

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

**“REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS
EN MINA MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS
INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI)
DE LAS OPERACIONES UNITARIAS DE
PERFORACIÓN Y VOLADURA”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Josmer Antenor Rodriguez Alcalde

Asesor:

Ing. Eduardo Manuel Noriega Vidal
<https://orcid.org/0000-0001-7674-7125>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Mg. Ing. Jorge Omar Gonzales Torres	43703713
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Mag. Ing. Ronald Antonio Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Mag. Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado	18900541
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	2%
3	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Trabajo del estudiante	1%
4	María Cristina Gambi, Simone Mariani. "Polychaetes of the soft bottoms of the Straits of Magellan collected during the Italian oceanographic cruise in February-March 1991", Scientia Marina, 2008 Publicación	1%
5	Submitted to Submitted on 1691510001966 Trabajo del estudiante	1%
6	S.Z. Goushehgir, J. Fegghi, J.L. Innes. "Developing a set of key performance indicators for monitoring sustainability of forest functions in the Hyrcanian forests", International Forestry Review, 2021 Publicación	<1%

DEDICATORIA

A mis padres, quienes dedicaron todo su tiempo y esfuerzo para inculcarme los valores de la educación y la perseverancia. En ellos tengo un modelo a seguir pues sus valores, fortalezas y valores son dignas de seguir. A mis hermanos, quienes han compartido esta travesía conmigo, les agradezco por su complicidad y apoyo constante.

Gracias a Dios por haberme brindado una gran familia a la cual amo y siempre serán mi motor y motivo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis. Su apoyo, orientación y estímulo han sido fundamentales en este viaje académico.

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud y conocimiento a lo largo de estos años. Así mismo deseo agradecer a mi asesor de tesis el ingeniero Eduardo Noriega Vidal, por su guía experta y paciencia. Sus valiosos consejos han sido cruciales para dar forma a esta investigación.

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo constante. A mis padres, Julio Rodríguez Jesús y Juana Alcalde Ferreyra, por su amor incondicional y apoyo constante, a mis hermanos, Yanely, Denisse y Florangel por su comprensión y ánimo.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que participaron en este estudio y compartieron sus conocimientos y experiencias.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	50
ANEXOS	53

Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros de perforación y voladura labor La Escondida – febrero 2023.	23
Tabla 2 Estructura de costos de mano de obra para las operaciones de perforación y voladura de la labor La Escondida - febrero 2023.	23
Tabla 3 Estructura de los costos de aceros de perforación y materiales complementarios para la operación de perforación en la labor La Escondida - febrero 2023.	24
Tabla 4 Estructura de los costos de accesorios de voladura y explosivos para la operación de voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.	24
Tabla 5 Estructura de los costos de los implementos de seguridad para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.	25
Tabla 6 Estructura de los costos de las herramientas para las operaciones de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.	25
Tabla 7 Estructura de los costos de los útiles de campamento para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.	26
Tabla 8 Estructura de los costos por alimentación para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.	26
Tabla 9 Estructura de los costos por transporte de personal de la labor La Escondida - febrero 2023.	26
Tabla 10 Estructura de los costos operativos de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.	26
Tabla 11 Estructura de los costos operativos indirectos de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.	27
Tabla 12 Estructura de los costos operativos totales de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.	27
Tabla 13 Cuadro de síntesis de cantidad de taladros y explosivo aplicando la metodología de Holmberg. .	36
Tabla 14 Cuadro de síntesis de cantidad de taladros y explosivo aplicado en la labor La Escondida – marzo del 2023.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Costos operativos para operaciones de perforación y voladura – febrero del 2023.	28
Figura 2	Longitud del taladro – febrero del 2023.	29
Figura 3	Tiempo de perforación – febrero del 2023.	29
Figura 4	Cantidad de taladros – febrero del 2023.	30
Figura 5	Desviación del taladro – febrero del 2023.	30
Figura 6	Tiempo de perforación de un taladro – febrero del 2023.	31
Figura 7	Cantidad de taladros perforados por hora – febrero del 2023.	31
Figura 8	Tasa de penetración – febrero del 2023.	32
Figura 9	Eficiencia de perforación – febrero del 2023.	32
Figura 10	Volumen roto por disparo – febrero del 2023.	33
Figura 11	Factor de carga – febrero del 2023.	33
Figura 12	Avance por disparo – febrero del 2023.	34
Figura 13	Diseño de malla de perforación – marzo 2023.	38
Figura 14	Longitud del taladro después de realizar la optimización – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	39
Figura 15	Tiempo de perforación después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	39
Figura 16	Cantidad de taladros perforados después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	40
Figura 17	Desviación de los taladros después de realizar la optimización – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	40
Figura 18	Tiempo de perforación de un taladro después de realizar la optimización. - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	41
Figura 19	Taladros perforados por hora después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	41
Figura 20	Tasa de penetración después de realizar las optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	42
Figura 21	Eficiencia de perforación después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	42
Figura 22	Volumen roto después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	43

Figura 23	Factor de carga después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	43
Figura 24	Avance por disparo después de esta optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	44
Figura 25	Costo de perforación y voladura – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.	45

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo reducir los costos operativos en mina a través de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la mina Unidad Operativa Frances. Este estudio es de tipo aplicada con diseño con diseño experimental de tipo transversal. Se utilizó las siguientes técnicas análisis documental, entrevistas, encuestas y observación directa. El método es de enfoque mixto con tipo de investigación descriptivo. La población se conforma por las operaciones unitarias de la mina Unidad Operativa Frances, así mismo la muestra son las operaciones de perforación y voladura. Los resultados indican que al optimizar los indicadores clave de desempeño, se ha logrado reducir los costos operativos de perforación y voladura en un 9,6% con respecto al costo de perforación y voladura que se venía obteniendo, así mismo se redujo los tiempos perforación y se logró aumentar el avance para cumplir con lo planificado. Se concluye que la optimización de los indicadores clave de desempeño es importante para gestionar de manera efectiva la información y así poder incrementar la productividad y disminuir los costos operativos de las operaciones de perforación y voladura en la labor La Escondida.

PALABRAS CLAVES: Optimización, KPI, Perforación, voladura.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La problemática de esta investigación radica con respecto a la medición y control de operaciones unitarias (perforación y voladura), principalmente en el área de perforación, ya que los maestros perforistas no cumplen con todos los parámetros adecuados, es decir que no tienen en cuenta el diseño de malla para realizar una perforación óptima de acuerdo con lo requerido de la empresa. Es decir, que de acuerdo a las fichas de registro de operación en la labor de producción La Escondida, los problemas que presentan una mayor frecuencia en las operaciones unitarias es la tasa de penetración de perforación en promedio es de 53,02 m/h y la uniformidad del patrón.

La perforación se define como una primera operación con respecto a la preparación de una voladura. Teniendo el propósito de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados para alojar explosivos y accesorios de voladura. Basándose en sus principios mecánicos de rotación y percusión (EXSA, 2019).

Por un lado, se puede mostrar inconvenientes en el procesamiento de perforación y voladura, donde influye con un costo alto de estas operaciones, existiendo problemas que se relacionan con esta etapa (Ramos, 2019). Por otro lado, en la compañía Minera El Brocal, se evidenció problemas sobre costos en perforación y voladura, esto se debió a que realizan un mal manejo de sus actividades en cuanto a los mayores tiempos improductivos, ya que su diseño de malla no es adecuado, generando una mala distribución de taladros (Condori, 2023).

De tal manera, que en el país también es tocados por estas clases de problemas, donde uno de ellos, es en la minera Huarcaya, evidenciando sus costos elevados para perforación y

voladura a causa del inadecuado diseño de malla, debiéndose a su deficiencia de supervisión y control de todos los parámetros, además, contaban con una cantidad excesiva de explosivos por cada taladro, ocasionando una sobrerotura (Duran, 2021). Además, en la mina también se evidencia problemas con respecto al diseño de malla, de manera que impacta a los costos de operación, donde se incrementa el consumo de explosivos, aceros y accesorios (Delgado, 2022).

Asimismo, con respecto a una unidad minera subterránea de la Libertad su principal problema radica en sus procesamientos de perforación y voladura, ya que actualmente lo están realizando de manera empírica y esto se debe que la unidad minera no cuenta con el diseño de malla de perforación establecido; es decir que desarrollan sus procesos de perforación y voladura según al criterio y experiencia de un maestro perforista, generando serie de consecuencias negativas para su productividad de esta operación en la unidad minera (Saucedo, 2022).

Por otra parte, en una minería subterránea su problema principal es que utilizan método tradicional para su proceso de perforación y voladura, teniendo un tiempo total aproximado de 8 horas, ya que la voladura no será eficiente y habrá un aumento en el tiempo de corte y/o perforación, asimismo, en el costo total de este proceso con el método tradicional fue de 2820,75 soles, sin que se tome en cuenta la pérdida y parada de producción que esto ocasionaría (Poma, 2020).

Esta investigación tiene como campo de estudio la Unidad Operativa Frances ubicada en la región de La Libertad, distrito de Patatz; siendo una operación minera que extrae minerales auríferos, cuya producción mensual es de 1200 toneladas. De acuerdo a todo lo dicho anteriormente, este trabajo de investigación pretende revertir esta situación mediante la optimización de indicadores clave de desempeño (KPI) de estas operaciones de

perforación y voladura, para establecer una medición y control de parámetros de perforación y voladura, permitiendo procesar una serie de información relacionada con estas operaciones, logrando obtener un visualización más detallada y de fácil interpretación que permitan identificación de problemas en las operaciones y soluciones rápidas para una mejora continua.

Por ello, es que se ha propuesto la presente investigación denominada “Reducción de los costos operativos en mina mediante la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura”, ya que una de estas ventajas que nos brinda la optimización de los indicadores clave de desempeño es que logra mejorar la recopilación y procesamiento de datos, para establecer controles y medidas para los parámetros operacionales. Buscando probar que existe un vínculo con respecto a la reducción de costos operativos con los KPI operacionales de perforación y voladura.

Por lo tanto, se ha ejecutado una recopilación de investigación en el ámbito internacional, nacional y local, donde se detalla a continuación.

En cuanto a sus antecedentes internacionales (Buele, 2017), en su investigación sobre “Optimización de parámetros para perforación y voladura en su avance del túnel de esta mina Cabo de Hornos”, sustentado en la Universidad del Azuay. La presente investigación tiene como objetivo optimizar sus parámetros para perforación y voladura en su avance lineal del túnel en mina Cabo de Hornos. En el análisis situacional que se hizo inicialmente para sus parámetros de perforación y voladura se verifico que se tenía un avance lineal de 1,30 m y un volumen fragmentado de 3,50 m³, mientras que con la malla optimizada se comprobó un avance lineal de 1,49 m y un volumen fragmentado de 4,01 m³. Estos datos reflejan que si se cuentan con el diseño de malla acorde con sus condiciones geológicas y con las características de los explosivos se logra obtener un menor rango en los costos operativos.

Del mismo modo al de (Puma, 2021), en su tesis sobre “Optimización de este procesamiento de perforación y voladura en mina dedicada a una extracción metálica a pequeña escala en asociación La Fortuna”, sustentado en Escuela Superior Politécnica del Litoral en Ecuador. Este presente trabajo de investigación tiene como propósito optimizar su procesamiento de perforación y voladura desarrollado en Sociedad Minera “Los Caprichosos Reina del Rosario”, mediante una implementación del modelo matemático de Holmberg para su mejoramiento de aspectos económicos. En cuanto a esta aplicación del diseño de malla de perforación a través de método de Holmberg y con las características de la carga explosiva que utiliza la empresa, se obtuvo una mejora en el avance del frente de 9,66% como consecuencia un ahorro de \$ 18,06 por frente.

De igual manera (Sánchez, 2012), en su investigación sobre “Optimización en procesamientos de perforación y voladura en su avance de la rampa en mina Bethzabeth”, sustentada en Universidad Central del Ecuador. Esta siguiente investigación tiene como propósito optimizar sus procesamientos de perforación y voladura en su avance de la rampa en mina Bethzabeth de esta empresa minera ELIPE S.A., a través de su nuevo diseño de malla de perforación. Con esta nueva malla de perforación se redujo su ahorro de 85,12 dólares en cada voladura.

En cuanto a sus antecedentes nacionales (Berrospi, 2019), en su investigación sobre “Optimización de perforación y voladura para su mejoramiento en área de profundización en mina Andaychagua de Cía. minera Volcan S.A.A.”, sustentada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en Cerro de Pasco. El objetivo de la tesis es evaluar su procesamiento de perforación y voladura, aplicando una emulsión bombeable gasificada (EBG) Quantex Sub en labores de profundización para cumplir el avance lineal programado. Con la aplicación de Quantex redujeron el número de taladros de perforación en la malla de

perforación de 56 a 44 taladros perforados. Como consecuencia de esta reducción del número de taladros no solo se puede adquirir una gran reducción en sus costos operativos sino también se puede obtener una gran disminución en el tiempo de proceso.

De igual manera la tesis de (Jáuregui, 2009), en su investigación sobre “Reducción de costos operativos en mina, a través de su optimización de estándares de sus operaciones unitarias de perforación y voladura”, sustentada en Pontificia Universidad Católica del Perú en Lima. Teniendo como propósito reducir sus costos de operaciones de perforación y voladura utilizando para ello un control y seguimiento de sus operaciones. Con esta optimización de estándares de sus operaciones de perforación y voladura, se logró una reducción del costo unitario total de mina en 1,51 \$/TM, es decir una reducción del 7%. Estos datos con respecto a su reducción de costos operativos reflejan una criticidad con la que debe manejar el seguimiento y control de sus parámetros operativos de perforación y voladura.

Así mismo, con respecto a los estudios locales tenemos a (Ortilla, 2018), en su tesis sobre “Mejoramiento en sus parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en compañía minera Santa Luisa S.A. - Unidad Pallca”, sustentada en la Universidad Privada del Norte en Cajamarca. Teniendo como propósito reducir sus costos operacionales a través del mejoramiento de sus parámetros de perforación y voladura. Con la aplicación de esta nueva malla de perforación y voladura, mejoró su factor de carga de 3,51 a 2,38 kg/m, generando así un menor consumo de explosivo y ahorrando 15 US\$ por disparo.

Finalmente, con respecto al estudio local de (Pacahuala, 2015), en su investigación sobre “Disminución de costos operativos en desarrollos a través de actualización de estándares en perforación y voladura, caso de esta empresa especializada Mincotrall S.R.L.”,

sustentada en la Universidad Nacional del Centro del Perú en Huancayo. Teniendo como propósito diseñar sus estándares de perforación y voladura, para normalizar su fragmentación del material resultante. Con esta aplicación de nuevos estándares actualizados se logró reducir en 10% sus costos unitarios de perforación y voladura.

