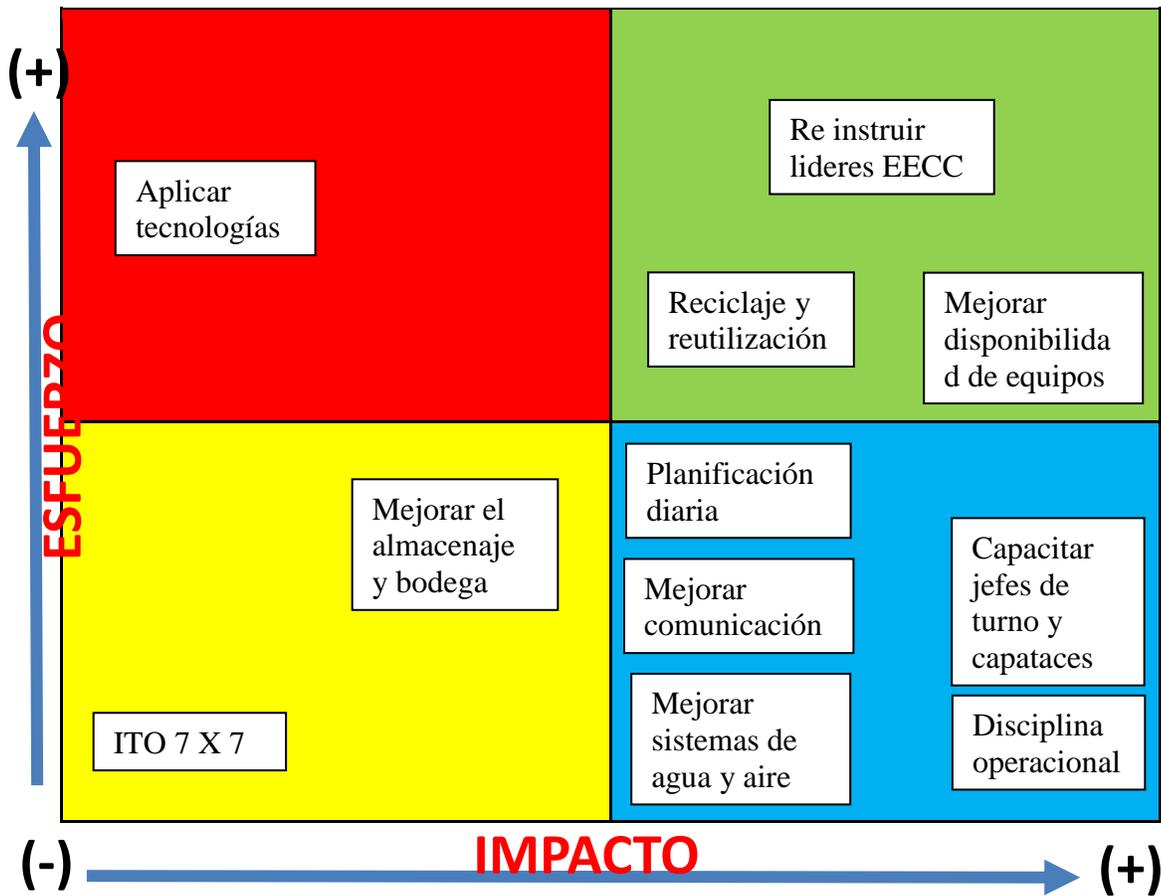


FIGURA 15. MATRIZ ESFUERZO-IMPACTO.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

MEJORA	PRIORIDA	TIEMPO DE APLICACIÓN
SISTEMAS DE AGUA Y AIRE	1	6 SEMANAS
MEJORAR COMUNICACIÓN (OPERACIÓN-EECC)	1	2 SEMANAS
PLANIFICACIÓN DIARIA	1	4 SEMANAS
DISCIPLINA OPERACIONAL	1	5 SEMANAS
CAPACITACIONES JEFES DE TURNO Y CAPATACES	1	2 SEMANAS
RECICLAJE Y RE UTILIZACIÓN	2	6 SEMANAS
DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS	2	5 SEMANAS
RE INSTRUIR LIDERES EECC	2	4 SEMANAS
TURNO ITO	3	6 SEMANAS
MEJORA EN ALMACENAJE	3	7 SEMANAS
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS	4	10 SEMANAS

*TABLA 4. TABLA DE PRIORIDADES.
Fuente: Elaboración propia, 2018.*

3.9 BENEFICIO POR SISTEMA DE GESTIÓN IMPLEMENTADO.

Según las mejoras implementadas, para el caso de materiales y procesos de fortificación de MFL (Minera Florida), se espera que se genere una reducción de costos por ordenamiento y cambio de cultura de las líneas de mando entre operaciones mina y EECC, principalmente a la gran disminución de defectos operacionales que afectan directamente al proceso de operaciones unitarias de la mina.

Por otro lado es importante demostrar que la cantidad de elementos requeridos por metro lineal se vio en disminución, posterior a la implementación de este sistema de mejora de calidad continua.

