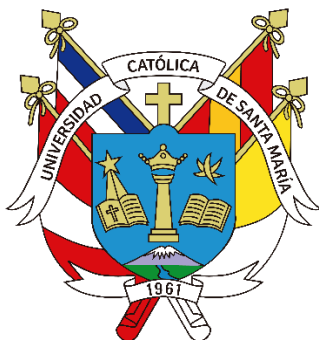


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**Aplicación del modelo de áreas de influencia para mejorar el avance en los
frentes de una mina subterránea**

Tesis presentada por la Bachiller:

Salas Chavez, Ashley Patricia

ORCID: 0009-0005-9683-7183

para optar el Título Profesional de Ingeniera de Minas

Asesor:

Mg. Paredes Salas, Omar Willy

ORCID: 0009-0000-9860-6630

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 18 de Abril del 2024

Dictamen: 008845-C-EPIM-2024

Visto el borrador del expediente 008845, presentado por:

2015801532 - SALAS CHAVEZ ASHLEY PATRICIA

Titulado:

**APLICACIÓN DEL MODELO DE ÁREAS DE INFLUENCIA PARA MEJORAR EL AVANCE EN LOS
FRENTE DE UNA MINA SUBTERRÁNEA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**01231603 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR
DICTAMINADOR**



**40859499 - BERNEDO TITO EDWIN JOSE
DICTAMINADOR**



Aplicación del modelo de áreas de influencia para mejorar el avance en los frentes de una mina subterránea

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	edoc.pub Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

*Dedico este trabajo a mi madre Patricia Chavez Astete por ser el más grande ejemplo de superación
ante cualquier eventualidad.*

*A mi padre Roberth Salas Apaza por enseñarme desde muy pequeña el valor de la responsabilidad y a
luchar por mis sueños.*

*Ambos son mi soporte en la vida y en el ámbito profesional, sin ellos no hubiera sido posible este gran
logro en mi vida, el cual he añorado desde siempre.*



Agradecimiento

Agradecida con Dios por guiarme en este largo camino, por brindarme salud y bienestar en estos años de estudio.

Agradezco a mis padres por ser el soporte incondicional en mi vida personal y profesional.

Agradezco a mis docentes por compartir sus conocimientos, experiencias y exigencias en esta prestigiosa carrera de Ingeniería de Minas.

Finalmente, agradezco a todos los compañeros de estudio que estuvieron presentes a lo largo de estos años de carrera.



RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal aplicar el modelo de áreas de influencia para mejorar el avance y reducir costos en las labores en estudio mediante la implementación dos mallas de perforación en la unidad minera subterránea de la provincia de Tacna.

En la primera etapa se realizó una recolección histórica de datos para establecer una línea base e identificar las falencias de los avances que se dan a diario en las labores del SN728 y el CX033, las cuales se encuentran fuera del objetivo del KPI de la Mina Morritos.

En la segunda etapa se determinó los parámetros geomecánicos, error de perforación, el factor de seguridad, de carguío y acoplamiento necesarios para el cálculo de la implementación del modelo hallando de esta manera los burdenes para el diseño de la ambas mallas de perforación. Además, se hallaron los costos de aceros de perforación, explosivos, accesorios de voladura y mano de obra directa para realizar una comparación y de esta manera comprobar la optimización del modelo.

Por último, los resultados demostraron una mejora del avance por disparo del 13.4% y un ahorro de 61.44 \$/m en el SN728, en el caso del CX033 se obtuvo una optimización del avance del 6.5% y un ahorro de 14.61 \$/m.

Palabras claves: Perforación, voladura, costos.

ABSTRACT

The main objective of this study is to apply the mathematical model of areas of influence to improve progress and reduce costs in the work under study through the implementation of a new drilling mesh in an underground mining unit in the province of Tacna.

In the first stage, a historical data collection was carried out to establish a baseline and identify the shortcomings of the progress that occurs daily in the work of SN728 and CX033, which are outside the KPI objective of the Morritos mine.

In the second stage, the geomechanical parameters, drilling deviation, safety factor, loading and coupling necessary for the calculation of the implementation of the model were determined, thus finding the burdens for the design of the drilling mesh. In addition, the costs of drilling steel, explosives, blasting accessories and direct labor were found to make a comparison and thus verify the optimization of the model.