Esta investigación tiene consigo dos variables, las cuáles son: “Reducción de los costos operativos en mina” y “Optimización de los indicadores clave de desempeño”, donde definen según diversos autores de esta siguiente manera:

Costos Operativos en Mina: son aquellos costos originados en forma continua durante su funcionamiento de una operación minera y están directamente relacionados a su producción (Pacahuala, 2015). Así mismo los costos operativos unitarios incorporan el uso de equipos, depreciación de equipos, mano de obra, materiales e insumos; sin embargo, no incluye sus costos unitarios por servicios auxiliares y energía (Jáuregui, 2009).

Optimización: se enfoca en encontrar la mejor solución posible a un problema a un problema dentro de un conjunto de soluciones factibles, generalmente con el objetivo de maximizar la eficiencia o minimizar los costos (Hillier, 2010).

KPI: Son aquellos indicadores clave de rendimiento centrándose en aspectos de desempeño organizacional que son más críticos para el éxito actual y futuro de la organización (Paramenter, 2020). Así mismo los KPI se pueden usar para medir objetivos estratégicos, es decir, monitorear dónde se encuentra ahora en relación con dónde quiere estar en el futuro o para medir objetivos operativos, es decir, herramientas para monitorear el desempeño operativo a diario (Marr, 2015). En ese sentido se ha planteado como problema, ¿Cómo es la reducción de los costos operativos en mina mediante la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura Unidad Operativa Frances de Pataz – Pataz – La Libertad?

Con respecto a su justificación teórica en esta investigación, se quiere compartir como es que funcionan los indicadores claves de desempeño (KPI) en estas operaciones unitarias de perforación y voladura, de tal manera que se reduzcan sus costos operativos. Para su justificación metodológica, se ha recopilado investigaciones e información de bases de datos confiables, siendo utilizadas como fuentes confiables para esta investigación. Para su justificación práctica en esta investigación es dar a conocer la importancia de la implementación de estos KPI en sus operaciones de perforación y voladura, empezar a controlar y medir los parámetros operacionales, de tal manera que tengamos una mejora continua, así como su reducción de costos operativos. Así mismo, en su justificación social, se quiere cumplir con las expectativas planteados de la investigación, siendo una fuente confiable de apoyo para estudiantes o profesionales que quieran conocer sobre el tema.

Por tanto, se ha planteado como objetivo general reducir los costos operativos en mina a través de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la mina Unidad Operativa Frances de Pataz – Pataz – La Libertad; y como objetivos específicos analizar los costos operativos actuales en las operaciones de perforación y voladura, identificar indicadores clave de desempeño (KPI) actuales utilizados y evaluar su efectividad para medir el rendimiento, identificar las áreas de mejora en las operaciones de perforación y voladura, desarrollar nuevos indicadores clave de desempeño (KPI) e implementar las estrategias de optimización de los mismos y medir y evaluar el impacto de las mejoras en los indicadores clave de rendimiento en los costos operativos.

Finalmente se plantea como hipótesis general que, la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura reduce significativamente los costos operacionales.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Este estudio plantea un enfoque mixto, ya que esta información se observa, recopila, analiza y procesa no solo a través de una estadística y datos cuantitativos, sino que también se realiza de forma cualitativa para comprender los factores subjetivos que influyen en los costos operativos. Los métodos cuantitativos proporcionan datos numéricos y estadísticos para evaluar el impacto objetivo de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) en los costos operativos. Por otro lado, los métodos cualitativos ayudan a comprender las percepciones, experiencias y desafíos del personal de la mina, lo que brinda información valiosa para mejorar las estrategias de optimización (Hernandez, 2014).

De acuerdo al fin que se persigue en esta investigación, siendo tipo aplicada, ya que esta investigación se va a realizar en un tiempo determinado para la resolución de problemas prácticos, para ello, es necesario la aplicación de conocimientos y métodos de investigación adquiridos previamente (Creswell, 2009).

En cuanto a esta base a la temporalidad, la investigación es de tipo transversal, debido a que esta información para el análisis de datos que se ha aplicado a sus operaciones e información sobre sus indicadores clave de desempeño se recopilan, analizan y procesan en un solo punto en el tiempo (Babbie, 2016).

Con respecto al alcance de esta investigación es descriptivo, ya que busca describir de forma precisa sus costos operativos e indicadores clave de desempeño, y analizar cómo se puede optimizar la relación entre ellos para reducir los costos (Babbie, 2016).

Para el diseño de la investigación es experimental, ya que realiza una manipulación intencional y controlada de la variable optimización de los indicadores clave de desempeño

(KPI). Es decir, las intervenciones específicas que se realizan sobre la variable se hacen a fin de cumplir sus objetivos planteados (Hernandez, 2014).

En cuanto a su población se encuentra conformada por las operaciones unitarias de esta Unidad Operativa Frances. Con respecto a su muestra está definida por las operaciones unitarias de perforación y voladura. Para su muestreo es no probabilístico, dado que se ha seleccionado la muestra por conveniencia, debido a que se tiene accesos a su información que será estudiada. Se define la muestra como un subconjunto de una población, seleccionado de manera que sea representativo a la población general y pueda brindar información útil y válida sobre ella (Babbie, 2016).

La investigación por poseer un enfoque mixto tiene como técnicas el “análisis documental, entrevistas, encuestas y observación directa”. Los instrumentos por utilizar para la recopilación de información cuantitativa para la investigación son los “fichas de registro, cuadros de análisis y el software Excel”, mientras que los instrumentos como las guías de entrevistas y cuestionarios estructurados puedan facilitar la información cualitativa valiosa que ayude a comprender los factores subyacentes y desafíos asociados a las variables.

Es preciso señalar que los instrumentos utilizado para obtener la información cuantitativa, no se tiene la necesidad de seguir algún modelo como ejemplo o modificarla, puesto que, los reportes y cuadros de análisis, se adaptan a los datos que se quiere obtener en esta investigación, las cuales tienen por nombre en el Anexo 3 “Reporte de perforación”, Anexo 4 “Reporte de consumo para explosivos y accesorios de voladura” y “cuadros de análisis de estándares de sus operaciones y reporte de indicadores clave de rendimiento (KPI)”.

Los instrumentos para obtener la información cualitativa han sido diseñados acorde a la información que se quiere tener para la investigación, los cuales tienen por nombre

Anexo 5 “Cuestionario sobre las operaciones de perforación y voladura en la Unidad Operativa Frances” y anexo 6 “entrevista sobre identificación de áreas de mejora y buenas prácticas operativas”.

Su procedimiento para esta recolección de datos cuantitativos empieza al inicio de turno con su capacitación de seguridad y salud ocupacional, y posterior repartición de guardia, donde indican a los perforistas y ayudantes de perforista los detalles del frente de trabajos, realizando los trabajos programados de perforación y voladura, además se les da sus documentos de trabajo que son Check list de equipo, IPERC y la ficha de registro de perforación.

El llenado del reporte de perforación inicia con los datos de la perforadora (perforadora y código interno), luego se detalla los datos del personal a cargo del proyecto (nombre del perforista y ayudante de perforista). Proseguimos con los detalles del proyecto (proyecto y labor), tipo de voladura (primaria o secundaria), número de taladros, características del taladro (diámetro, longitud y desviación) y condiciones operativas. Luego se detalla su consumo de aceros de perforación (brocas y barrenos).

La ficha de registro de consumo de explosivos y accesorios de voladura ya tiene detallado el nombre para estos explosivos y accesorios de voladura utilizados en mina, por lo tanto, para ser llenado solo se requiere los datos del personal solicitante, la labor (en donde serán utilizados), luego se detalla la cantidad entregada y el retorno de estos.

El reporte de indicadores clave de desempeño, son elaborados al final del turno de trabajo por los supervisores de esta zona de operaciones mina con los datos registrados en campo y con los datos brindados por los reportes de perforación y de consumo de explosivos y accesorios de voladura.

Este procedimiento para su recolección de datos cualitativos realizó través de la guía de entrevista sobre identificación de zonas de mejoramiento y buenas prácticas operativas, y el cuestionario sobre sus operaciones de perforación y voladura, esta obtención de información cualitativa mediante la entrevista inicia con la selección del personal y posterior programación del día cuando se realizara la entrevista con las preguntas diseñadas previamente. Mientras que el cuestionario fue aplicado a todo el personal en dos días programados previamente.

Los perforistas, ayudantes de perforista y peones desarrollan sus funciones de acuerdo con sus exigencias planteadas por esta zona de operaciones mina, donde el correcto llenado de su reporte de perforación y consumo de explosivos y accesorios de voladura fueron de vital importancia para llevar un control y una estadística. El personal realiza un llenado de sus reportes según a la realidad operativa que se vaya presentando durante su turno de trabajo; al final de la jornada laboral los operadores realizan su entrega de documentos de trabajo y posteriormente se realiza el digitalizado de estos reportes hacia una base de datos en Excel.

Con respecto a este análisis de datos se tuvo que realizar una evaluación en cuanto a su situación actual de estas operaciones unitarias de perforación y voladura a través de sus diferentes reportes, cuadros de análisis de estándares operacionales, y respectivos costos unitarios. Posterior a ello se procedió a la implementación de factores de éxito para su optimización de indicadores clave de desempeño (KPI) en operaciones unitarias de perforación y voladura, como los son esta planificación y programación de actividades de perforación y voladura, reduciendo sus tiempos muertos e incrementando su productividad, establecer un programa de mantenimiento efectivo, garantizando el óptimo funcionamiento de equipos de perforación, fomentar la comunicación y colaboración entre partes

“Reducción de los costos operativos en mina mediante la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura” involucrados en las operaciones y la innovación continua para mejorar las operaciones (uso de guías para mantener el paralelismo). La aplicación para estos factores con llevaron a esta disminución de costos operativos. Evaluamos resultados logrados a través de cuadros comparativos y datos cuantitativos de la reducción de los costos.

De acuerdo a estos aspectos éticos en esta investigación, se ha respetado por completo sus derechos de autores con relación a fuentes de estudios utilizadas mediante las referencias bibliográficas de acuerdo con APA 7ma edición.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Estructura de costos unitarios de perforación y voladura de la labor La Escondida.

Tabla 1

Parámetros de perforación y voladura labor La Escondida – febrero 2023.

Parámetros	Unidad	Parámetros	Unidad
Sección de labor	3.00 x 3.00 m	Eficiencia total	95,00 %
Tipo de Roca	Intermedia a dura	Avance / disparo	1,55 m
Longitud de barreno	1,83 m	Volumen roto	8,75 m ³
Equipo de limpieza	ScoopTram	Metros perforados	82,62 m
Sobre rotura máx.	5,0 %	Factor de carga	4,18 Kg/m ³
Nº tal. disparados	37 Und.	Tolerancia de desviación	1,00 cm
Nº taladro alivio	4 Und.	Taladro de cuneta	0,30 m
Nº total de taladros	41 Und.	Tipo de cambio	3,76 S/.x \$

Nota: Se evidencia los parámetros operativos de la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 2

Estructura de costos de mano de obra para las operaciones de perforación y voladura de la labor La Escondida - febrero 2023.

Mano de obra	Jornal S/.	Cant.trab	Nº labores	Tareas	BB.SS.	S/.tarea	S/ x m
Perforista	90	1	1,0	1,00	98,13%	173,82	
Ayudante Perforista	75	1	1,0	1,00	98,13%	144,85	
Peón	70	1	1,0	1,00	98,13%	135,91	
Operador de scoop	110	1	2,0	0,5	98,13%	106,22	
Bodeguero	75	1	8,0	0,13	98,13%	18,83	
Mecánico	83,33	1	8,0	0,13	98,13%	20,92	
Soldador	66,67	1	8,0	0,13	98,13%	16,74	
Ing. Jefe de Guardia	216,67	1	8,0	0,13	98,13%	54,39	
Ing. de Seguridad	166,67	1	8,0	0,13	98,13%	41,84	
Practicante de operaciones	83,33	1	4,0	0,25	98,13%	40,23	
Capataz	116,67	4	2,0	2,00	98,13%	56,33	
TOTAL				6,4		810,08	522,63

Nota: Se evidencia los costos operativos de mano de obra para las operaciones de perforación y voladura de la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 3

Estructura de los costos de aceros de perforación y materiales complementarios para la operación de perforación en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Und.	Cant.	S/.x und	S/.	S/ x m
Maquina Perforadora	pies	161,0	0,41	66,59	
Barreno integral de 4'	pies	80,50	0,99	79,51	
Barreno integral de 6'	pies	40,25	1,07	43,06	
Broca de 36 mm	pies	233,70	0,38	72,56	
Broca de 64 mm	pies	22,80	0,43	9,83	
Manguera de Jebe de 1"	m	30,0	0,14	4,28	
Manguera de Jebe de 1/2"	m	30,0	0,19	5,73	
Aceite Almo 529	gln	0,25	36,09	9,02	
TOTAL				305,89	197,35

Nota: Se evidencia los costos de los aceros de perforación y materiales complementarios utilizados para la operación de perforación en la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 4

Estructura de los costos de accesorios de voladura y explosivos para la operación de voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Und	Cant.	S/.x und	S/.	S/ x m
Emulnor 5000 1" x 8"	car	287,00	5,56	1822,22	
Emulnor 3000 1" x 8"	car	0,00	5,56	0,00	
Carmex 2.10	pza	39,00	8,33	324,87	
Igniter Cord	m	8,00	1,82	14,56	
TOTAL				2161,65	1394,61

Nota: Se evidencia los costos de accesorios de voladura y explosivos utilizados para la operación de voladura en la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 5

Estructura de los costos de los implementos de seguridad para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Und	Cant.	S/.x und	S/.	S/. x m
Guantes de neoprene	par	6,5	2,81	18,26	
Botas de Jebe	par	6,5	0,37	2,4	
Mameluco	pza	6,5	0,50	3,25	
Casco de Seguridad	pza	6,5	0,12	0,78	
Correa de portalámpara	pza	6,5	0,09	0,59	
Respirador contra polvo-3M	pza	6,5	0,27	1,75	
Filtro contra polvo-3M	par	6,5	1,50	9,75	
Tapón Auditivo	pza	6,5	0,12	0,78	
Anteojos de Seguridad	pza	6,5	0,08	0,52	
Barbiquejo	pza	6,5	0,17	1,1	
Lampara de Batería	pza	6,5	1,86	12,49	
Cargador de Lampara	pza	6,5	0,59	3,8	
TOTAL				55,12	35,56

Nota: Se evidencia los costos de los implementos de seguridad utilizados para la perforación y voladura en la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 6

Estructura de los costos de las herramientas para las operaciones de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Und	Cant.	S/.x und	S/.	S/. x m
Atacador de madera	pza	1	5,18	5,18	
Barretilla de 6'	pza	1	0,82	0,82	
Barretilla de 4'	pza	1	0,68	0,68	
Carretilla bugui	pza	2	2,33	4,66	
Combo de 8 lb	pza	1	0,37	0,37	
Combo de 6 lb	pza	1	0,26	0,26	
Lampa minera	pza	3	0,60	1,80	
Llave francesa de 14"	pza	1	0,52	0,52	
Llave Stilson de 14"	pza	1	0,37	0,37	
Pico Minero	pza	1	0,52	0,52	
Saca Barreno	pza	1	0,86	0,86	
Pintura para marcado de frentes	gln	1	1,28	1,28	
Soplete	pza	1	0,64	0,64	
Alambre negro n° 16	Kg	1	0,38	0,38	
TOTAL				18,34	11,83

Nota: Se evidencia los costos de las herramientas utilizadas para la perforación y voladura en la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 7

Estructura de los costos de los útiles de campamento para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Und	Cant.	S/.x und	S/.	S/. x m
Camarote	pza	6,5	0,25230	1,63	
Colchón	pza	6,5	0,23199	1,51	
Frazadas	pza	6,5	0,29253	1,90	
TOTAL				5,04	3,25

Nota: Se evidencia los costos de los útiles de campamento para el personal de la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 8

Estructura de los costos por alimentación para el personal de la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Cant.	S/.x und	S/.	S/. x m
Personal	6,5	27,03	175,69	
TOTAL	6,5		175,69	113,35

Nota: Se evidencia los costos por alimentación para el personal de la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 9

Estructura de los costos por transporte de personal de la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Cant.	S/.x und	S/.	S/. x m
Transporte de personal	6,5	28,05	182,33	
TOTAL	6,5		182,33	117,63

Nota: Se evidencia los costos por transporte de personal de la labor La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 10

Estructura de los costos operativos de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	S/. x m
Mano de obra	522,63
Aceros de perforación y materiales	197,35
Accesorios de voladura y explosivos	1394,61
Implementos de seguridad	35,56
Herramientas	11,83
Útiles de campamento	3,25
Alimentación	113,35
Transporte de personal	117,63
TOTAL	1873,58

Nota: Se evidencia los costos operativos de perforación y voladura en La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 11

Estructura de los costos operativos indirectos de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	Cant.	S/. x m
Gastos Generales	10%	187,35
Imprevistos	5%	93,68
Utilidad	15%	281,03
TOTAL		562,06

Nota: Se evidencia los costos operativos indirectos de perforación y voladura en La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Tabla 12

Estructura de los costos operativos totales de perforación y voladura en la labor La Escondida - febrero 2023.