KPI	UNIDADES	Nov-17	Dic-17	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Sept-18	Nov-18	Dic-18
PERNOS SPLIT SET	UN/M	7	5,5	6,3	5,2	4,8	2,8	5,5	4,6	5,1	4,5	3,8	4,1	5,2
PERNOSHELICOIDALES	UN/M	0,2	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,3	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	0,7
TOTAL PERNOS	UN/M	7,2	6,3	7,1	6	5,4	3,3	5,8	5,2	5,8	5,1	4,5	5	5,9
MALLA MFI-3500 3,3 X 24 M	M2	12,8	10,7	12,2	10,2	9,6	5,5	9,5	8,5	8,4	8	8,4	8,7	8,2
SHOTCRETE	M3	0,052	0,049	0,078	0,048	0,054	0,032	0,019	0,016	0,02	0,023	0,016	0,041	0,052

TABLA 5. KPI DE FORTIFICACIÓN.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

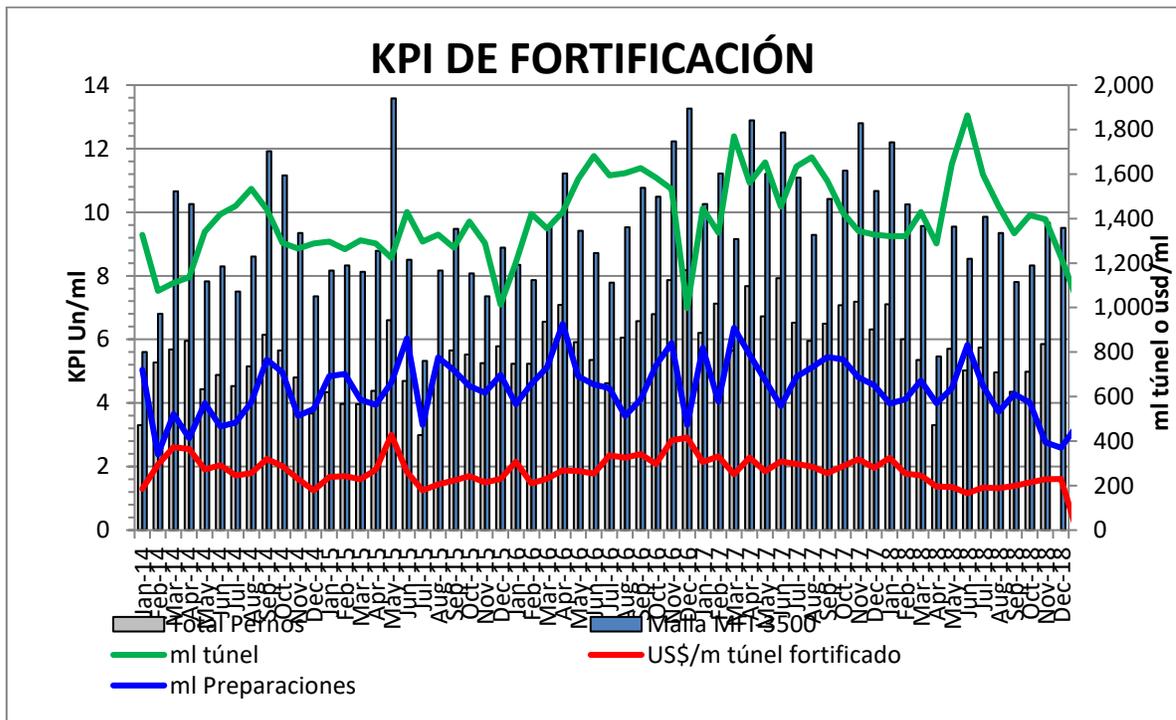


FIGURA 16. KPI DE FORTIFICACIÓN ENTRE 2014-2018, (DISMINUCION KPI)
Fuente: MFL (Minera Florida, Yamana Gold), 2018.

Desde el mes de marzo cuando comenzó este proyecto de disminución de costos estos se encontraban en U\$246, la disminución fue constante llegando a su pick máximo en el mes de junio llegando a los U\$165, por metro lineal de avance, en conclusión estos KPI de fortificación promediaron entre marzo y diciembre del 2018 en U\$205, estos nos indica que la metodología implementada en este proyecto cumplió con las expectativas definidas en un comienzo.

4.- CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.

La metodología utilizada para implementar un sistema de gestión que logre reducir los costos mediante la optimización del proceso productivo de fortificación de MFL (Minera florida), correspondió a la metodología Six Sigma, la cual busca reducir o eliminar las variables de falla, para este caso en el de fortificación.

Gracias a la utilización de la metodología Six Sigma se identificó que las problemáticas más recurrentes fueron problemas de comunicación, cambio de cultura, falta de personal en las áreas de servicios mina y mantenimiento de equipos, todas estas variables fueron manejadas y programadas en cierta cantidad de tiempo con el fin de comprometer a cada uno de los integrantes del proceso a responsabilizarse a cumplir a cabalidad cada uno de los compromisos adquiridos.

Mediante el aporte de un amplio equipo de ingenieros, tanto de la compañía como sus colaboradores, se confirmaron las problemáticas antes descritas, las que sirvieron para realizar un diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa), donde se estableció que el alto costo en el proceso productivo estaba determinado por 13 problemáticas, de las cuales 10 afectan directamente la etapa de fortificación siendo en un 80% las responsables del retraso en los tiempos producción y aumentando considerablemente los costos.

Del mismo modo, el 20% restante si bien, se consideran problemáticas menores no deben ser descuidadas ya que al aumentar su frecuencia o combinación con otras variables están pueden aumentar en el indicador y ubicarse dentro del 80% del principal.

Posteriormente al gráfico de Pareto, se realizaron las mejoras a implementar a cada una de las problemáticas que se encuentran dentro del 80% más relevantes, pero para que esto sea controlado se debió confeccionar una matriz de Esfuerzo-Impacto, ya que con esta herramienta fundamental, nos permitió resumir visualmente los pro y contras de las posibles soluciones a los problemas estudiado. Nos permitió establecer prioridades al momento de escoger la solución mas adecuada tomando en cuenta los criterios principales que son el esfuerzo (nivel de dificultad), e impacto (nivel de beneficio al momento de resolver el problema), con esto se logro tomar las decisiones adecuadas, dándole un periodo de tiempo a cada una de estas soluciones para su desarrollo y

comprometiendo a cada uno de los integrantes directos involucrados en cada una de las soluciones.