Finally, the results demonstrated an improvement in advance per shot of 13.4% and a saving of 61.44 \$/m in the SN728, in the case of the CX033 an optimization of the advance of 6.5% and a saving of 14.61 \$/m was obtained.

Keywords: Drilling, blasting, costs.

ÍNDICE

<i>Dedicatoria</i>	3
<i>Agradecimiento</i>	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	13
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Planteamiento del Problema	4
1.2 Objetivos de la Investigación	5
1.2.1 General.....	5
1.2.2 Específicos	5
1.3 Preguntas de Investigación	5
1.3.1 General.....	5
1.3.2 Específicas	5
1.4 Línea de Investigación.....	5
1.5 Aporte del desarrollo de la tesis	6
CAPÍTULO II	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1 Estado del arte	8
2.1.1 Antecedentes Nacionales	8
2.1.2 Antecedentes Internacionales	9
2.2 Bases Teóricas de la Investigación.....	10
2.2.1 Modelo matemático de áreas de influencia.....	10
2.2.2 Error de perforación.....	12
2.2.3 Diámetro de taladro equivalente	13
2.2.4 Factor de carguío	13
2.2.5 Factor de acoplamiento	14

2.2.6 Resistencia a la compresión uniaxial	14
2.2.7 Rock Quality Designation.....	15
2.2.8 Presión de detonación	16
2.2.9 Velocidad de detonación.....	16
2.2.10 Perforación y voladura	17
2.2.11 Minería Subterránea.....	17
2.3 Definición de términos	18
2.4 Descripción geológica de Mina Morritos	18
2.4.1 Ubicación	18
2.4.2 Generalidades.....	19
2.4.3 Geología local	20
2.4.4 Geología regional.....	22
2.4.5 Geología estructural	23
2.4.6 Método de explotación.....	23
2.5 Hipótesis de Investigación.....	28
2.5.1 Hipótesis General.....	28
2.5.2 Hipótesis Especifica.....	28
2.6 Variables.....	28
2.6.1 Variable Independiente	28
2.6.2 Variable Dependiente	28
2.6.3 Operacionalización de Variables	29
CAPITULO III	30
3. MARCO METODOLÓGICO	31
3.1 Alcances y Limitaciones.....	31
3.1.1 Alcances.....	31
3.1.2 Limitaciones.....	31
3.2 Tipo y Nivel de Investigación	31
3.2.1 Tipo de Investigación.....	31
3.2.2 Nivel de Investigación	31
3.3 Población y Muestra o universo	31
3.3.1 Población	31
3.3.2 Muestra	32
3.4 Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	32