Descripción	S/. x m
Costo directo	187,35
Costo indirecto	93,68
TOTAL	562,06

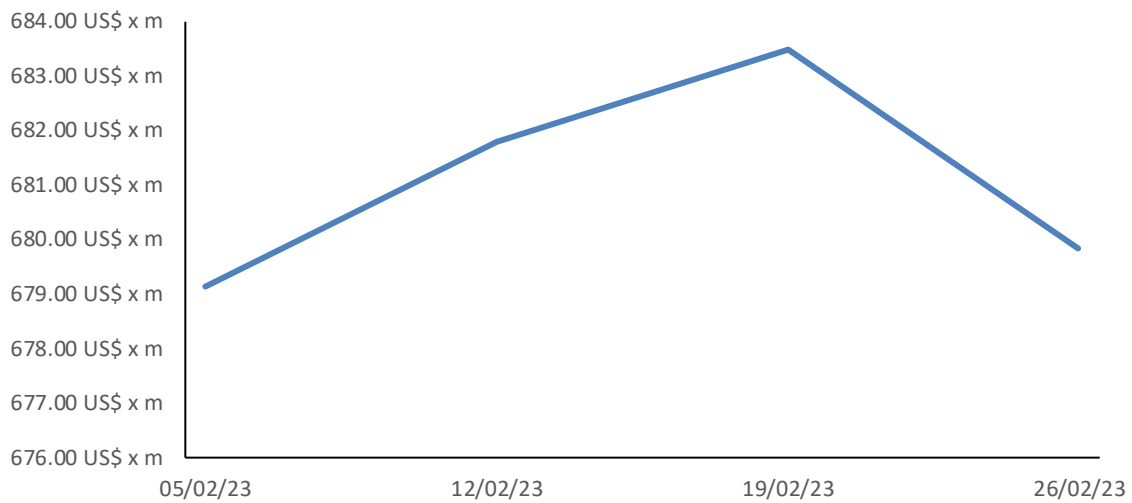
Nota: Se evidencia los costos operativos totales de perforación y voladura en La Escondida correspondiente al mes de febrero del año 2023.

3.2. El análisis de los costos operativos en la labor La Escondida antes de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura.

Este análisis inicial de costos operativos en la labor La Escondida abarco un periodo de un mes, desde el 01 de febrero hasta el 28 de febrero del 2023

Figura 1

Costos operativos para operaciones de perforación y voladura – febrero del 2023.

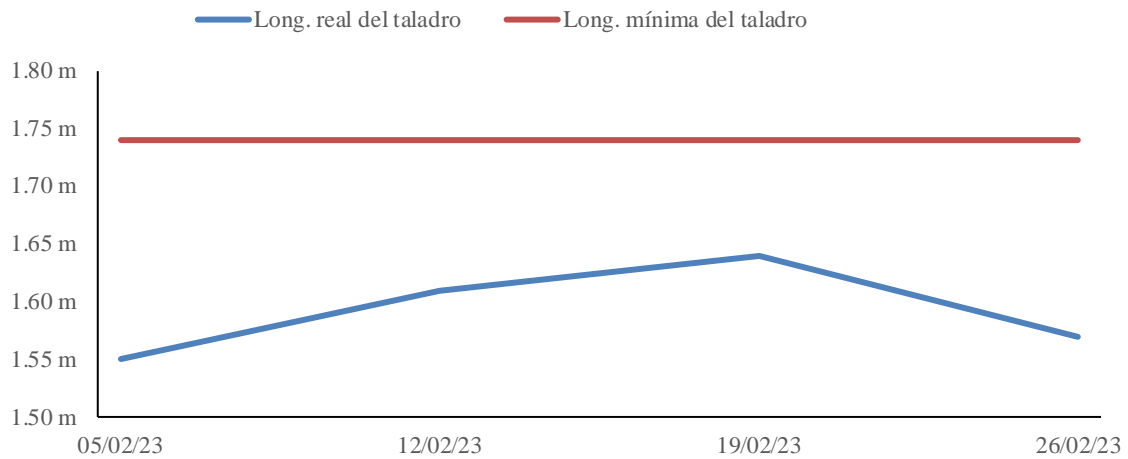


Nota: Se evidencia la variación con respecto a sus costos operativos de perforación y voladura por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

3.3. Análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) de la operación unitaria de perforación en la labor La Escondida.

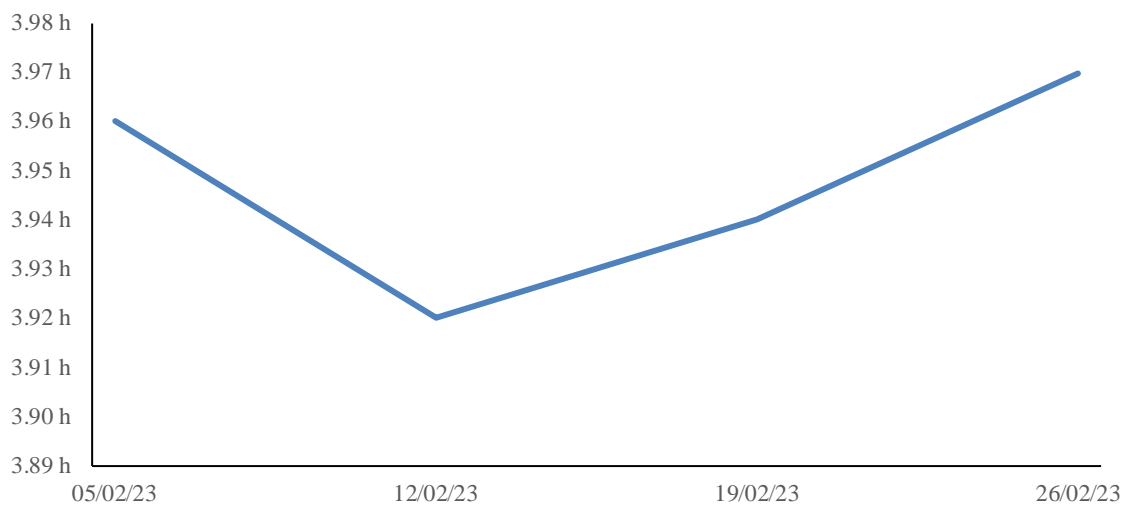
El análisis inicial de estos indicadores de desempeño (KPI) con respecto a su operación unitaria de perforación en la labor La Escondida abarco un periodo un mes, desde el 01 de febrero hasta el 28 de febrero del 2023

Figura 2
Longitud del taladro – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia la longitud promedio de los taladros perforados por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

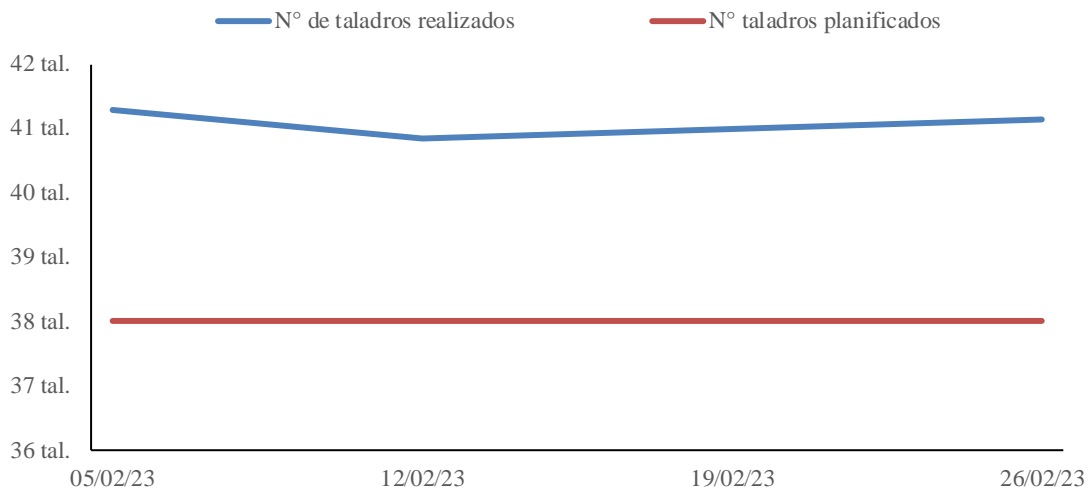
Figura 3
Tiempo de perforación – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia su tiempo de perforación promedio por semana, al mes de febrero del año 2023.

Figura 4

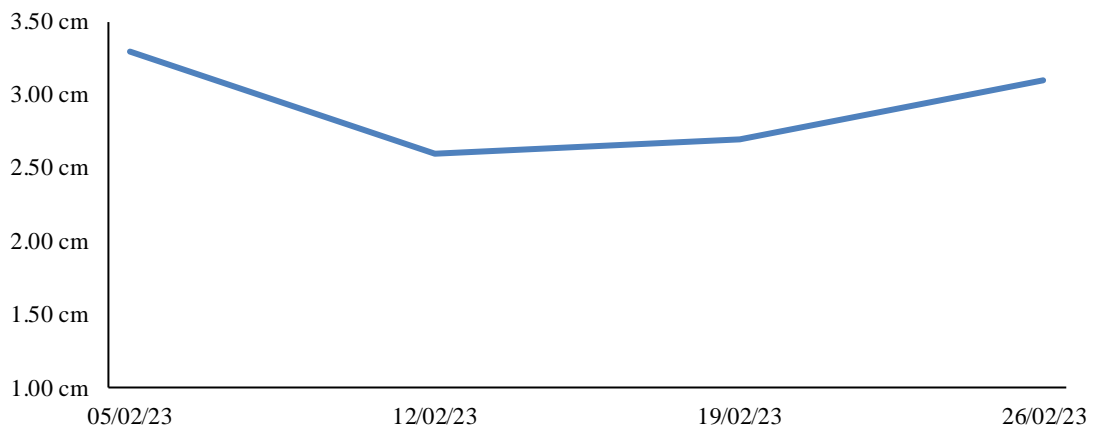
Cantidad de taladros – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia la cantidad de taladros promedio perforados por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Figura 5

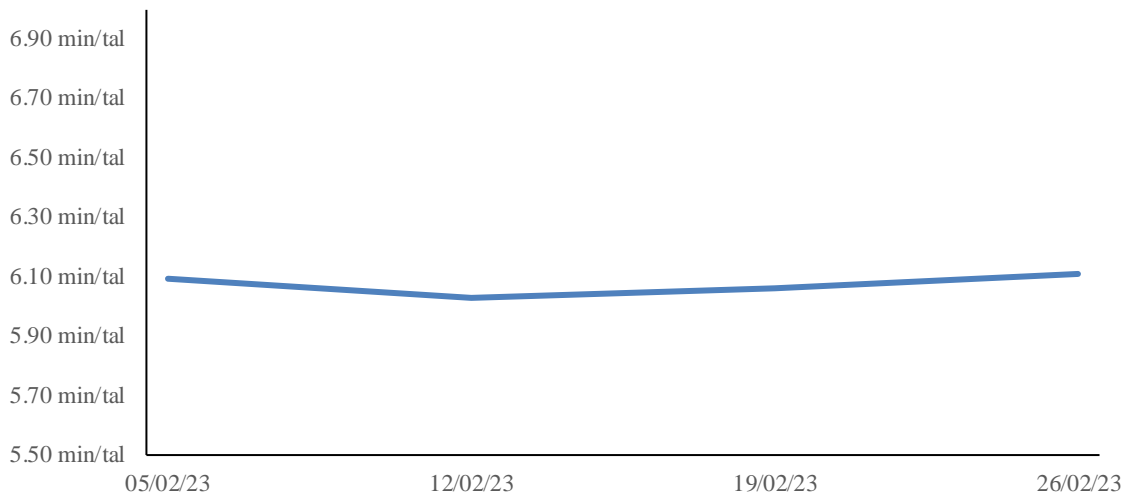
Desviación del taladro – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia la desviación promedio de los taladros por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Figura 6

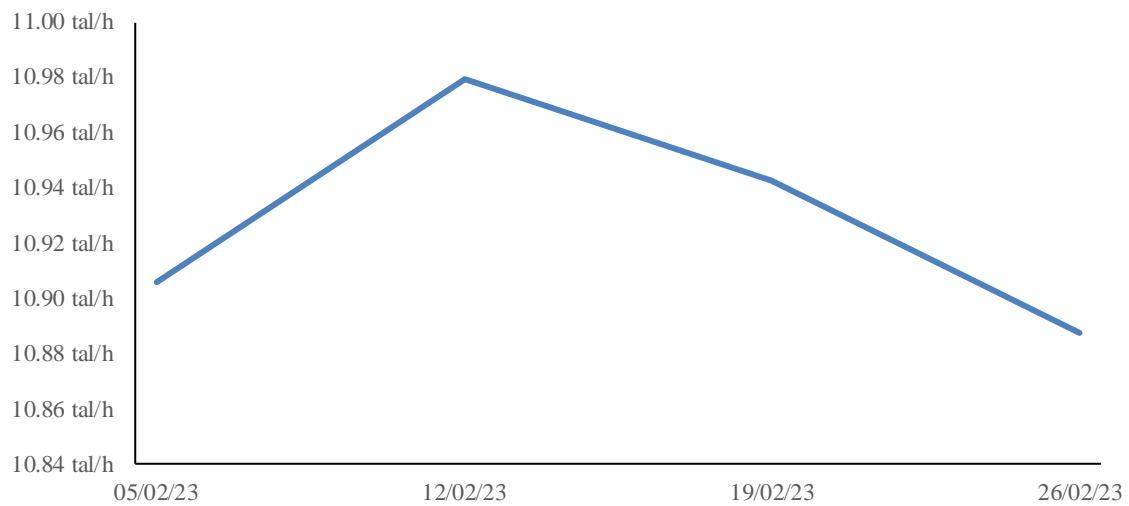
Tiempo de perforación de un taladro – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia su tiempo promedio de perforación de un taladro por semana, al mes de febrero del año 2023.