La metodología Six Sigma implementada en este proyecto nos ayudo a mejorar el proceso productivo y principalmente disminuir los costos de fortificación, el cual es el principal objetivos de este proyecto, tal y como se indica en el inicio los costos de fortificación eran elevados debido al mal manejo y control de este proceso tan importante en el ciclo de operaciones unitarias.

La propuesta inicial era disminuir en 10% el costo de fortificación la cual se encontraba en un promedio aproximado a los U\$240, sin embargo durante el periodo de implantación de este proyecto entre los meses de marzo 2018 a diciembre 2018, el promedio de estos costos de mantuvieron en U\$205, entonces el promedio la disminución de los costos llego a los 14,59% superior al 10% indicado.

Entre las recomendaciones principales a la compañía Minera MFL, consiste en realizar y mantener un programa de reforzamiento continuo, debido principalmente a las prácticas operacionales las cuales presentan un comportamiento cíclico en el tiempo (por olvido, costumbre, o re cambio de personal), por esto resulta fundamental mantener reforzado este aspecto en el tiempo.

Otro factor a considerar es mantener un control mediante el uso de las herramientas implementadas de los eventos ocurridos para poder reaccionar rápidamente al notar desviaciones en el proceso. Para reforzar las buenas prácticas operacionales se recomienda realizar inspecciones aleatorias en terreno y así verificar el correcto desempeño en el proceso productivo. Del mismo modo se recomienda realizar un seguimiento a los líderes operacionales que trabajan día a día en el proceso de fortificación.

Finalmente, podemos concluir que nuestra hipótesis diagnostica es verdadera debido a que la aplicación de la metodología Six Sigma, sí optimiza el proceso productivo reduciendo en un 10% el costo de fortificación en Minera Florida, Yamana Gold.

BIBLIOGRAFÍA.

- Memoria anual y documentos de Minera Florida, Yamana Gold. 2013 - 2018.
- Planillas de Ingeniería (Supcia), Minera Florida, Yamana Gold.
- Procedimientos de trabajos, Área de Geomecánica, Minera Florida, Yamana Gold.
- Actualización de proyecto mina Pedro Valencia, Octubre 2017.
- Maria Jose Bahamondes, Tesis, Implementacion sistema de gestion para reduccion de costos optimizando el desempeño por componentes en equipo mineros. 2017 Universidad de Chile.
- Angel Paz Bustios, Optimización de procesos en minería subterránea a través de la metodología lean six sigma, Cia Minera Milpo Andina Perú, 2017.
- Erika Polanco, Mejora continua Minera Florida, 2018.
- Métodos de explotación – selección de método, año 2010, extraído de Url:https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/MI57E/1/material_docente/bajar?id_material=166066
- ¿Qué es six sigma?, Lean Solutions. Año 2019. extraído de Url:<https://leansolutions.co/blog-grid-layout/que-es-six-sigma/>

6.- ANEXOS.

Descripción del proceso de fortificación de labores.

6.1 PERFORACIÓN PARA PERNOS:

La perforación para pernos se realizará una vez que el sector se encuentre acuñado. Esto se refiere a una acuñadura tanto del sector directamente comprometido como todo el trayecto a él.

Tras haber efectuado la acuñadura del sector, se marcarán los puntos de empate con pintura preferentemente látex blanco según la malla de apernado definida previamente.

El personal minero se apoyará para la marcación de una te de coligue compuesta de un tramo principal de largo adecuado a la sección de la labor y un travesaño de largo según la separación de los pernos. Dicha T servirá para determinar el espaciamiento entre pernos (malla de apernado).

El operador, para efectos de dar la inclinación requerida (ángulo) a los tiros según especificaciones técnicas, deberá contar y emplear inclinómetro.

La perforación se realizará en avance, partiendo con la perforación de la parada de pernos más próxima a la fortificación existente o desde punto inicio de fortificación hacia delante.

La cantidad de paradas perforadas, desde una misma posición del jumbo, será la que permita el largo del brazo. En el caso que no se logre perforar todas las paradas desde un solo punto, se deberá retirar el equipo y completar la fortificación (pernos, malla, etc.), del tramo perforado, para recién proseguir con la perforación de un segundo tramo en avance.

La perforación se iniciará por los tiros del techo, posteriormente los de las cajas, esto con el fin de que viga del Jumbo se exponga lo menor posible frente a un desprendimiento de rocas al inicio de la perforación.

El operador será responsable de perforar el largo solicitado, para de esta forma asegurar que el perno sea insertado de tal forma que éste sobresalga de la perforación como máximo 20 centímetros para el caso de pernos helicoidales y no sobresalga para el caso de pernos Split set.

En el caso que labor a fortificar presente filtraciones de agua, deberán perforarse tiros adicionales, en donde se instalarán barbacanas para captar agua.

Si durante la perforación, el Jumbero detecta la necesidad de acuñar, deberá detener la operación, retirando el equipo bajo zona segura a objeto de iniciar la acuñadura.

Mientras se esté perforando, se prohíbe el ingreso de personal para situarse a los costados de las vigas o delante del equipo, teniéndose como límite de acceso la cabina del operador.

Cuando el operador requiera cambiar barra, bit, detendrá la operación de perforación y luego procede a maniobrar con la viga hasta dejarla próximo a estructura equipo, zona segura, para recién efectuar maniobra y al momento de efectuarla no deberá maniobrarse la viga.

En circunstancias que se deba intervenir mecánicamente el equipo de perforación, la viga deberá ser retirada y ubicada en sector seguro.

Cuando la barra se encuentre en movimiento (girando) ninguna persona podrá intervenir en la operación debiendo detener completamente la rotación para el retiro de barras o reparación.