3.5	Plan de análisis de los datos	32
CAPITULO IV		34
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES		35
4.1	Determinación de la línea base	35
4.1.1	Recolección histórica de datos del SN728 y CX033 mayo – junio 2023 ..	36
4.1.2	Datos estadísticos del SN728 y CX033 mayo – junio 2023	43
4.1.3	Costo por metro lineal de avance mayo – junio 2023.....	45
4.2	Implementación del modelo de áreas de influencia para el cálculo de la malla de perforación	47
4.2.1	Frente de avance SN728	47
4.2.2	Frente de avance CX033	59
4.3	Resultados post implementación del modelo matemático de áreas de influencia 65	
4.3.1	Recolección de datos del SN728 y CX033 julio 2023.....	66
4.3.2	Datos estadísticos del SN728 y CX033 julio 2023	71
4.3.3	Costos por metro lineal de avance julio 2023	72
4.3.4	Resumen.....	74
4.4	Prueba de hipótesis	77
4.4.1	Contrastación de hipótesis general	77
4.4.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	77
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		81
ANEXOS.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resistencia a la compresión simple.....	14
Tabla 2 Clasificación Rock Quality Designation	15
Tabla 3 Especificaciones jumbo utilizado en Mina Morritos.....	24
Tabla 4 Especificaciones del explosivo utilizado en Mina Morritos	25
Tabla 5 Especificaciones del explosivo encartuchado utilizado en Mina Morritos	25
Tabla 6 Especificaciones de los scooptrams utilizado en Mina Morritos	27
Tabla 7 Especificaciones del camión utilizado en Mina Morritos	28
Tabla 8 Operacionalización de las variables	29
Tabla 9 Vida útil de los aceros de perforación	35
Tabla 10 Costos de aceros de perforación	35
Tabla 11 Costos de explosivos y accesorios de voladura.....	36
Tabla 12 Costos de mano de obra	36
Tabla 13 Datos de consumo de aceros de perforación SN728 mayo – junio 2023.....	37
Tabla 14 Datos de consumo de explosivo SN728 mayo – junio 2023.....	38
Tabla 15 Datos de accesorios de voladura SN728 mayo – junio 2023	39
Tabla 16 Datos de mano de obra SN728 mayo – junio 2023.....	40
Tabla 17 Datos de consumo de aceros de perforación CX033 mayo – junio 2023	41
Tabla 18 Datos de consumo de explosivo CX033 mayo – junio 2023	42
Tabla 19 Datos de consumo de accesorios de voladura CX033 mayo – junio 2023 ..	42
Tabla 20 Datos de mano de obra CX033 mayo – junio 2023	43
Tabla 21 Estadísticos de avance por disparo SN728.....	44
Tabla 22 Estadísticos de avance por disparo CX033	44
Tabla 23 Indicadores del SN728 y CX033 mayo – junio 2023.....	44
Tabla 24 Costo por metro lineal SN728 may – jun 2023	45
Tabla 25 Costo por metro lineal may – jun 2023	46
Tabla 26 Propiedades geomecánicas	47
Tabla 27 Factor de carguío en el SN728	50
Tabla 28 Factor de acoplamiento	51
Tabla 29 Factor de seguridad	52
Tabla 30 Burden ideal	55
Tabla 31 Carga total de explosivo del SN728.....	58
Tabla 32 Propiedades geomecánicas	59