Figura 7

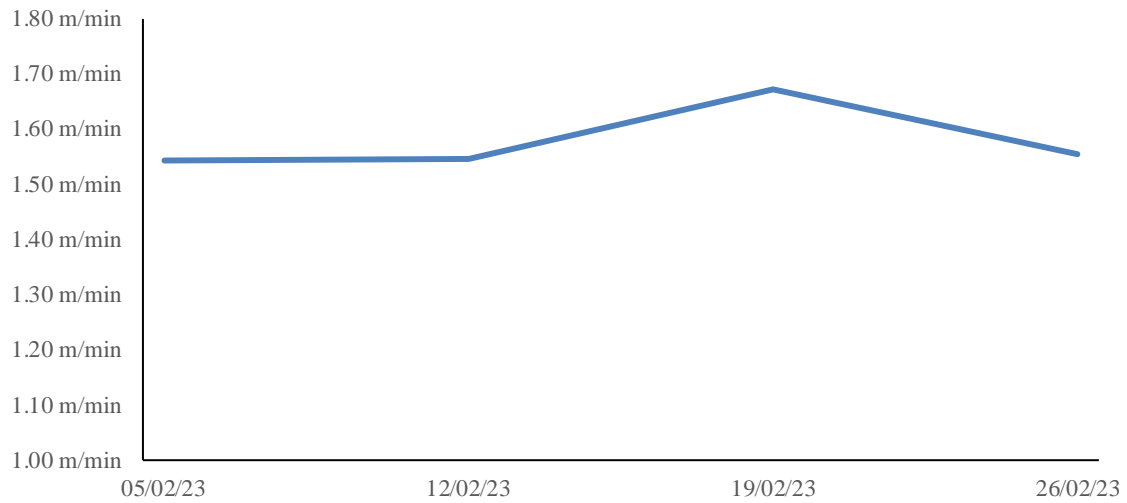
Cantidad de taladros perforados por hora – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia la cantidad promedio de taladros perforados en una hora por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Figura 8

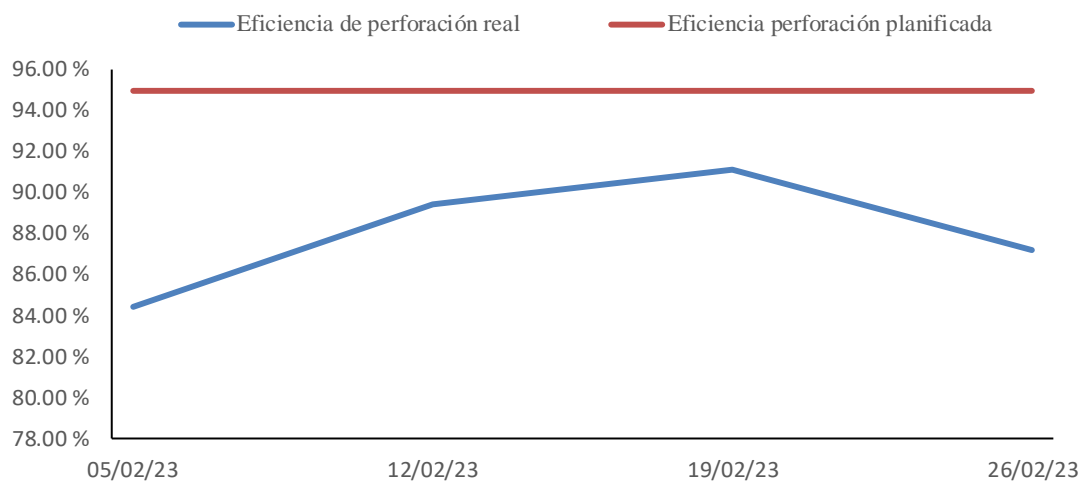
Tasa de penetración – febrero del 2023.



Nota: Se evidencia su tasa de perforación promedio por semana, al mes de febrero del año 2023.

Figura 9

Eficiencia de perforación – febrero del 2023.



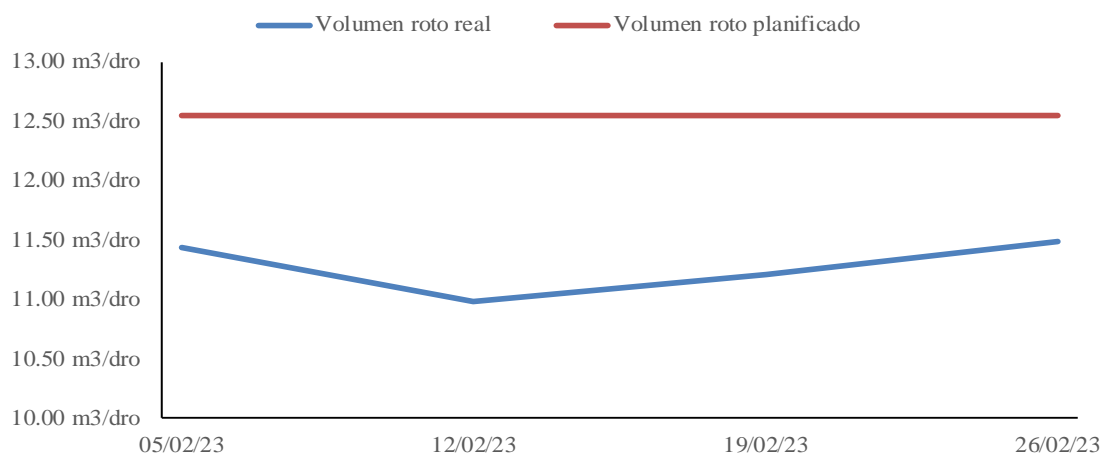
Nota: Se evidencia su eficiencia promedio de perforación por semana, al mes de febrero del año 2023.

3.4. Análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) de la operación unitaria de voladura en la labor La Escondida.

El análisis inicial con respecto a estos indicadores clave de desempeño (KPI) de esta operación unitario de voladura en la labor La Escondida abarco un periodo de un mes, desde el 01 de febrero hasta el 28 de febrero del 2023.

Figura 10

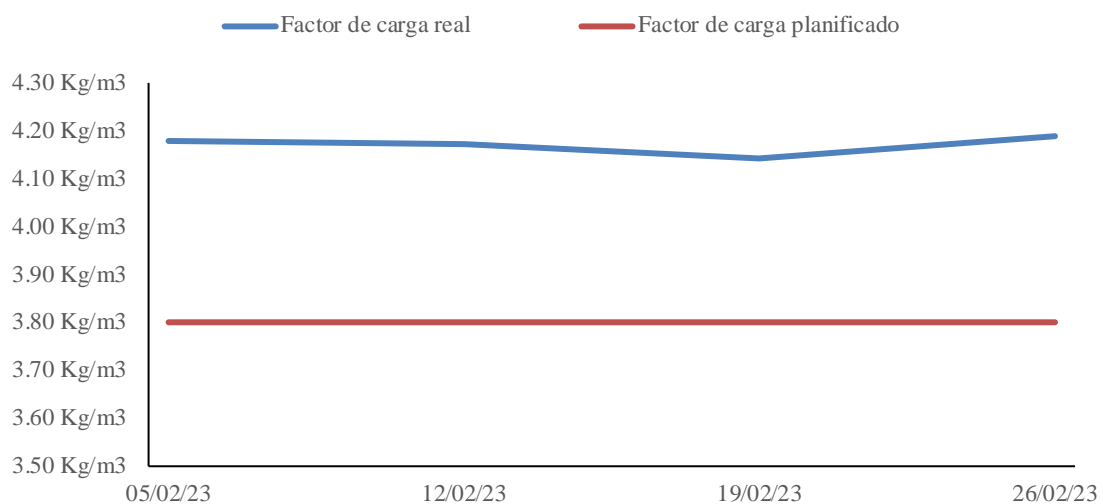
Volumen roto por disparo – febrero del 2023



Nota: Se evidencia el volumen roto promedio de un disparo por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Figura 11

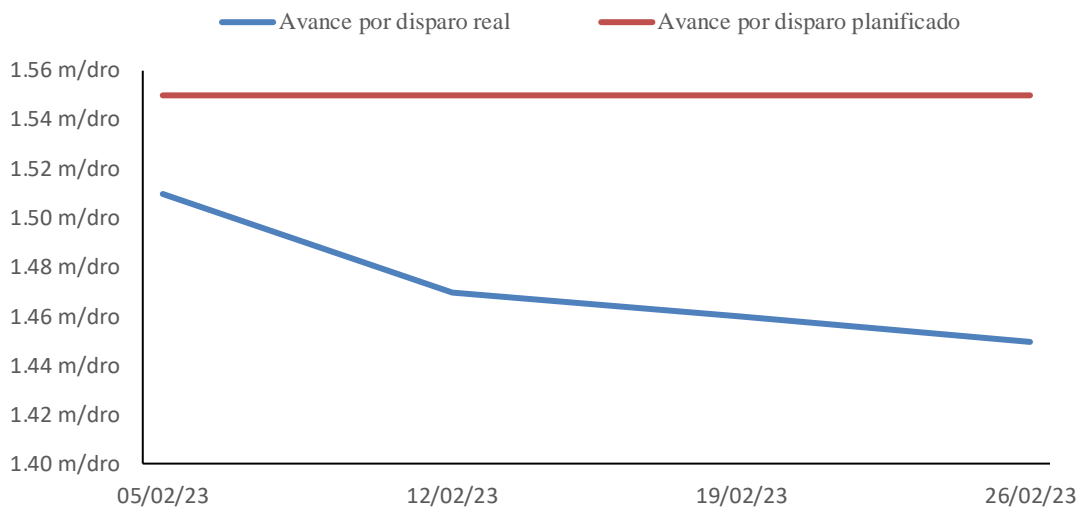
Factor de carga – febrero del 2023



Nota: Se evidencia el factor de carga promedio por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

Figura 12

Avance por disparo – febrero del 2023



Nota: Se evidencia el avance por disparo promedio por semana correspondiente al mes de febrero del año 2023.

3.5. Análisis de información cualitativa

Estos datos cualitativos recopilados mediante la entrevista sobre propuestas de mejora con respecto a sus operaciones de perforación y voladura, y el cuestionario sobre sus parámetros operacionales con respecto a la operación de perforación y voladura fueron sometidos a un proceso riguroso de análisis temático. El objetivo principal de este análisis fue identificar patrones emergentes y tendencias.

3.5.1. Hallazgos de la Entrevista

Coordinación entre la parte de supervisión y operativa.

Los participantes enfatizaron la importancia de una coordinación eficiente entre ambas partes. Se destacó que la falta de comunicación entre estas dos partes a menudo conduce a retrasos en las operaciones. Los entrevistados señalaron que una mayor sincronización podría reducir los tiempos muertos y aumentar la eficiencia operativa.

Mantenimiento y disponibilidad de equipos.

El personal entrevistado expreso su descontento por esta falta de rigurosidad con respecto al mantenimiento de los equipos de perforación. Las averías inesperadas durante las

operaciones generan retrasos, y la falta de disponibilidad de otro equipo de perforación adecuado con lleva al no cumplimiento de la producción planificada.

Calidad de explosivos.

Los entrevistados destacaron la importancia de seguir manteniendo explosivos y accesorios de voladura con un nivel elevado de calidad, y poder adquirir nuevas presentaciones o variedades de explosivos y accesorios de voladura para tener mejores resultados.

3.5.2. Hallazgos del cuestionario

Tiempo de perforación.

Los participantes hicieron hincapié en sus respuestas que hay momentos durante la guardia que la presión de aire es insuficiente para poder realizar correctamente la perforación, esto genera incomodidad en los maestros perforistas y aumenta significativamente el tiempo efectivo de perforación.

Mantenimiento de equipos.

Los resultados del cuestionario resaltaron que los tiempos muertos aumentaron por motivo de las interrupciones no programadas, no realizar un correcto mantenimiento a las perforadoras Jack Leg genera estas paradas. El personal se mostró interesado en implementar programas de mantenimiento periódico para las perforadoras.

3.6. Análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) de la operación unitaria de perforación después de la optimización, en la labor La Escondida.

El análisis de sus costos operativos en esta labor La Escondida después de esta optimización de los indicadores clave de desempeño abarco un periodo de un mes, desde el 01 de marzo hasta el 31 de marzo del 2023

Tabla 13

Cuadro de síntesis de cantidad de taladros y explosivo aplicando la metodología de Holmberg.

Descripción de taladros	Burden Practico (m)	Espaciamiento (m)	N° Taladros		Explosivos Emulnor 5000 1" X 7"		
			Alivio	Cargados	N° Cart./Tal.	N° Cartuchos Total	Masa (Kg / Tal.)
Arranque	0.12	0.35	4	1	9	45	5.207
1° Ayuda (I C)	0.27	0.57		4	8	32	3.702
2° Ayuda (II C)	0.48	1.08		4	8	32	3.702
Ayuda de Hastiales	0.48	0.54		8	7	42	4.859
Ayuda de Corona	0.48	0.65		4	7	21	2.430
Ayuda de Arrastre	0.27	0.72		4	7	21	2.430
Hastiales	0.41	0.70		8	7	56	6.479
Corona	0.55	0.54		8	7	49	5.669
Arrastres	0.87	0.81		5	7	35	4.050
Total de tal. perforados:	50		E-5000	333	Unidades		
Total de tal. cargados:	46		Explosivo	38.53	Kg		
Total de tal. de alivio:	4		Carmex 2.10 m	45	Unidades		

Nota: Se evidencia el burden y espaciamientos obtenidos aplicando la metodología de Holmberg, así como los cartuchos por taladro para el disparo, al mes de marzo del año 2023.