6.2 INSTALACIÓN DE PERNOS HELICOIDALES.

Previo al lechado de pernos, personal minero deberá acuñar todo el sector de trabajo. Para esta operación, es obligatorio el uso de lentes de seguridad. En el caso que estos se empañen, el trabajo se detendrá para realizar la limpieza necesaria.

De existir marina en el sector, el Jefe de Turno Mina deberá evaluar su retiro, contemplándose el tránsito del personal y el desplazamiento de equipo de levante, de manera tal de facilitar la colocación de pernos.

El lechado de pernos se efectuará desde la plataforma montada sobre la grúa telescópica, quedando prohibido que el personal saque su cuerpo fuera del perímetro de canastillo. Para esto se deberá disponer de mangueras de largos adecuados. Además, se deberá considerar el empleo de la plataforma con techo.

El lechado de pernos se debe efectuar en el sentido del avance y estará determinado por la capacidad de peso que la grúa pueda levantar, según las especificaciones técnicas del proveedor de la grúa.

El tramo a lechar no debe sobrepasar los 3.0 metros (tres corridas de pernos aproximadamente), por lo cual la grúa no debe cambiar de posición para avanzar y quedar bajo zona recién lechada.

En la operación, una persona permanecerá a nivel de piso realizando la mezcla en una batea, para posteriormente vaciarla dentro de la lechadora. Durante esta operación, el trabajador nunca se ubicará bajo la zona recién fortificada, bajo el brazo o canastillo de la grúa. El lugar de trabajo deberá quedar distante a 1 metro del equipo, lo que permitirá reaccionar frente a cualquier movimiento de la grúa.

Las coordinaciones y nombradas la realizará solamente una persona, la que se ubicará sobre el canastillo de la grúa.

Uno de los trabajadores se ubicará sobre la plataforma e introducirá la planza en la perforación, dando la señal a su ayudante de activar la inyección de lechada.

Medida que la perforación se llene de lechada, irá retirando la planza hasta lograr el llenado de la perforación.

El otro trabajador ubicado sobre la plataforma, tomará el perno y lo introducirá en la perforación con lechada, evitando que la lechada que escurra caiga sobre su cuerpo.

Para la colocación de pernos, personal empleará un puntal de tubo con el cual introducirá el perno en la perforación. Para esto, el perno se instalará con su tuerca, con el fin que el personal no saque parte del cuerpo fuera de la plataforma.

Al introducir el perno, este deberá ser asegurado con un sistema que evite su caída.

Para el apriete de tuerca en la instalación de pernos helicoidales lechados de 2,4m y 3,2m, se debe dejar pasar las 8 horas de fragüe necesarias para que el conjunto perno-lechada tenga la resistencia mínima del 20% de la resistencia total del perno, la cual corresponde a 3 Ton aproximadamente.

Posterior a esto se debe instalar la planchuela con su parte abovedada hacia el macizo rocoso, y esta debe ser adosada a este último con una tuerca hexagonal de base esférica en forma manual, y posteriormente reapretada por medio de una herramienta mecánica, que puede ser una llave corona-corona o punta corona con las mismas dimensiones de la tuerca hexagonal.

Este apriete debe ser realizado con un mínimo de tres vueltas en sentido anti horario, con lo cual se consigue un torque requerido de la tuerca a la planchuela en un rango 137 a 272 Nm ó de 100 a 200 Lb/pie, y siempre ejerciendo la fuerza en favor de la fuerza de gravedad, es decir hacia abajo. Con esto se logra la transferencia de carga entre la planchuela y la zona estable del macizo rocoso. Esta actividad debe ser el término del ciclo de este sistema de fortificación.

6.3 INSTALACIÓN DE PERNOS-CABLE.

Previo a la instalación de pernos, los trabajadores que participan en la operación, deberán revisar el estado de la acuñadura.

Previo a la colocación del cable, este se preparará adosando en toda su longitud más 25cm, una planza cuyo propósito es de permitir la salida del aire a medida que se lecha la perforación e indicar cuando el tiro está lleno con lechada (lechada rebalsa por esta planza). Una segunda planza, se adosa en la parte inferior del cable, de 60cm de largo,

cuyo fin es introducir la lechada por esta.

Preparado el cable, se procede al emboquillado, para lo cual se introduce el cable en la perforación, debiendo quedar 40cm aproximadamente del cable fuera del tiro (esto debe considerarse al momento de preparar el cable) y se procede a tapar con mezcla de cemento y agua la boca del tiro, quedando fuera de este el cable y las dos planzas.

El emboquillado consiste en taquear el perno en el momento de introducirlo, con el fin de afirmar el perno en la perforación.

Se da tiempo de fragüe de 24 horas para el emboquillado de pernos de largo sobre los 10m. De 12 horas para el emboquillado de pernos de largo menores a 10 m. Para el fragüe del cable se debe considerar un tiempo de 12 horas (esto es 24 horas entre emboquillado y fraguado para largos de pernos menores a 10 metros y 36 horas en total para largos mayores a 10metros).

Esperado el tiempo de fragüe, se procede al lechado a través de planza respectiva. Produciéndose el rebalse de lechada por la segunda planza, se detiene la operación y doblan planzas para evitar caída de lechada.

Posteriormente se da tiempo de fragüe, según especificaciones técnicas, y se procede a la colocación de planchuela y barril-cuña.

Para el lechado de pernos cables en perforaciones descendente (ángulo negativo respecto a la horizontal), dichos pernos podrán ser instalados en las perforaciones sin la necesidad de prepararlos, vale decir sin mangueras y emboquillado, posterior a introducir cable en perforación, se inyectará la lechada al respectivo tiro hasta que este rebalse el tiro.