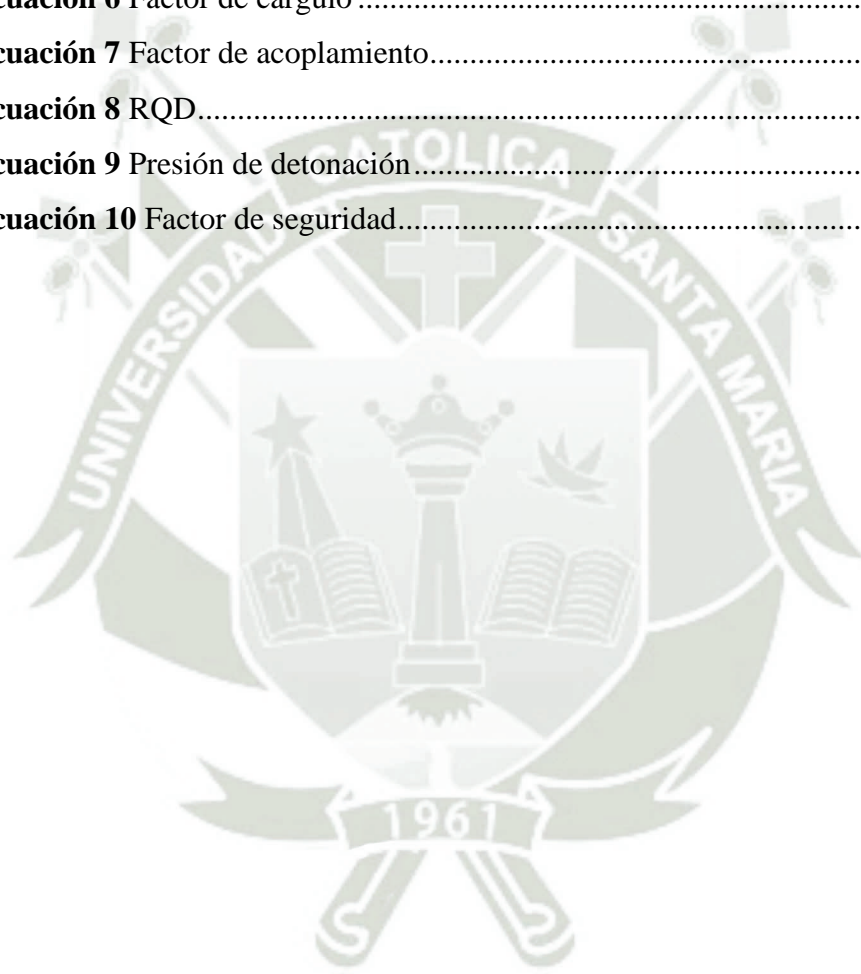
Tabla 33 Características de la perforación	59
Tabla 34 Factor de carguío	60
Tabla 35 Factor de acoplamiento	60
Tabla 36 Factor de seguridad	61
Tabla 37 Burden ideal	63
Tabla 38 Carga explosiva para el CX033 del modelo matemático de áreas de influencia	65
Tabla 39 Carga total de explosivo del CX033	65
Tabla 40 Datos de consumo de aceros de perforación SN728 julio 2023.....	66
Tabla 41 Datos de consumo de explosivo SN728 julio 2023.....	67
Tabla 42 Datos de consumo de accesorios de voladura SN728 julio 2023.....	67
Tabla 43 Datos de mano de obra SN728 julio 2023.....	68
Tabla 44 Datos de consumo de aceros de perforación CX033 julio 2023	68
Tabla 45 <i>Datos de consumo de explosivo CX033 julio 2023</i>	69
Tabla 46 <i>Datos de consumo de accesorios de voladura CX033 julio 2023</i>	70
Tabla 47 Datos de mano de obra CX033 julio 2023	71
Tabla 48 Estadísticos de avance por disparo SN728.....	71
Tabla 49 Estadísticos de avance por disparo CX033	72
Tabla 50 Indicadores del SN728 y CX033 julio 2023	72
Tabla 51 Costo por metro lineal	73
Tabla 52 Costo por metro lineal	74
Tabla 53 Comparación de indicadores en el SN728	75
Tabla 54 Comparación de indicadores en el CX033	75
Tabla 55 Comparación de la media aritmética de avance	75
Tabla 56 Comparación del costo por metro en el pre y post.....	76
Tabla 57 Comparación del coeficiente de variación en el pre y post.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Área de influencia de un taladro post-voladura</i>	10
Figura 2 <i>Diagrama de cuerpo libre del corte X – X`</i>	11
Figura 3 <i>Ubicación de Mina Morritos</i>	18
Figura 4 <i>Ingreso a bocamina 2 donde se encuentra el SN728 y CX033 de Mina Morritos</i>	19
Figura 5 <i>Muestra de la roca diorita</i>	21
Figura 6 <i>Muestra de la roca granodiorita</i>	21
Figura 7 <i>Muestra de la roca tonalita</i>	22
Figura 8 <i>Explosivo a granel y encartuchado de FAMESA</i>	26
Figura 10 <i>Equipo de limpieza scooptram R1300G de la Mina Morritos</i>	27
Figura 11 <i>Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del SN728</i>	45
Figura 12 <i>Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del CX033</i>	46
Figura 13 <i>Esquema de carguío</i>	49
Figura 14 <i>Diseño de malla de perforación del SN728 NW</i>	56
Figura 15 <i>Diseño de malla de perforación del CX033 SW</i>	64
Figura 16 <i>Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el post del SN728</i>	73
Figura 17 <i>Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del CX033</i>	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Burden nominal	11
Ecuación 2 Burden ideal.....	12
Ecuación 3 Desviación del taladro	12
Ecuación 4 Error de perforación	12
Ecuación 5 Diámetro del taladro equivalente.....	13
Ecuación 6 Factor de carguío	13
Ecuación 7 Factor de acoplamiento.....	14
Ecuación 8 RQD.....	15
Ecuación 9 Presión de detonación.....	16
Ecuación 10 Factor de seguridad.....	51



INTRODUCCIÓN

En el contexto de toda operación minera que busca siempre reducir sus costos para mantener sus niveles de operación rentables siempre se busca mejorar y las actividades como perforación y voladura siendo estas tan álgidas e importantes en mina merecen un tratamiento especial.

La Mina Morritos se sitúa en la provincia y departamento de Tacna, entre los distritos de Sama e Ite, el método de explotación es subnivel stoping y las rocas presentes en esta mina subterránea es la granodiorita, diorita y tonalita.

La presente investigación busca aplicar el modelo de áreas de influencia para mejorar el avance por disparo de las dos labores en estudio. Para ello, se diseño mallas de perforación óptimas de acuerdo al modelo y de esta manera ayudar a reducir los costos en los frentes de avance.