Tabla 14

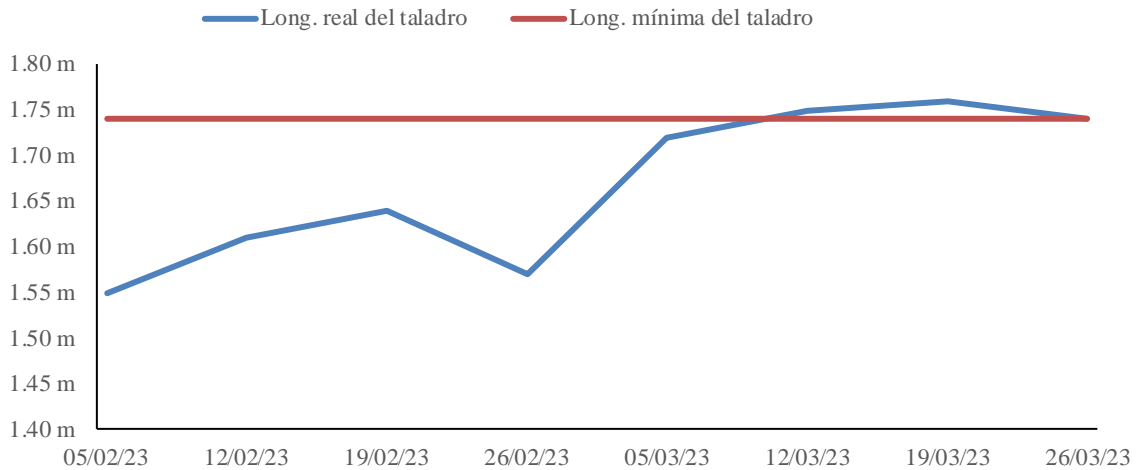
Cuadro de síntesis de cantidad de taladros y explosivo aplicado en la labor La Escondida – marzo del 2023.

Descripción de taladros	Burden Practico (m)	Espaciamiento (m)	N° Taladros		Explosivos Emulnor 5000 1" X 7"		
			Alivio	Cargados	N° Cart./Tal.	N° Cartuchos Total	Masa (Kg) / Tal.
Arranque	0,15	0,30	4	1	9	45	5,207
1° Ayuda (I C)	0,30	0,60		4	8	32	3,702
2° Ayuda (II C)	0,50	1,10		4	8	32	3,702
Ayuda de Hastiales	0,15	0,80		4	7	28	3,240
Ayuda de Corona	0,20	1,20		2	7	21	2,430
Ayuda de Arrastre	0,15	0,80		3	7	21	2,430
Hastiales	0,35	0,70		6	7	42	4,859
Corona	0,35	0,70		4	7	28	3,240
Arrastres	0,35	0,85		4	7	28	3,240
Total de tal. perforados:	36		E-5000	277	Unidades		
Total de tal. cargados:	32		Explosivo	27,02	Kg		
Total de tal. de alivio:	4		Carmex 2,10 m	32	Unidades		

Nota: Se evidencia el burden y espaciamientos obtenidos para su nuevo diseño de malla que se aplicó en esta labor La Escondida, así como los cartuchos por taladro para el disparo, al mes de marzo del año 2023.

Figura 14

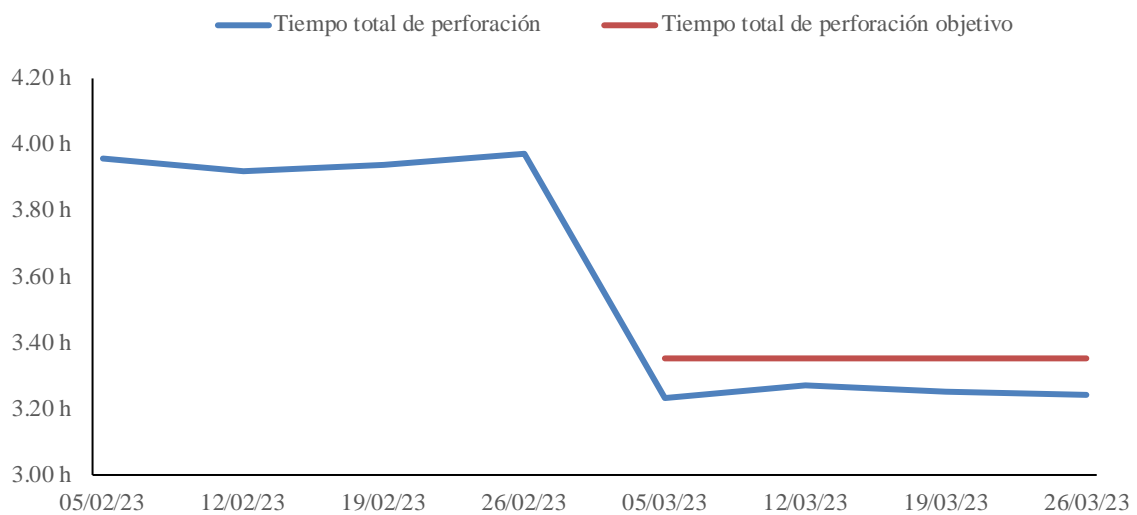
Longitud del taladro después de realizar la optimización – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes de esta longitud promedio de taladros perforados por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 15

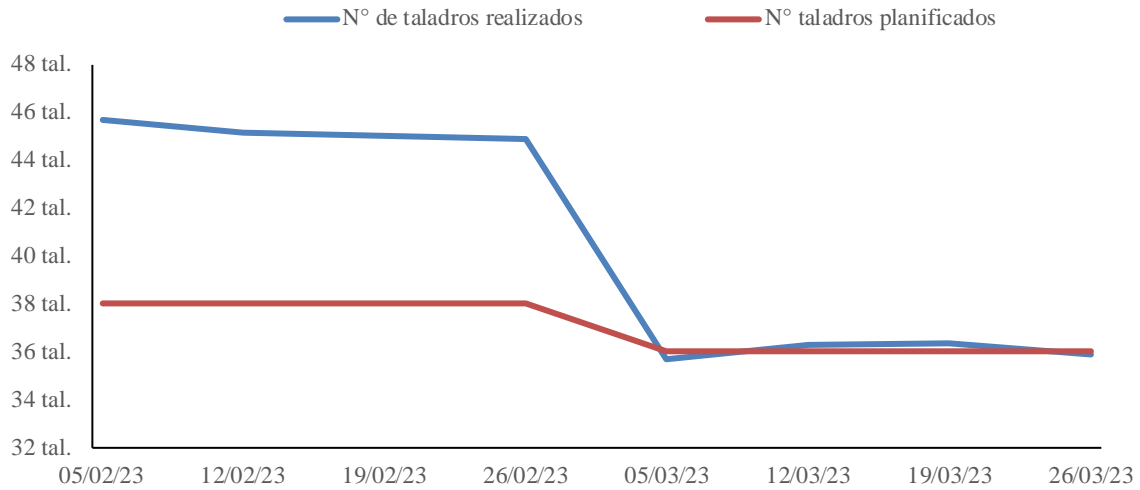
Tiempo de perforación después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes del tiempo de perforación promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 16

Cantidad de taladros perforados después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes de la cantidad para taladros promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 17

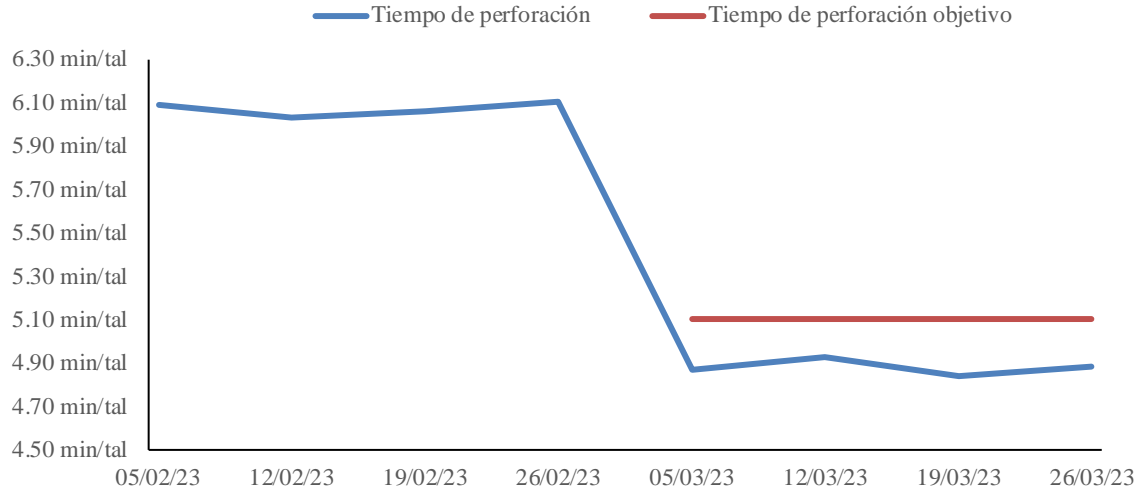
Desviación de los taladros después de realizar la optimización – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes de la desviación para taladros promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 18

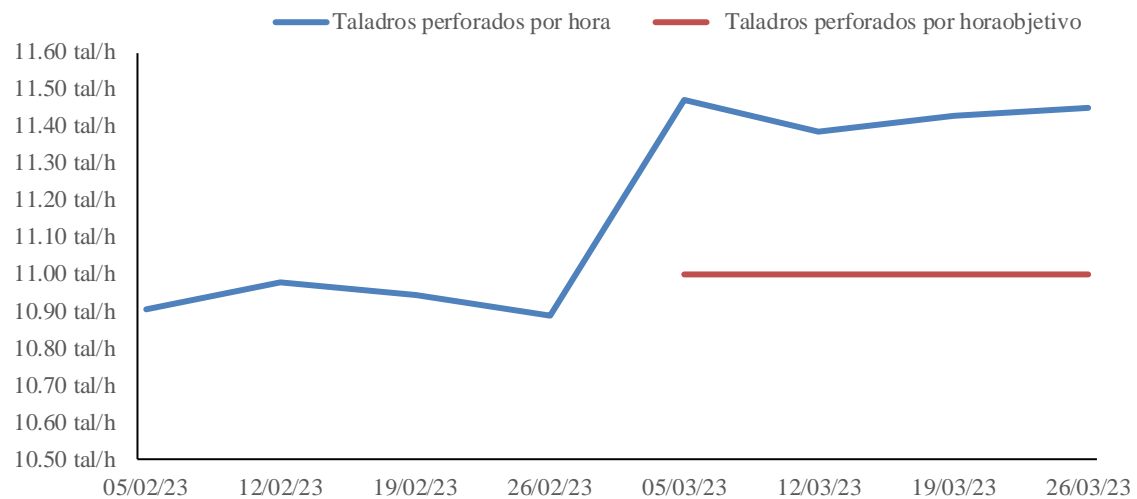
Tiempo de perforación de un taladro después de realizar la optimización. - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes del tiempo de perforación para un taladro promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 19

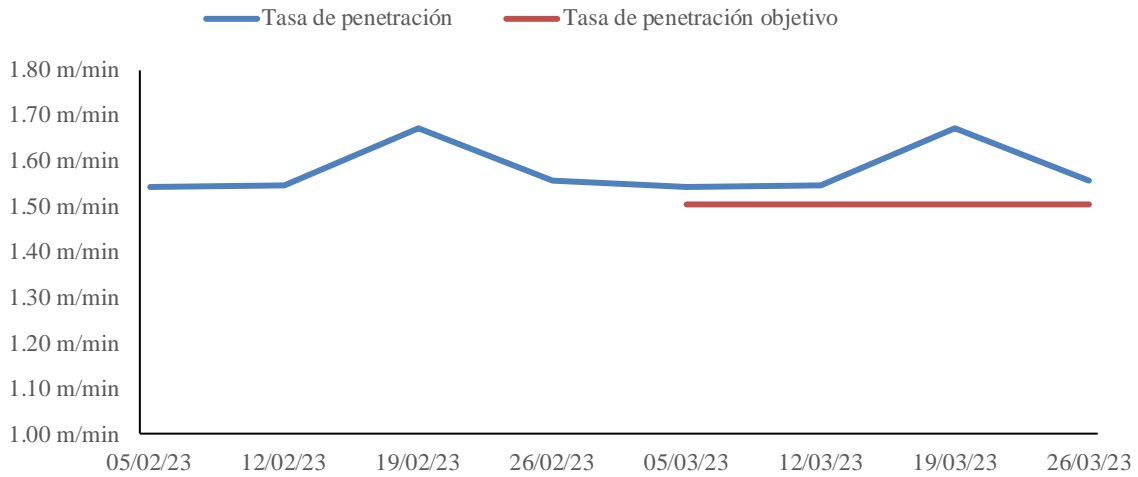
Taladros perforados por hora después de realizar la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes para taladros perforados por hora promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 20

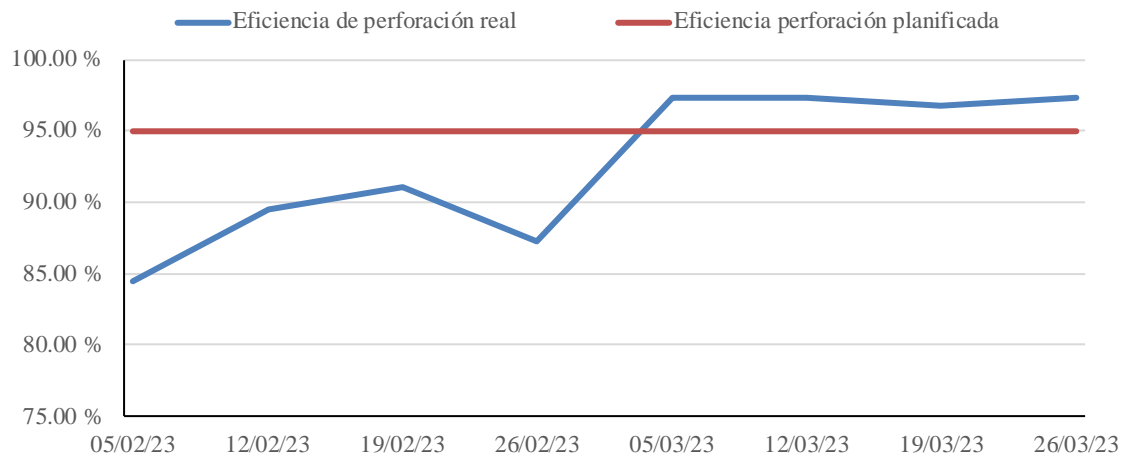
Tasa de penetración después de realizar las optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes para la tasa de perforación promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 21

Eficiencia de perforación después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.