Según requerimientos, el cable se puede tensar a un cierto tonelaje, para lo cual se emplea un gato hidráulico, del cual se introduce el extremo del cable libre en las mordazas y se procede al tensado hasta lograr tonelaje requerido, el que se indica en manómetro. Previo a su empleo, se debe chequear gato respecto a mangueras, manómetro, estado de mordazas, nivel de aceite.

6.4 INSTALACIÓN DE PERNOS SPLIT SET.

Previo a la instalación de pernos, los trabajadores que ejecuten esta labor, deberán aplicar el procedimiento de acuñadura.

En la operación de instalar pernos Split-set, se empleará máquina perforadora manual, para lo cual se instalará el eje en la porta broca de la máquina por uno de sus extremos y el otro en el perno a instalar.

Los pernos a instalar deberán ser preparados colocando la respectiva planchuela previa a insertarlos en las perforaciones ya efectuadas.

Las mangueras de agua y aire que alimenten la máquina perforadora, deberán ser de un largo apropiado a la altura que se trabaje. Además, deberán ser revisadas previo empleo de ellas, verificando la instalación de huincha band-it en las conexiones tipo Chicago, los acoples tipo Chicago en manguera de aire, deberán ser reforzados con amarras de alambre, de manera de evitar un posible desacoplamiento de ellas, además de existir fugas estas deberán ser eliminadas previo al inicio de la operación.

6.5 INSTALACIÓN DE MALLA.

Para la colocación de malla, en caso de emplear plataforma con techo, dicha malla se colocará extendida sobre el techo de plataforma y desde interior de ésta personal afianzará la malla a pernos del centro de la labor. Cumpliendo esto, recién se autoriza que el personal pueda sacar parte del cuerpo por la abertura en el techo, con el fin de efectuar el remate de la malla.

Para efectuar la fijación de la malla, se procederá a instalar la malla en los pernos centrales de la labor, con las respectivas planchuelas, para luego continuar con uno de los costados y rematar con el lado opuesto. Se debe considerar siempre la instalación de

malla desde el centro hacia los extremos de ésta.

Cuando se deba efectuar uniones de malla, ésta deberá ser traslapada al menos 30cm entre paños, procurando que los traslapes se efectúen en la posición de los pernos de fortificación. Además, se debe instalar amarras de alambre N 8 en los traslapes o uniones.

En zona segura, el personal procederá a colocar malla de fortificación sobre el techo de la plataforma, quedando debidamente afianzada, para recién ingresar a la zona a fortificar. Se procede a levantar plataforma, quedando lo más apegada posible al techo de la labor, y en esta posición personal coloca la malla con pernos.

Para pernos helicoidales, se procede a sacar la tuerca y planchuela desde el perno instalado, se instala la malla y se repone la planchuela con tuerca, quedando sujeta la malla a los pernos del techo, de esta manera se asegura el techo en primer lugar y luego se continúa por el resto del perímetro de la labor.

Previo al retiro de la planchuela, se deberá efectuar chequeo para determinar que la planchuela no este afirmando algún planchón. En esta condición, se deberá colocar doble planchuela.

La malla debe quedar apegada al techo y/o cajas.

Para pernos Split set, la malla se coloca en el momento que los pernos son colocados. En este caso, la malla debe ser sujeta por personal hasta que pernos queden trabajando (por fricción). Dentro de la plataforma trabajarán tres (3) personas.

Asegurado el techo con malla, se podrá autorizar que personal pueda sacar parte del cuerpo fuera del perímetro de la plataforma, con el fin de efectuar remate de malla.

En la situación que la malla se deba preparar para posteriormente proyectar shotcrete, esta se deberá hiltar (con taquetes Hilti), con el fin de dejarla lo más apegada posible a la labor. Para esto se utiliza un tubo metálico de 2 de diámetro y de largo variado desde 0,80 metro a 1,20 metro. Como máxima longitud, el extremo que se apoya contra la

mallas a instalar, tendrá cortes para evitar que el puntal resbale, también se soldará una manilla al tubo en forma perpendicular a la media caña inferior.

El operario sobre la plataforma de trabajo, tomará desde la manilla el puntal y su media caña la apoyará en estructura de la plataforma para proceder a indicar al operador de la Grúa que acerque suavemente la plataforma hacia dónde va apuntalar la malla, mientras él sostiene el puntal por la manilla.

El Operador de la Grúa deberá accionar lentamente la palanca de levante, con el fin de no ejercer presión innecesaria, luego, se procede a trabajar en remate de malla, instalando taquetes y amarras de alambre.

ELEMENTOS DE FORTIFICACIÓN.

PERNOS SPLIT SET.

- Longitud, 2,2m
- "Diámetro, 39mm
- Espesor tubo mínimo, 2,8mm"
- Diámetro anillo, 8mm
- Grado del acero, ASTM A1011 Grado 65°
- Resistencia mínima tracción, 4ton/m



*FIGURA 17. PERNO SPLIT SET.
Fuente: INTERNATIONAL ROLLFORMES, INC.*

PERNO HELICOIDAL.

- Longitud, 2,4m / 3.5m
- Diámetro, 22mm
- Grado del acero, A44-28H
- Tensión de fluencia mínimo, 20ton

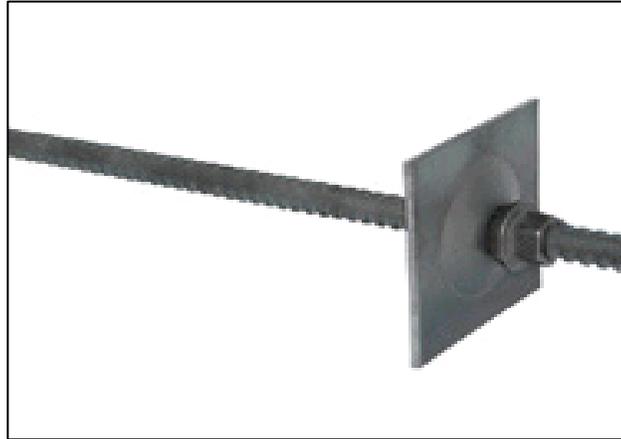


FIGURA 18. PERNO HELICOIDAL.
Fuente: INTERNATIONAL ROLLFORMES, INC.