En el capítulo I, se identifica el planteamiento del problema a investigar en este caso es la ineficiencia en los avances por disparo.

Luego en el capítulo II, detallamos nuestras bases teóricas y antecedentes importantes para poder encaminar nuestra investigación.

En el capítulo III, la investigación se desarrolla en el marco del método científico de un diseño no experimental en el cual deseamos implementar el modelo matemático de áreas de influencias para mejorar nuestro avance por disparo siendo este defectuoso hasta el mes de junio del 2023.

En el capítulo IV, analizamos los resultados donde se obtiene las mejoras en el avance por disparo y ahorro del \$/m del mes de julio del 2023 de las labores investigadas.

En el capítulo V, se detalla las conclusiones y recomendaciones luego de la implementación del modelo en estudio.





1 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente uno de los problemas que se afronta en el área de operaciones mina, es el constante desafío de mantener los costos de perforación y voladura dentro del objetivo de la empresa que permitan operaciones rentables, siendo esta una actividad primordial y rutinaria la cual influye en la optimización de procesos post voladura es por ello que siempre ha de implementar la constante mejora continua.

En las labores horizontales de la mina subterránea del distrito de Sama, se presentan resultados que no cumplen con los avances programados mensuales de frentes por disparo, que por lo general están relacionados a un mal diseño de la malla de perforación, reflejándose esto en el aumento de los costos por metro lineal de avance. La mejora en el diseño de la malla de perforación y voladura permite un mejor resultado reflejado en el avance y la variabilidad de este y por ende los costos que esta representa.

Los reportes históricos de esta mina subterránea en estudio muestran una variabilidad de los resultados de avance por disparo (m/disparo), significativa. Esta perjudica el cumplimiento de nuestros objetivos aumentando su incertidumbre. En consecuencia, para solucionar este problema se planteó rediseñar los parámetros de perforación mediante el modelo de áreas de influencia, que toma en cuenta las características del macizo rocoso, factor de carguío y acoplamiento, factor de seguridad de acuerdo a las condiciones de la mina y los parámetros del explosivo, para de esta manera calcular el burden y así obtener mallas de perforación las cuales permitan disminuir la variabilidad y mejorar el avance de los disparos en las dos labores en estudio las cuales son el SN728 y el CX033 por ende esta implementación permitirá reducir los costos que eso conlleva.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 General

- Determinar si la aplicación del modelo de áreas de influencia mejora el avance en los frentes.

1.2.2 Específicos

- Aplicar el modelo de áreas de influencia para reducir los costos de perforación y voladura en los frentes de avance.
- Reducir la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo de áreas de influencia.

1.3 Preguntas de Investigación

1.3.1 General

- ¿De qué manera la aplicación del modelo de áreas de influencia mejora el avance en los frentes?

1.3.2 Específicas

- ¿Se puede aplicar el modelo de áreas de influencia para reducir los costos de perforación y voladura en los frentes de avance?
- ¿De qué manera se reduce la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo de áreas de influencia?

1.4 Línea de Investigación

La presente corresponde a la línea de investigación de optimización de procesos mineros.

1.5 Aporte del desarrollo de la tesis

Los aportes del trabajo de investigación es la implementación del modelo de áreas de influencia para mejorar el avance y reducir los costos en las labores de estudio mediante la implementación de mallas de perforación en la Mina Morritos.





2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estado del arte

2.1.1 Antecedentes Nacionales

- En la tesis titulada “Reducción de costos de perforación en labores horizontales para mejorar la eficiencia en minera Virgen de Chapi 87 de Ica S.A.C.”, el autor tiene como objetivo reducir los costos de perforación en labores horizontales, mejorando la eficiencia en mina ya que esta tiene avances de hasta 0.92 m/disparo, demostrando lo ineficiente que son sus operaciones. Plantea estandarizar la malla de perforación de forma empírica, consiguiendo como resultado una reducción de USD 12.41 en promedio. (Cueva, 2020).
- En la tesis titulada “Diseño de malla de perforación y voladura en el by pass 746 – E, aplicando el modelo matemático: “Área de influencia” en la unidad minera San Genaro – Castrovirreyna Compañía Minera S.A. 2012”, los autores tienen como objetivo diseñar una malla de perforación y voladura controlada bajo un nuevo modelo matemático para calcular el burden que considera parámetros de perforación, explosivo y de la roca. Los resultados obtenidos fueron favorables en labores lineales logrando un avance del 95%, minimizar la caída de rocas, reduciendo costos y cantidad de taladros. (Cconislla et. al., 2012).
- En la tesis titulada “Rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del Túnel de Integración Animón Islay de la Minera Chungar” tiene como objetivo rediseñar la malla para optimizar la fragmentación y el avance, además de reducir el factor de potencia. La metodología fue tomar como línea base la malla utilizada para luego realizar una comparación con la nueva malla de perforación que demostró mejorar los costos del proceso, como resultado mejoro la fragmentación