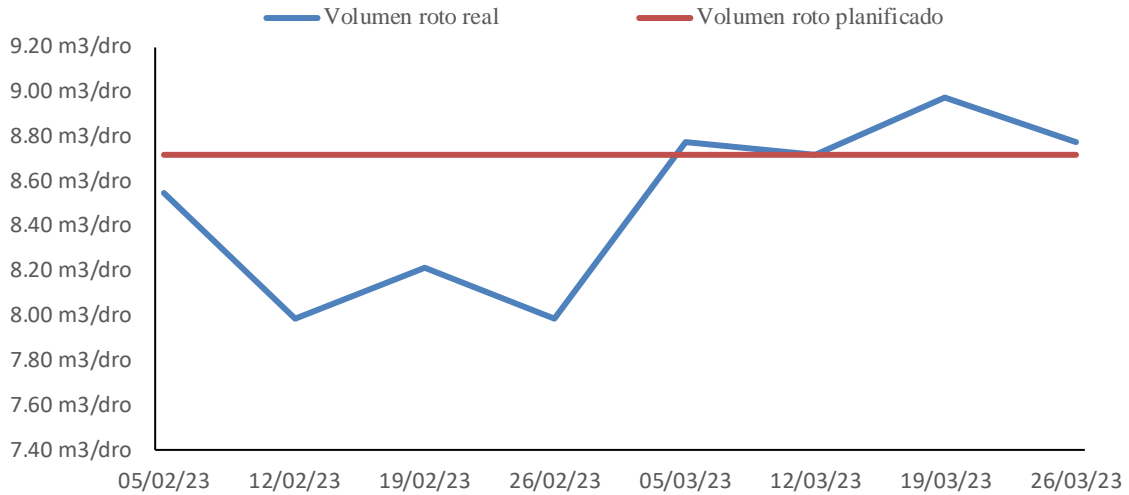


Nota: Se evidencia una comparación de reportes para la eficiencia de perforación promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

3.7. Análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) de la operación unitaria de perforación después de la optimización, en la labor La Escondida.

Figura 22

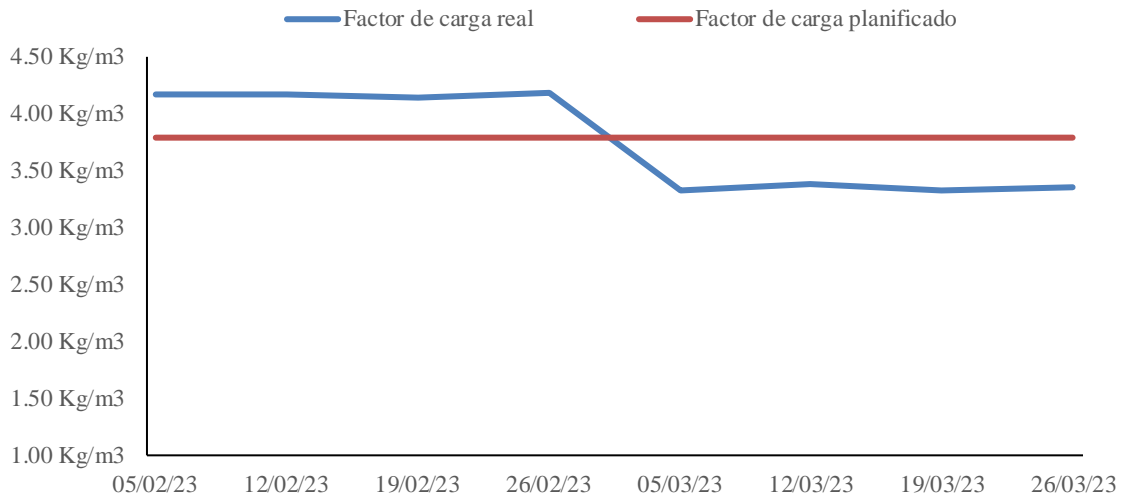
Volumen roto después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes del volumen roto promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 23

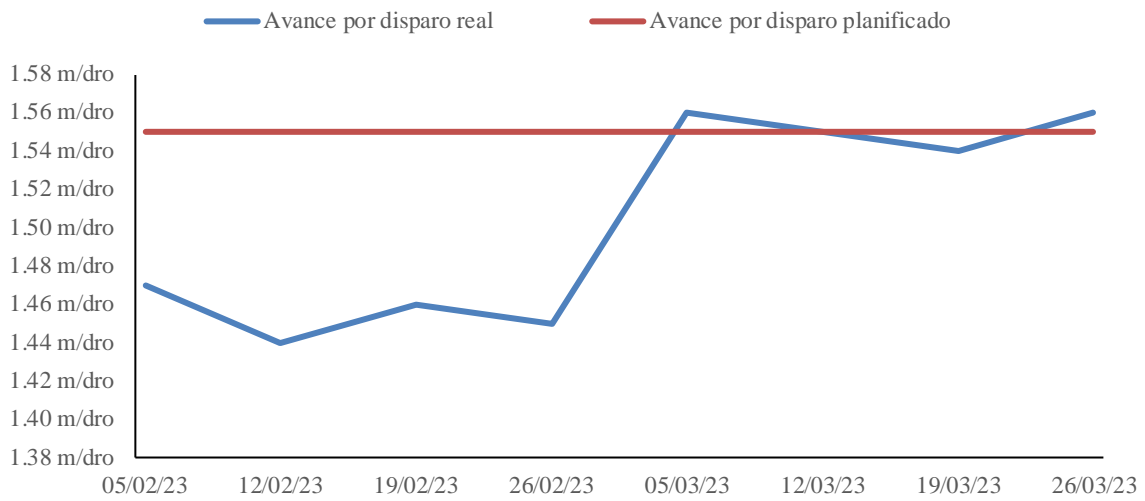
Factor de carga después de la optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes del factor de carga promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

Figura 24

Avance por disparo después de esta optimización - 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.

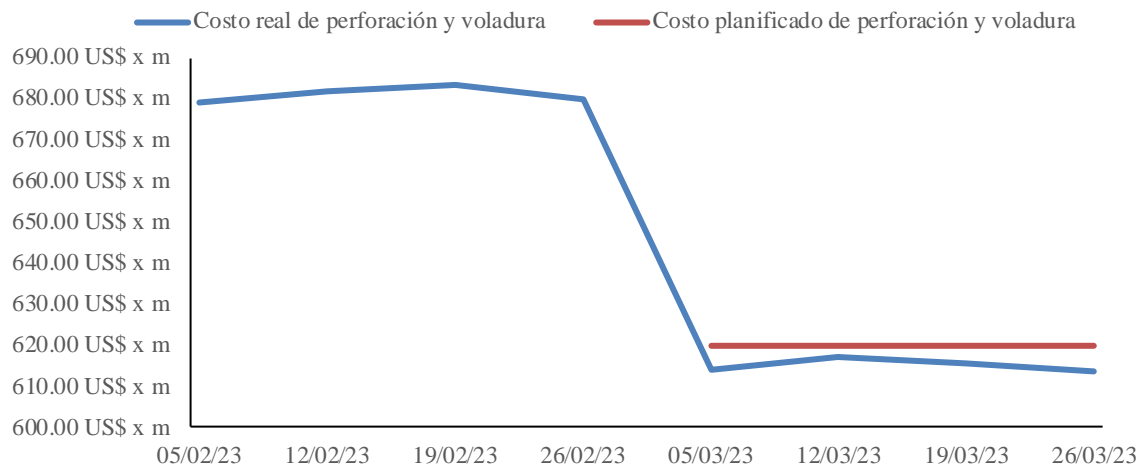


Nota: Se evidencia una comparación de reportes de avance por disparo promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

3.8. Análisis de los costos operativos en la labor La Escondida después de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura.

Figura 25

Costo de perforación y voladura – 01 de febrero al 31 de marzo del 2023.



Nota: Se evidencia una comparación de reportes de costo de perforación y voladura promedio por semana, los meses de febrero y marzo del año 2023.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Esta presente investigación mediante su optimización de indicadores clave de desempeño (KPI) con respecto a sus operaciones unitarias de perforación y voladura, se logró la reducción de 681,07 US\$/m a 615,08 US\$/m de la Unidad Operativa Frances en la labor La Escondida, confirmando lo planteado como hipótesis de investigación. Sus resultados positivos tienen el respaldo de esta investigación de (Puma, 2021) con su investigación “Optimización del proceso de perforación y voladura en mina dedicada a su extracción metálica a pequeña escala en asociación La Fortuna, Ponce Enríquez.”, que a través de esta optimización del proceso de perforación y voladura logró su reducción del costo general de perforación y voladura fue \$156,86 a \$138,80 para un frente. De igual manera (Sánchez, 2012) con respecto a su “Optimización en procesamientos de perforación y voladura en su avance de la rampa en mina Bethzabeth”, en la que a través de esta utilización de nueva malla de perforación logró un ahorro de US\$ 85,12 en cada voladura.

Esta implementación de factores de éxito para la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) con respecto a sus operaciones unitarias de perforación y voladura, han demostrado ser una estrategia efectiva para la reducción de los costos operativos. La identificación y selección cuidadosa de los indicadores clave de desempeño pertinentes en función de las necesidades y objetivos planificados han sido esenciales para lograr resultados positivos con respecto a sus KPI de perforación y voladura. Para KPI de perforación número de taladros perforados por hora se obtuvo un aumento de 10,93 a 11,43, igualmente con el KPI de tasa de penetración, el cual tuvo un aumento del 6,08%. De igual forma los KPI de voladura factor carga tuvo reducción importante de 19,61%. Los resultados mencionados se ven contrastados con la nueva propuesta de diseño de malla de perforación,

que pasa de 41 a 36 taladros perforados. Los resultados obtenidos producto de la optimización han llevado a una disminución notable de los costos operativos, mientras se mantiene la calidad y seguridad en las operaciones. Estos datos son corroborados por (Pacahuala, 2015) con su investigación “Reducción de costos operativos en desarrollos a través de su actualización de estándares en perforación y voladura, caso de esta empresa especializada Mincotrall S.R.L.”, que con estos nuevos estándares actualizados logró disminuir en 10% respecto a sus costos unitarios de perforación y voladura. También (Ortilla, 2018) en su estudio “Mejoramiento en sus parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en compañía minera Santa Luisa S.A. - Unidad Pallca”, que al diseñar una nueva malla de perforación y voladura, mejoró su factor de carga de 3,51 a 2,38 Kg/m³, originando un menor consumo de explosivo y ahorrando 15 US\$.

En cuanto al avance, con la optimización de estos indicadores clave de desempeño y su aplicación de factores éxito se obtuvo el incremento del avance por disparo de 1,46 a 1,55, logrando una efectividad del 91%. Estos datos también se ven reflejados en la investigación de (Rojas, 2021) sobre “Optimización de operación unitaria de perforación y voladura a través del uso de indicadores claves de desempeño en Compañía Minera Orco de Oro S.A.C. - Huarochirí - Lima - 2020”, estas propuestas de mejora de causas que afectan de forma negativa al proceso de perforación y voladura se logró un aumento en su avance promedio de 1,41 a 1,55 m.

Por otra parte, las implicaciones prácticas desarrolladas en la investigación es la de eficiencia mejorada debido a que la optimización de los indicadores clave de desempeño puede resultar en una ejecución más eficiente de las operaciones en perforación y voladura. Esto no solo reduce sus costos, sino que también aumenta la producción y la productividad general. Igualmente, también se ha desarrollado la mejora de procedimientos, la

implementación de estrategias para la optimización basada en los indicadores clave de desempeño con llevan la reducción de los costos operativos.

Las limitaciones identificadas en esta tesis están vinculadas a las condiciones operativas de la Unidad Operativa Frances. En primer lugar, la falta de disponibilidad tecnológica es una restricción significativa que impacta directamente en la capacidad técnica de desarrollo en las operaciones. Este obstáculo impone limitaciones notables en la eficacia y eficiencia de los procesos. Además, la resistencia al cambio por parte del personal de la mina constituye otra limitación destacada. Esta oposición ha creado dificultades sustanciales en la adopción de nuevas prácticas y la ejecución efectiva de estrategias de optimización. Estas limitaciones, aunque reconocidas y abordadas en la investigación, representan desafíos concretos que requieren una consideración cuidadosa en el diseño e implementación de soluciones propuestas.

4.2. Conclusiones

La optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) con respecto a sus operaciones unitarias en perforación y voladura reduce en 9,69% sus costos operativos en mina Unidad Operativa Frances.

Del análisis situacional con respecto a sus operaciones de perforación y voladura antes de su optimización de indicadores clave de desempeño (KPI), se concluye que este costo promedio de perforación y voladura es de US\$/m 681,07 para el mes de febrero del año 2023.

Mediante el diagnóstico de los indicadores clave de desempeño (KPI) antes de la optimización, se determinó que los principales indicadores clave de desempeño utilizados para las operaciones unitarias en perforación y voladura son el tiempo de perforación y el factor de carga.

Por otro lado, con la ejecución de la entrevista sobre propuestas de mejora en las operaciones con respecto a perforación y voladura, y su cuestionario sobre parámetros operacionales de perforación y voladura. Se identificaron las principales falencias en las operaciones las cuales son: la falta de coordinación entre el personal de operaciones mina, no existe un plan el mantenimiento preventivo, falta de disponibilidad para equipos de perforación y baja presión de aire que llega hasta la labor La Escondida.

Se implementaron las estrategias para la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) con respecto a sus operaciones en perforación y voladura, obteniendo mejores resultados en todos sus aspectos de operación.

Finalmente, la evaluación del impacto de las mejoras con respecto a sus indicadores clave de desempeño en los costos operativos determinaron que su optimización es viable, porque se adquirió la reducción de 681,07 a 615,08 US\$/m de la Unidad Operativa Frances en la labor La Escondida.

REFERENCIAS

- Babbie, E. (2016). *The practice of social research*. Canada: Cengage Learning.
- Berrosipi, V. (2019). *Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la CÍA Minera Volcan S.A.A.* Obtenido de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1778>
- Buele, J. (2017). *Optimización en los parámetros de perforación y voladura en el avance del túnel de la mina Cabo de Hornos.* Obtenido de Universidad del Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7439>
- Condori, J. (2023). *Mejoras técnicas económicas de los disparos en frentes y en taladros largos en Compañía Minera el Brocal-Colquijirca.* Obtenido de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3518/1/T026_70183138_T.pdf
- Creswell, J. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. Los Angeles: Sage Publications.
- Delgado, J. y. (2022). *Optimización de la malla de perforación y voladura para reducir los costos de operación de las unidades mineras San Juan de Arequipa-Chalhuenae de la empresa Adgeminco.* Obtenido de Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac: https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1075/T_706.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Duran, J. (2021). *Unidad operativa Huarcaya-Compañía Minera PGMerforación y voladura en el diseño y construcción de galería NV.* Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c91634c3-239b-497a-8698-d452cfe44cb7/content>
- EXSA. (2019). *Manual práctico de voladura.* Obtenido de <https://minedeskcorp.com/libro-manual-practico-de-voladura-exsa/>
- Hernandez, R. F. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill Education.
- Hillier, F. y. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. México: McGraw Hill Education.