MALLA DE ESLABONES MFI 3500.

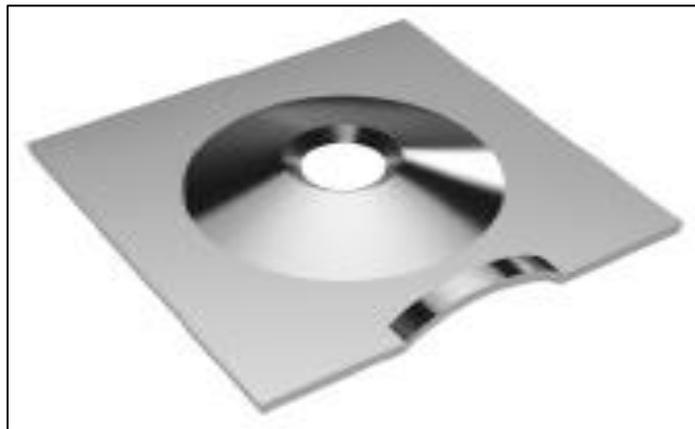
- Abertura cuadro, 75mm +/- 7mm
- Alambre BWG calibre, 9
- Diámetro nominal, 3,76mm +/- 0,10mm
- Carga mínima ruptura alambre, 9300N
- Resistencia mínima alambre, 885N/mm²
- Zinc mínimo, 95g/m²



*FIGURA 19. MALLA MFI-3500.
Fuente: DSI UNDERGROUND.*

PLANCHUELA VOLCANO.

- Espesor, 5mm
- Tamaño, 200mm x 200mm
- Fuerza máxima, 14ton RESINA
- Encartuchada, longitud de 460mm y 300mm, diámetro de 34mm.
- Tiempo de fraguado mínimo, 10min.
- Resistencia mínima a la tracción de 20ton, post-fraguado.
- Resistencia mínima al corte de 5ton, post-fraguado.



*FIGURA 20. PLANCHUELA VOLCANO.
Fuente: DSI UNDERGROUND.*

6.7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OPERACIÓN.

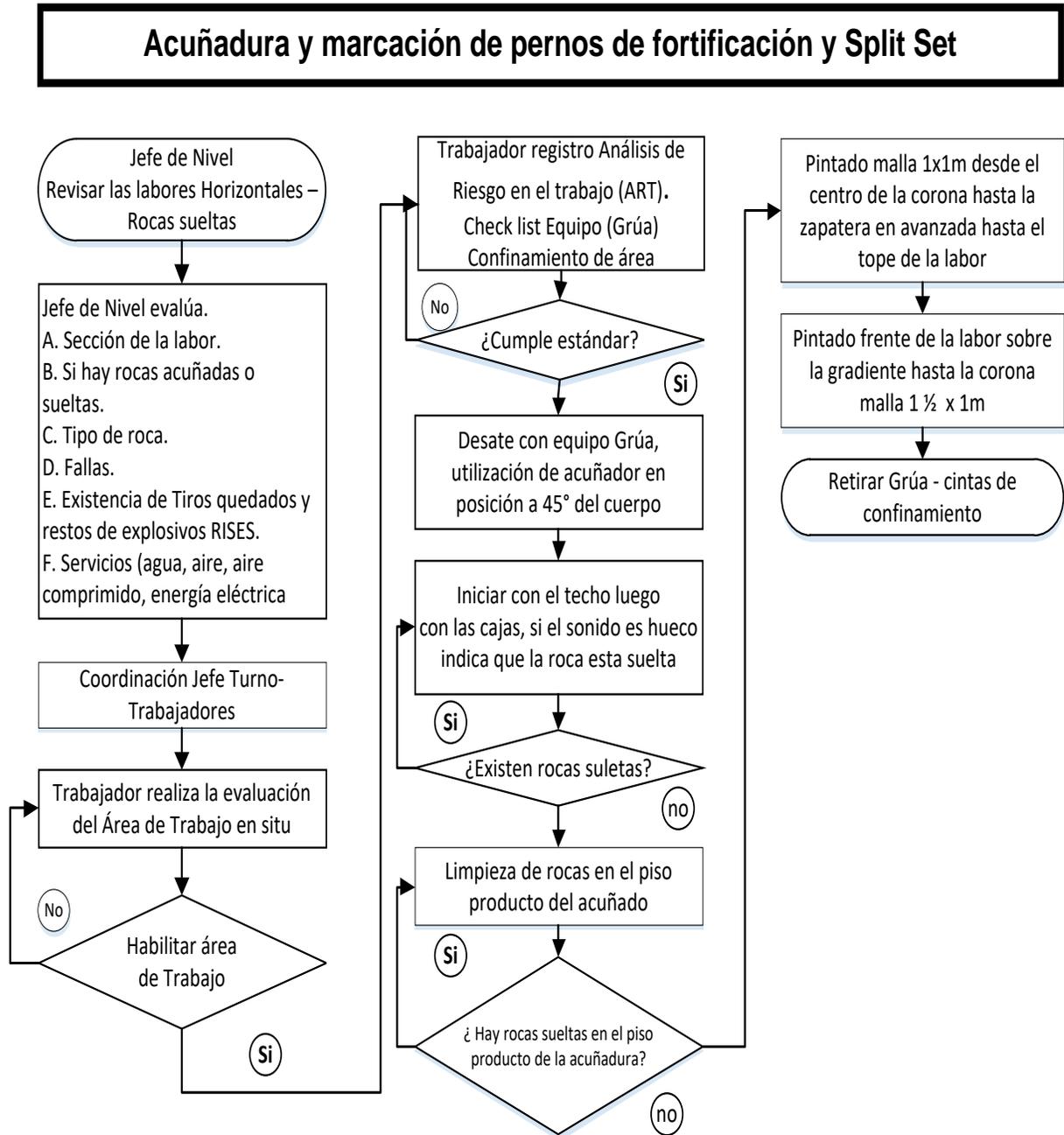


FIGURA 21. DIAGRAMA DE FLUJO ACUÑADURA Y MARCACIÓN DE PERNOS.
Fuente: MINERA FLORIDA, PROCEDIMIENTO DE TRABAJO, 2014.