- Jáuregui, O. (2009). *Reducción de los costos operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura*. Obtenido de Universidad Católica del Perú: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/696>
- Marr, B. (2015). *Big Data: Using big data analytics and metrics to make better decisions and improve performance*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Ortilla, G. y. (2018). *Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la compañía minera Santa Luisa S.A.-unidad Pallca*. Obtenido de Universidad Privada del Norte: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13958>
- Pacahuala, M. (2015). *Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada mincotrall S.R.L.* Obtenido de Universidad Nacional del Centro: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2179>
- Paramenter, D. (2020). *key Performance Indicators: Developing, implimenting y using wining KPis*. New Jersey: Hoboken. John Wiley & Sons.
- Poma, M. Q. (2020). Drilling and blasting mesh design for underground mining using the Holmberg method. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1152(1), 683-689. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-44267-5_103#citeas
- Puma, K. y. (2021). *Optimización del proceso de perforación y voladura en una mina dedicada a la extracción metálica a pequeña escala en la comunidad La Fortuna, Ponce Enríquez*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52305>
- Ramos, M. (2019). *Evaluación económica y ventaja cualitativa en implementación de sistemas de administración estratégica de perforación y tronadura*. Obtenido de Universidad Andrés Bello: https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/11060/a128119_Ramos_M_Evaluacion_economica_y_ventajas_cualitativas_2018_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rojas, P. (2021). *Optimización de la operación unitaria de perforación y voladura mediante el uso de indicadores claves de rendimiento en la Compañía Minera Arco de Oro S.A.C - Huarochirí-Lima-2020*. Obtenido de Universidad Continental:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10057/1/IV_FIN_110_TSP_Rojas_Segura_2021.pdf

Sánchez, Y. (2012). *Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth*. Obtenido de Universidad Central de Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/217>

Saucedo, G. y. (2022). *Diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura para optimizar los costos en una unidad minera de La Libertad-2021*. Obtenido de Universidad Privada del Norte: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31044/Saucedo%20Linares%20Gilmer%20Andres%20-%20Zegarra%20Chavez%20Romel%20Andy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN MINA MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI) DE LAS OPERACIONES UNITARIAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuál es el impacto de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) en las operaciones de perforación y voladura en la reducción de los costos operativos en la mina Unidad Operativa Frances de Pataz-Pataz-La Libertad?	La optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura reduce significativamente los costos operacionales.	Reducir los costos operativos en mina a través de la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura en la mina Unidad Operativa Frances de Pataz-Pataz-La Libertad	Costos operativos	Tipo de investigación: Descriptiva Diseño de investigación: Experimental de tipo transversal	Operaciones unitarias de la mina Unidad Operativa Frances
		OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE 2	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	MUESTRA
		<ul style="list-style-type: none"> - Analizar los costos operativos actuales en las operaciones de perforación y voladura. - Identificar indicadores clave de desempeño (KPI) actuales utilizados y evaluar su efectividad para medir el rendimiento. - Identificar las áreas de mejora en las operaciones de perforación y voladura. - Desarrollar nuevos indicadores clave de desempeño (KPI) e implementar las estrategias de optimización de los mismos. - Medir y evaluar el impacto de las mejoras en los indicadores clave de rendimiento en los costos operativos. 	Optimización de los indicadores clave de desempeño	Técnicas: - Análisis documental - Entrevistas - Encuestas - Observación directa Instrumentos: - Ficha de registro - Cuadros de análisis - Software Excel - Guías de entrevistas - Cuestionarios estructurados	Operaciones unitarias de perforación y voladura

ANEXO 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: REDUCCIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS EN MINA MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI) DE LAS OPERACIONES UNITARIAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
VARIABLE 1: Costos operativos	Son aquellos costos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente relacionados a la producción (Pacahuala, 2015)	Los costos operativos se refieren a todos los gastos directamente relacionados con las operaciones de perforación y voladura en la mina.	<ul style="list-style-type: none"> - Perforación - Voladura - Rendimiento - Estrategias 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía - Mano de obra - Factor de carga 	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de registro - Cuadros de análisis - Software Excel
VARIABLE 2: Optimización de los indicadores clave de desempeño	Los indicadores clave de rendimiento se centran en los aspectos de desempeño organizacional que son los más críticos para el éxito actual y futuro de la organización (Paramenter, 2020)	Optimización de los indicadores clave de desempeño se refiere a los procesos y estrategias implementadas para mejorar y maximizar el rendimiento de los indicadores clave de desempeño relacionados con las operaciones de perforación y voladura.	<ul style="list-style-type: none"> - Perforación - Voladura - Rendimientos 	<ul style="list-style-type: none"> - N° de taladros perforados. - Tiempo de perforación. - Factor de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de registro - Cuadro de análisis - Software Excel - Guías de entrevistas - Cuestionarios estructurados.

ANEXO 03: REPORTE DE PERFORACIÓN

REPORTE DE PERFORACIÓN												
FECHA		TURNO				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">TIEMPO DE PERFORACIÓN</td> <td style="width: 50%;">HORA INICIO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>HORA FIN</td> </tr> </table>	TIEMPO DE PERFORACIÓN	HORA INICIO		HORA FIN		
TIEMPO DE PERFORACIÓN	HORA INICIO											
	HORA FIN											
PERFORADORA		CÓDIGO INTERNO		OBSERVACIONES								
CONTRATA			PERFORISTA		AYUDANTE PERFORISTA							
LABOR	TIPO DE VOLADURA	N° TALADROS	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD PLANEADA (m)	LONGITUD REAL (m)	DESVIACIÓN (cm)	AVANCE REAL	CONDICIONES OPERATIVAS				

SUPERVISOR

PERFORISTA

REPORTE DE PERFORACIÓN								
FECHA				TURNO			TIEMPO DE PERFORACIÓN	HORA INICIO HORA FIN
PERFORADORA				CÓDIGO INTERNO			OBSERVACIONES	
CONTRATA				PERFORISTA			AYUDANTE PERFORISTA	
LABOR	TIPO DE VOLADURA	N° TALADROS	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD PLANEADA (m)	LONGITUD REAL (m)	DESVIACIÓN (cm)	AVANCE REAL	CONDICIONES OPERATIVAS

VICTOR NOR RUIZ RODRIGUEZ
INGENIERO DE MINAS
Reg. CIP N° 61302

SUPERVISOR

PERFORISTA

ANEXO 04: REPORTE DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS DE VOLADUARA.


INSTRUMENTO N°1				
CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA				
FECHA		TURNO		
CONTRATA		LABOR		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RETORNO
1	EMULNOR 3000 1" x 7"			
2	EMULNOR 5000 1" x 7"			
3	EMULEX 80			
4	EMULEX 100			
5	CARMEX 2,10 m			
6	CARMEX 1,80 m			
8	MECHA RÁPIDA			

SUPERVISOR

ENCARGADO DE
POLVORIN

PERFORISTA

CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA				
FECHA		TURNO		
CONTRATA		LABOR		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RETORNO
1	EMULNOR 3000 1" x 7"			
2	EMULNOR 5000 1" x 7"			
3	EMULEX 80			
4	EMULEX 100			
5	CARMEX 2,10 m			
6	CARMEX 1,80 m			
8	MECHA RÁPIDA			


VICTOR NOR RUIZ RODRÍGUEZ
INGENIERO DE MINAS
Reg. CIP N° 81392

ENCARGADO DE POLVORIN

PERFORISTA


ANEXO 05: CUESTIONARIO SOBRE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA UNIDAD OPERATIVA FRANCES

CUESTIONARIO SOBRE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA UNIDAD OPERATIVA FRANCES

FECHA:

NOMBRE DEL ENTREVISTADO:

1. ¿Cuánto tiempo tienes trabajando en la Mina Frances?
.....
2. ¿Cuál es tu rol o posición en la Mina Frances?
.....
3. ¿Cuánto tiempo tienes de experiencia en este puesto?
.....
4. ¿Cuáles son las dificultades que se presentan en las operaciones que te impiden desarrollar correctamente tus labores?
.....
.....
.....
5. ¿Cuáles consideras son las áreas o lugares donde se debe realizar mejoras con el fin de mejorar las operaciones?
.....
.....
.....


VICTOR NOR RIVAS ROSALES
INGENIERO DE MINAS
Reg. C.P. N° 81303

ANEXO 06: ENTREVISTA SOBRE IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE MEJORA Y BUENAS PRACTICAS OPERATIVAS.

ENTREVISTA SOBRE IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE MEJORA Y BUENAS PRACTICAS OPERATIVAS

FECHA:

NOMBRE DEL ENTREVISTADO:

1. ¿Cuáles consideras son las áreas o lugares donde se debe realizar mejoras con el fin de mejorar las operaciones?
2. ¿Qué obstáculos o desafíos encuentras en tu lugar de trabajo que te dificultan realizar una correcta perforación o voladura?
3. ¿Crees que existe una comunicación efectiva entre la supervisión y la parte operativa?


VICTOR NORBERTO RODRIGUEZ ALCALDE
INGENIERO DE MINAS
R.M. CIP N° 51392

ANEXO 06: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN CON EL MÉTODO DE HOLMBERG

Diseño de malla de perforación aplicando el método de Holmberg.

- Cálculo del área de la sección

$$\text{Área}(S) = \left(\frac{\pi \times r^2}{2} \right) + (r \times (A - (2 \times r))) + (A \times (H - r))$$

$$\begin{aligned} \text{Área}(S) &= \left(\frac{\pi \times 0,45^2}{2} \right) + (0,45 \times (3,00 - (2 \times 0,45))) \\ &+ (3,00 \times (2,5 - 0,45)) \end{aligned}$$

$$\text{Área}(S) = 7,56 \text{ m}^2$$

- Cálculo del perímetro

$$P = (\pi \times r) + 2(H - r) + 2(A - r)$$

$$P = (\pi \times 0,45) + 2(2,5 - 0,45) + 2(2,5 - 0,45)$$

$$P = 15,81 \text{ m}$$

- Cálculo del diámetro equivalente de los taladros de alivio (ϕ_{equi})

$$\phi_2 = \text{Diámetro de broca rimadora} = 0,064 \text{ m}$$

$$\phi_{equi} = \phi_2 \times \sqrt{NT_{alivio}}$$

$$\phi_{equi} = 0,064 \times \sqrt{4}$$

$$\phi_{equi} = 0,128 \text{ m}$$

- Calculamos longitud de taladro. Según diámetro equivalente ϕ_{equi}

$$L_t = 0,15 + 34,1(\phi_{equi}) - 39,4(\phi_{equi}^2)$$

$$L_t = 0,15 + 34,1(0,128) - 39,4(0,128^2)$$

$$L = 3,87 \text{ m}$$

- Calculamos longitud de avance requerido por disparo "L"

$$L = 0,95 \times l_{barreno}$$

$$L = 0,95 \times 6'$$

$$L = 5,7' = 1,74 \text{ m}$$

- Calculamos error de perforación " ψ "

α = Desviación Angular

E = Error de emboquillamiento

$$\begin{aligned}\psi &= (\alpha \times L) + E \\ \psi &= (0,01 \times 1,74) + 0,02 \\ \psi &= 0,037\end{aligned}$$

- Cálculo de consumo específico de explosivos “C.E.” formula modificada de Ashby:

$$C.E. = \frac{0,56 \times \rho_r \times TAN\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3,3}}}$$

Para realizar el cálculo asumiremos a nuestro criterio los siguientes valores:

$$\rho_{roca} = 2,75 \text{ Ton}/m^3$$

$$GSI = 60$$

$$RQD = 67$$

$$\begin{aligned}C.E. &= \frac{0,56 \times 2,75_r \times TAN\left(\frac{55 + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - 55}{3,3}}} \\ C.E. &= 0,34 \text{ kg}/m^3\end{aligned}$$

- Calculamos la constante de roca "C" sueco por la siguiente formula

$$\begin{aligned}C &= 0,8784(C.E.) + 0,052 \\ C &= 0,8784(0,48) + 0,052 \\ C &= 0,30 \text{ kg}/m^3\end{aligned}$$

Cálculo del diseño de arranque

- Cálculo de la densidad de carga "q"

$$q = D_e \times \frac{\pi \times \phi_e^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 1,16 \times \frac{\pi \times (0,0254)^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 0,59 \text{ Kg/m}$$

- Cálculo del burden máximo “ $B_{e \text{ Max}}$ ”

$$B_{e \text{ Max}} = \frac{\pi \times \phi_{\text{equi}}}{2}$$

$$B_{e \text{ Max}} = \frac{\pi \times 0,128}{2}$$

$$B_{e \text{ Max}} = 0,20 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico “ B_p ”

$$B_p = B_{e \text{ Max}} - \psi - 0,04$$

$$B_p = 0,2 - 0,037 - 0,04$$

$$B_p = 0,12 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de abertura “ A_{h0} ”

$$A_{h0} = \frac{\phi_1}{1000} + \frac{\phi_2}{1000} + 2 \times B_p$$

$$A_{h0} = \frac{36}{1000} + \frac{64}{1000} + 2 \times 0,12$$

$$A_{h0} = 0,35 \text{ m}$$

- Cálculo del número de cartuchos por taladro

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = \frac{L - (0,5 \times B_{e \text{ Max}})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = \frac{1,74 - (0,5 \times 0,20)}{0,3048}$$

$$N(c./tal) = 5 \text{ c./tal}$$

Cálculo del primer cuadrante

- Cálculo de burden “ $B_{\text{max}1}$ ” en el primer cuadrante

$$B_{\text{max}1} = 0,088 \times \left(\sqrt{\frac{A_{h0} \times q_0 \times RWS_{ANFO}}{\phi_1 \times C}} \right)$$

$$B_{max1} = 0,088 \times \left(\sqrt{\frac{0,35 \times 0,59 \times 1,12}{0,036 \times 0,3}} \right)$$

$$B_{max1} = 0.40 \text{ m}$$

- Cálculo de burden " B_{p1} " en el primer cuadrante

$$B_{p1} = (B_{max1} - \psi) - 0.1$$

$$B_{p1} = (0,40 - 0,037) - 0,1$$

$$B_{p1} = 0,27 \text{ m}$$

- Calculamos longitud de X_a y X_b

$$X_a = X_b = \text{Sen}(45) * \left(\frac{\phi_2}{2} + B_p \right) + B_{p1}$$

$$X_a = X_b = \text{Sen}(46) \times \left(\frac{0,128}{2} + 0,12 \right) + 0,27$$

$$X_a = X_b = 0,40 \text{ m}$$

- Cálculo de ancho de abertura del primer cuadrante

$$A_{h1} = \sqrt{X_i^2 + X_j^2}$$

$$A_{h1} = \sqrt{0,40^2 + 0,40^2}$$

$$A_{h1} = 0,57 \text{ m}$$

- Cálculo de densidad de carga en el primer cuadrante

$$q = D_e \times \frac{\pi \times \phi_e^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 1,16 \times \frac{\pi \times (0,0254)^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 0,59 \text{ Kg/m}$$

- Cálculo del número de cartuchos por taladro en el primer cuadrante

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = \frac{L - (0,5 \times B_{p1})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = \frac{1,74 - (0,5 \times 0,40)}{0,203}$$

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = 7,6 \text{ c./tal}$$

Cálculo del segundo cuadrante

- Cálculo de burden " B_{max2} " en el segundo cuadrante

$$B_{max2} = 0.088 \times \left(\sqrt{\frac{A_{h1} \times q_0 \times RWS_{ANFO}}{\phi_1 \times C}} \right)$$

$$B_{max2} = 0.088 \times \left(\sqrt{\frac{0.57 \times 0.59 \times 1.12}{0.036 \times 0.3}} \right)$$

$$B_{max2} = 0.52 \text{ m}$$

- Cálculo de burden " B_{p2} " en el segundo cuadrante

$$B_{p2} = (B_{max2} - \psi)$$

$$B_{p2} = (0,52 - 0,037)$$

$$B_{p2} = 0,48 \text{ m}$$

- Calculamos longitud de X_c y X_d

$$X_i = X_j = \left(\frac{A_{h1}}{2} \right) + B_{p2}$$

$$X_c = X_d = \left(\frac{0,57}{2} \right) + 0,48$$

$$X_i = X_j = 0,76 \text{ m}$$

- Cálculo de ancho de abertura del segundo cuadrante

$$A_{h2} = \sqrt{X_c^2 + X_d^2}$$

$$A_{h2} = \sqrt{0,76^2 + 0,76^2}$$

$$A_{h2} = 1,08 \text{ m}$$

- Cálculo de densidad de carga en el segundo cuadrante

$$q = D_e \times \frac{\pi \times \phi_e^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 1,16 \times \frac{\pi \times (0,0254)^2}{4} \times 10^{-6}$$

$$q = 0,59 \text{ Kg/m}$$

- Cálculo del número de cartuchos por taladro en el segundo cuadrante

“Reducción de los costos operativos en mina mediante la optimización de los indicadores clave de desempeño (KPI) de las operaciones unitarias de perforación y voladura”

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = \frac{L - (0,5 \times B_{p2})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = \frac{1,74 - (0,5 \times 0,48)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 7,3 \text{ c./tal}$$

Área de tajeo (Stopping Section), taladros de ayuda de hastiales

Cálculo para las ayudas la Constante de roca "c" corregida

$$C = c + 0,04 \text{ para burden} \geq 1.4 \text{ m}$$

$$C = c + \frac{0,07}{B} \text{ para burden} < 1.4 \text{ m}$$

Replanteo del burden

$$B \leq 0,6 \times L$$

$$B \leq 0,6 \times 1,74$$

$$B \leq 1,044 \text{ m}$$

Reemplazando

$$C = c + \frac{0,07}{1,044}$$

$$C = 0,37 \text{ Kg/m}^3$$

- Cálculo de burden máximo para taladros de ayuda de hastiales

$$B_{\text{max. hast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q_0 \times RWS_{ANFO}}{C' \times f \times \frac{S}{B}}}$$

f = Factor de fijación

S/B = Relación espaciamiento y burden para tajeo horizontal

Constante y/o valores de fijación		
Dirección de salida de los taladros	Factor de fijación	Relación S/B
Hacia arriba y horizontalmente	1,45	1,25
Hacia abajo	1.2	1.25

Fuente: Manual de Voladura ENAEX

$$B_{max. \text{ hast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{0,59 \times 1,12}{0,37 \times 1,45 \times 1,25}}$$

$$B_{max. \text{ hast.}} = 0,89 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico con respecto a la sección del túnel

$$B_{p \text{ hast.}} = \frac{A_t - A_{h2}}{4}$$

$$B_{p \text{ hast.}} = \frac{3,00 - 1,08}{4}$$

$$B_{p \text{ hast.}} = 0,48 \text{ m}$$

- Cálculo del N° de taladros para ayuda de hastiales

$$N^\circ_{\text{hast.}} = \left(\frac{A_t - A_{h2}}{S/B} \right) + 2$$

$$N^\circ_{\text{hast.}} = \left(\frac{3,00 - 1,08}{1,25} \right) + 2$$

$$N^\circ_{\text{hast.}} = 3,53 \approx 4$$

- Cálculo de espaciamiento de taladros en ayuda de hastiales

$$S_{\text{hast.}} = \frac{A_{h2}}{N^\circ_{\text{hast.}} - 2}$$

$$S_{\text{hast.}} = \frac{1,08}{4 - 2}$$

$$S_{\text{hast.}} = 0,54$$

- Cálculo de ancho de abertura de ayuda de hastiales

$$A_{h \text{ hast.}} = A_{h2} + (2B_{p \text{ hast.}} \times S_{\text{hast.}})$$

$$A_{h \text{ hast.}} = 1,08 + (2(0,48) \times 0,54)$$

$$A_{h \text{ hast.}} = 1,84 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de ayuda de hastiales

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{\text{max. hast.}})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 0,89)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 6,4 \text{ c./tal.}$$

Área de tajeo (Stopping Section), taladros de ayuda de corona

- Cálculo de burden máximo para taladros de ayuda de corona.

$$B_{\text{max. cor.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q_0 \times RWS_{ANFO}}{C' \times f \times \frac{S}{B}}}$$

$$B_{\text{max. cor.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{0,59 \times 1,12}{0,37 \times 1,20 \times 1,25}}$$

$$B_{\text{max. cor.}} = 0,98 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico para taladros de ayuda de corona

$$B_{P \text{ cor.}} = 0,51 \times 0,64 \times (H - A_{h2})$$

$$B_{P \text{ cor.}} = 0,51 \times 0,64 \times (3,00 - 1,08)$$

$$B_{P \text{ cor.}} = 0,48 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud del segmento de los taladros de ayuda de corona

$$L_{\text{seg. cor.}} = 0,6533 \times A_t$$

$$L_{\text{seg. cor.}} = 0,6533 \times 3,00$$

$$L_{\text{seg. cor.}} = 1,96 \text{ m}$$

- Cálculo de espaciamiento de taladros en ayuda de corona

$$S_{\text{cor.}} = 0,3333 \times L_{\text{seg. cor.}}$$

$$S_{\text{cor.}} = 0,3333 \times 1,96$$

$$S_{\text{cor.}} = 0,65 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de taladros para ayuda de corona

$$N^{\circ}_{\text{cor.}} = \left(\frac{L_{\text{cor.}}}{S/B} \right) + 2$$

$$N^{\circ}_{cor.} = \left(\frac{1,96}{1,25} \right) + 2$$

$$N^{\circ}_{cor.} = 3,56 = 4 \text{ unidades}$$

- Cálculo de ancho de abertura de ayuda de corona

$$A_{h \text{ cor.}} = L_{seg. \text{ cor.}}$$

$$A_{h \text{ cor.}} = 1,96 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de ayuda de corona

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{max. \text{ cor.}})}{long. \text{ cartucho}}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 0,46)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 6,1 \text{ c./tal.}$$

Área de tajeo (Stoping Section), taladros de ayuda arrastre

- Cálculo de burden máximo para taladros de ayuda de arrastre

$$B_{max. \text{ arrast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q_0 \times RWS_{ANFO}}{C' \times f \times \frac{S}{B}}}$$

$$B_{max. \text{ arrast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{0,59 \times 1,12}{0,37 \times 1,45 \times 1,25}}$$

$$B_{max. \text{ arrast.}} = 0,89 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico para taladros de ayuda de arrastre

$$B_p \text{ arrast.} = \frac{0,36 \times (H - A_{h2})}{2}$$

$$B_p \text{ arrast.} = \frac{0,36 \times (2,5 - 1,08)}{2}$$

$$B_p \text{ arrast.} = 0,27$$

- Cálculo de la longitud del segmento. para los taladros de ayuda de arrastre

$$L_{seg. \text{ arrast.}} = 0,72 \times A_t$$

$$L_{seg. \text{ arrast.}} = 0,72 \times 3,00$$

$$L_{seg. \text{ arrast.}} = 2,16 \text{ m}$$

- Cálculo de espaciamiento de taladros en ayuda de arrastre

$$S_{arrast.} = 0,3333 \times L_{seg. arrast.}$$

$$S_{arrast.} = 0,3333 \times 2,16$$

$$S_{arrast.} = 0,72 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de taladros para ayuda de arrastre

$$N^{\circ} arrast. = \left(\frac{L_{seg. arrast.}}{S/B} \right) + 2$$

$$N^{\circ} arrast. = \left(\frac{2,16}{1,25} \right) + 2$$

$$N^{\circ} arrast. = 3,7 \approx 4 \text{ unidades}$$

- Cálculo de ancho de abertura de ayuda de arrastre

$$A_h arrast. = L_{seg. arrast.}$$

$$A_h arrast. = 2,16 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de ayuda de arrastre

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{max. arras..})}{long. cartucho}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 0,89)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 6,4 \text{ c./tal.}$$

Cálculos para taladros de hastiales

- Cálculo de burden máximo para taladros de hastiales

$$B_{m. hast.} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q_0 \times RWS_{ANFO}}{C' \times f \times \frac{S}{B}}}$$

$$B_{m. hast..} = 0,9 \times \sqrt{\frac{0,59 \times 1,12}{0,37 \times 1,45 \times 1,25}}$$

$$B_{m. hast.} = 0,89 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico para taladros de hastiales

$$B_{p \text{ hastiales.}} = \frac{0,2755 \times A_t}{2}$$

$$B_{p \text{ hastiales.}} = \frac{0,2755 \times 2,5}{2}$$

$$B_{p \text{ hastiales.}} = 0,41m$$

- Cálculo de la altura disponible donde se ubicará los taladros hastiales

$$H_{disp. \text{ hast.}} = H_t - r$$

$$H_{disp. \text{ hast.}} = 3,00 - 0,45$$

$$H_{disp. \text{ hast.}} = 2,55 m$$

- Cálculo de espaciamiento de taladros en los hastiales

$$S_{tal. \text{ hast.}} = 0,3345 \times H_{disp. \text{ hast.}}$$

$$S_{tal. \text{ hast.}} = 0,3345 \times 2,55$$

$$S_{tal. \text{ hast.}} = 0,70$$

- Cálculo de N° de taladros para los hastiales

$$N^{\circ} \text{ tal. hast.} = \left(\frac{H_{disp. \text{ hast.}}}{S/B} \right) + 2$$

$$N^{\circ} \text{ tal. hast.} = \left(\frac{2,05}{1,25} \right) + 2$$

$$N^{\circ} \text{ tal. hast.} = 3,68 \approx 4 \text{ unidades}$$

- Cálculo de ancho de abertura para los hastiales

$$A_h \text{ hast.} = H_{disp. \text{ hast.}}$$

$$A_h \text{ hast.} = 2,55 m$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de los hastiales

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{m. \text{ hast.}})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 0,89)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 6,4 \text{ c./tal.}$$

Cálculos para taladros de corona

- Cálculo de espaciamiento en taladros de corona

$$S_{corana} = K \times \phi_1$$

K = Constante que toma valores entre {15, 16}

$$S_{corana} = 15 \times 0,036$$

$$S_{corana} = 0,54 \text{ m}$$

- Cálculo de burden máximo para taladros de corona.

Cuando se realiza voladura controlada es calculado por la siguiente relación de espaciamiento y burden ($s/b = 0,80$)

$$\frac{S}{B} = 0,80$$

$$B_{m.cor.} = \frac{S}{0,8}$$

$$B_{m.cor.} = \frac{0,54}{0,8}$$

$$B_{m.cor.} = 0,68 \text{ m}$$

- Cálculo de burden práctico para taladros de corona

$$B_{p.cor.} = B_{m.cor.} - L \times \text{seno } \gamma - \psi$$

γ = Angulo de los taladros de contorno

$$B_{p.cor.} = 0,68 - 1,74 \times \text{seno } (3^\circ) - 0,05$$

$$B_{p.cor.} = 0,68 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de taladros para la corona

$$N^\circ_{tal. cor.} = \left(\frac{A_t}{B_{m. cor.} \times S/B} \right) + 2$$

$$N^\circ_{tal. cor.} = \left(\frac{2,5}{0,68 \times 0,8} \right) + 2$$

$$N^\circ_{tal. cor.} = 7,6 \approx \text{unidades}$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de la corona

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{m. cor.})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 0,68)}{0,203}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos por taladro} = 6,9 \text{ c./tal.}$$

Cálculos para taladros de piso

Para los taladros de piso o arrastres considera los siguientes datos de factor de fijación y relación de burden y espaciamiento con sus valores respectivos:

$$F = 1,45$$

$$S/B = 1$$

- Cálculo de burden máximo para taladros de arrastre o piso.

$$B_{m. \text{ arrast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q_0 \times RWS_{ANFO}}{C' \times f \times \frac{S}{B}}}$$

$$B_{m. \text{ arrast.}} = 0,9 \times \sqrt{\frac{0,59 \times 1.12}{0,37 \times 1,45 \times 1}}$$

$$B_{m. \text{ arrast.}} = 1,00 \text{ m}$$

- Cálculo del burden práctico para taladros de arrastre o piso

$$B_p \text{ arrast.} = B_{mas \text{ arrast.}} - L \times \text{seno } \gamma - \psi$$

$$B_p \text{ arrast.} = 1,00 - 1,74 \times \text{seno } (3^{\circ}) - 0,05$$

$$B_p \text{ arrast.} = 0,87 \text{ m}$$

- Cálculo de N° de taladros en arrastre o piso

$$N^{\circ} \text{ tal. arrast.} = \left(\frac{A_t + 2L \times \text{seno}(\gamma)}{B_{\max \text{ arrast.}} \times S/B} \right) + 2$$

$$N^{\circ} \text{ tal. arrast.} = \left(\frac{2,5 + 2(1,74) \times \text{seno}(3^{\circ})}{1 \times 1} \right) + 2$$

$$N^{\circ} \text{ tal. arrast.} = 5,1 \approx 5 \text{ unidades}$$

- Cálculo de espaciamiento para taladros (centrales) de arrastre

$$S_{\text{tal. arrast}} = \frac{A_t + 2 \times L \times \text{seno}(\gamma)}{N^{\circ} \text{ tal. arrast.} - 1}$$

$$S_{\text{tal. arrast}} = \frac{3,00 + 2 \times 1,73 \times \text{seno}(3^{\circ})}{4 - 1}$$

$$S_{tal. arrast} = 1,59 m$$

- Cálculo de espaciamiento para taladros (esquinas) de arrastre

$$S_{tal. arrast. esq.} = 0,97 - (A_t \times \text{seno}(\gamma))$$

$$S_{tal. arrast. esq.} = 0,97 - (2,5 \times \text{seno}(3^\circ))$$

$$S_{tal. arrast. esq.} = 0,81 m$$

- Cálculo de ancho de abertura de los taladros de arrastre

$$A_{h arrast} = A_t$$

$$A_{h arrast} = 3,00$$

- Cálculo de N° de cartuchos de explosivo por taladro de la corona

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = L - \frac{(0,5 \times B_{m. arras.})}{\text{long. cartucho}}$$

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = 1,74 - \frac{(0,5 \times 1,00)}{0,203}$$

$$N^\circ \text{ cartuchos por taladro} = 6,1$$