Perforación Perno y Split set

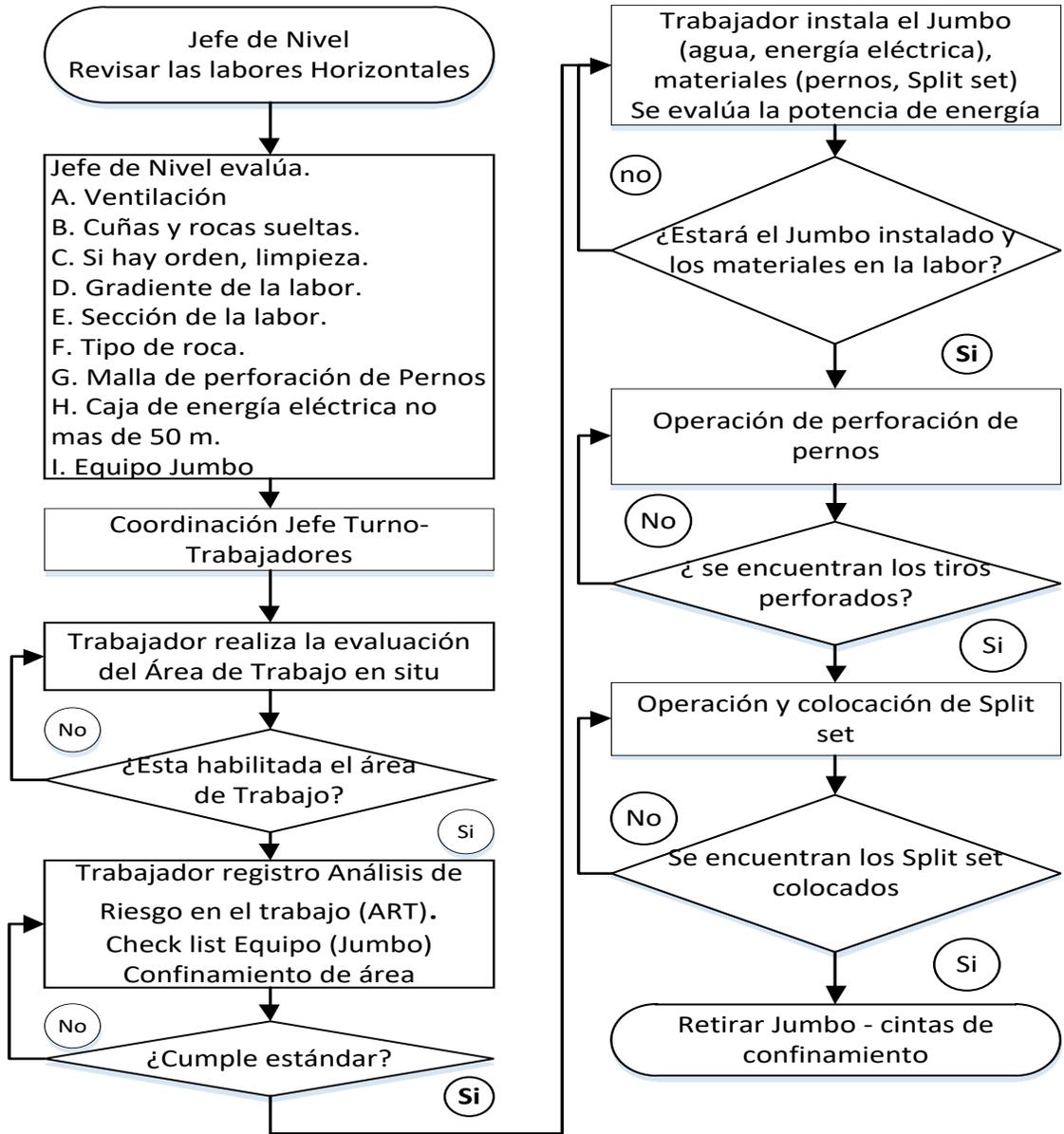


FIGURA 22. DIAGRAMA DE FLUJO PERFORACIÓN DE PERNOS SPLIT SET.
Fuente: MINERA FLORIDA, PROCEDIMIENTO DE TRABAJO, 2014.

6.8 CARTILLA DE INSPECCIÓN GEOTECNICA.

CARTILLA DE INSPECCIÓN GEOTÉCNICA (CIG)

CARTILLA DE INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DE GALERÍAS								
LABOR:				DIRECCIÓN DE AVANCE:				
FECHA INSPECCIÓN:				REALIZADO POR:				
SECTOR:				REGISTRO FOTOGRAFICO N°:				
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO (ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCK SEGUN PARTON (2))			TIPO DE SOPORTE O FORTIFICACIÓN EXISTENTE					
TIPO	DESCRIPCIÓN	RANGO Q ₁₀ (0.01 a 0.05)	TIPO	ARCO COMPLETO	GRADIENTE	TECHO	CAJA IZQ.	CAJA DER.
I	MUY BUENA	4 a 5	EN FORTIFICACIÓN					
II	BUENA	6 a 10	PERNO PUNTUAL					
III	REGULAR	11 a 20	PERNO SISTEMÁTICO					
IV	MALA	21 a 30	PERNO + VALLA					
V	MUY MALA	31 a 40	SHOTCRETE					
CONDICIÓN DE AGUA			SHOTCRETE REFORZADO					
SECO			MÁRCOS					
HÚMEDO			OTRO (ESPECIFICAR)					
GOTEÓ			PRESENCIA DE BARBACANAS			CONDICIÓN DE BARBACANAS		
FLUJO			SI			DESPEJADAS		
			NO			TAPADAS		
SECCIÓN DE TÚNEL			INDICADOR DE INESTABILIDAD					
			COLLAPSO		LEJAMIENTO EN CAJAS			
			DERRUMBIO		AGRIETAMIENTO			
			DESPRENDIMIENTO		BLOQUES SUELTOS			
			GOTEÓ PUNTUAL		NINGUNA			
			CONDICIÓN DE SOPORTE O FORTIFICACIÓN					
VALLA			CARGADA Y ROTA	CARGADA	LOCAMENTE SUELTA	NINGUNA ANTERIOR		
PERNOS			TODOS SUELTOS	VARIOS SUELTOS	ALGUNOS SUELTOS	NINGUNA ANTERIOR		
SHOTCRETE			AGRIETADO	AGRIETADO O HINOJADO	QUEBRADO	NINGUNA ANTERIOR		
MÁRCOS			TODOS DEFORMADOS	VARIOS DEFORMADOS	ALGUNOS DEFORMADOS	NINGUNA ANTERIOR		
			DETALLE DE AGRIETAMIENTO EN SHOTCRETE O MACIZO ROCOSO					
			NÚMERO DE GRETEL X METRO		APERTURA (mm)		LONGITUD (m)	
							L min	
							L max	
							L media	
			PLAN DE ACCIÓN					
RECOMENDACIÓN PRELIMINAR								
ACURDURA								
REPARACIÓN PUNTUAL								
REFORZAMIENTO								
EVALUACIÓN ESPECIALISTA			RESPONSABLE		FECHA	FRMA	JEFE DESARROLLOS	
TEST DE CALIDAD			REVISADO POR		FECHA	FRMA	FRMA	
OTRO			APROBADO POR		FECHA	FRMA	FECHA	EMPRESA

FIGURA 23. CARTILLA DE INSPECCIÓN GEOTECNICA.
Fuente: MINERA FLORIDA, PROCEDIMIENTO DE TRABAJO, 2014.

6.9 PROTOCOLO DE RECEPCIÓN DE FORTIFICACIÓN.

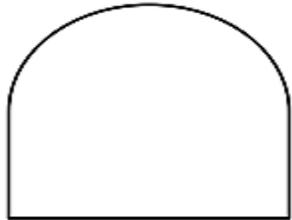
PROTOCOLO DE RECEPCIÓN DE FORTIFICACIÓN (GIP-F02)				 YAMANA GOLD Minera Florida Ltda.	
ANTECEDENTES GENERALES				FOLIO N° 0001	
RECOMENDACIÓN GEOMECÁNICA (NOTA INTERNA N°)				FECHA	TURNO
NOMBRE DE LA LABOR Y NIVEL				OPERADOR	
DISTANCIA A TARUGO MAS CERCAÑO				J. DE TURNO	
METROS LINEALES FORTIFICADOS				TIPO DE FORTIF (MARCAR CON X)	SECTOR ANTIGUO
SECCIÓN DE LA LABOR A FORTIFICAR (MARCAR CON X)	3,5 x 3,8	4,5 x 4,2		LABOR NUEVA	REPOSICIÓN
INSTALACIÓN DE MALLAS				INSTALACIÓN DE PERNOS	
ZONA A ENMALLAR	PERIMETRO (m)	LARGO (m)	TOTAL (m2)	ELEMENTO	LARGO (m)
TECHO	3,3			PERFORACIÓN PARA FORTIFICACIÓN	
GALIBO A GALIBO	6,3			PERNOS SPLIT SET	0,6
GRAD. A GRAD.	9,3			PERNOS SPLIT SET	2,2
PISO A PISO	12,3			PERNOS HELICOIDALES	2,4
OTRO				PLANCHUELAS	-
			TOTAL (m2)	TUERCAS	-
				REPOSICIÓN DE MALLA	
ZONA A DESCARGAR	ANCHO (m)	LARGO (m)	CANTIDAD	ELEMENTO	ANCHO (m)
ZONA 1				ZONA 1	
ZONA 2				ZONA 2	
ZONA 3				ZONA 3	
			TOTAL (m2)	TOTAL (m2)	
				CROQUIS	
VISTA EN PLANTA DE LA ZONA A FORTIFICADA (INDICAR UBICACIÓN DE TARUGO)				PATRÓN DE APERNADO	
				1,0m x 1,0m 1,25m x 1,25m 1,5m x 1,5m 1,6m x 1,6 m NOTA: EN CASO DE FORTIFICACIÓN ESPECIAL, SE DEBE INDICAR EL PATRÓN DE APERNADO.	
					
				PERFIL ESQUEMÁTICO DE LA FORTIFICACIÓN INSTALADA	
RECEPCIÓN DE LA OBRA			OBSERVACIONES		
PERNOS Y MALLAS ADOSADAS					
SECTOR ACUÑADO					
RETIRO DE RISES					
_____ SUPERVISOR EE CC			_____ JEFE DE TURNO/ITO YAMANA		

FIGURA 24. CARTILLA DE RECEPCIÓN DE FORTIFICACIÓN.
Fuente: MINERA FLORIDA, PROCEDIMIENTO DE TRABAJO, 2014.