a 7” por cada disparo, el avance de 3.67 metros por disparo y la reducción del factor de potencia de 1.13kg/m³ por cada disparo. (Alania, 2023).

2.1.2 Antecedentes Internacionales

- Sánchez (2012), en su tesis de “Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina” tiene como objetivo mejorar la malla de perforación con la finalidad de optimizar el avance y consecuentemente reducir los costos del proceso. La metodología inicial fue realizar ensayos del macizo rocoso para poder diseñar una nueva malla optima en función a las condiciones de la geomecánica de la mina. Los resultados de la malla optimizada brindaron soluciones en función del explosivo para considerar uno de mayor velocidad de detonación y así reducir la cantidad de explosivo por cada taladro, además existira un ahorro de US\$ 85.12 en cada tronadura.
- Pomasoncco et al. (2022), “Pre-split blasting design to reduce costs and improve safety in underground mining” implementa un diseño de malla de perforación con voladura controlada considerando un cambio de explosivo de acuerdo al tipo de roca, una modificación en la carga explosiva, dimensiones del taladro y espaciamiento para mejorar la calidad el contorno del macizo rocoso. Los resultados reducen un 70% el exceso de rotura y además contribuye a un trabajo seguro en función de la estabilidad de la labor.
- Costa (2020), en el artículo científico “Blast advance optimization in underground stopes” tiene como objetivo optimizar el avance de perforación y voladura de la mina Neves – Corvo para reducir los costos, se realizaron estudios a detalle en el área durante un mes considerando como oportunidad de mejora una adición en la hilera de perforación con el fin de aumentar el resultado de la voladura es así que se obtuvo resultados favorables con una modificación en la malla de perforación de 9x8 y 8x8.

2.2 Bases Teóricas de la Investigación

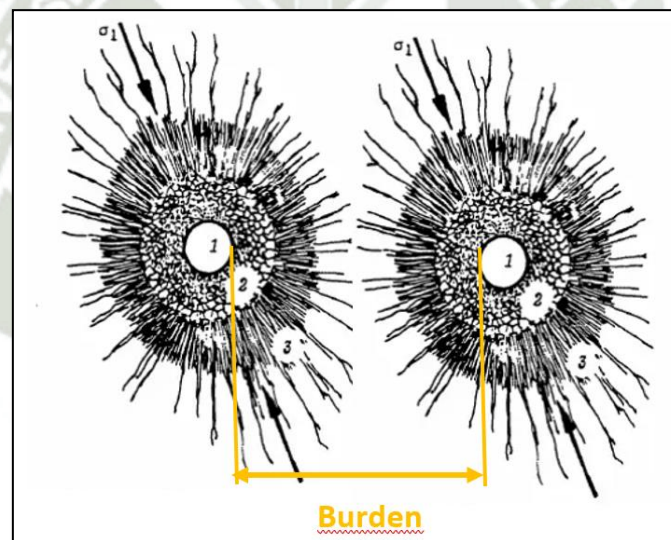
2.2.1 Modelo matemático de áreas de influencia

Según, López Jimeno (2003) indica que:

El siguiente modelo matemático de áreas de influencia se aplica para el diseño de mallas de perforación, este modelo se basa en el cálculo de un nuevo burden donde considera características del explosivo (presión de detonación, densidad y factor de carga), además parámetros geomecánicos del macizo in situ.

Figura 1

Área de influencia de un taladro post-voladura



Nota. Se muestra las 3 zonas del área de influencia. Fuente: E. Hoek / E.T. Brown, “Excavaciones subterráneas en roca”

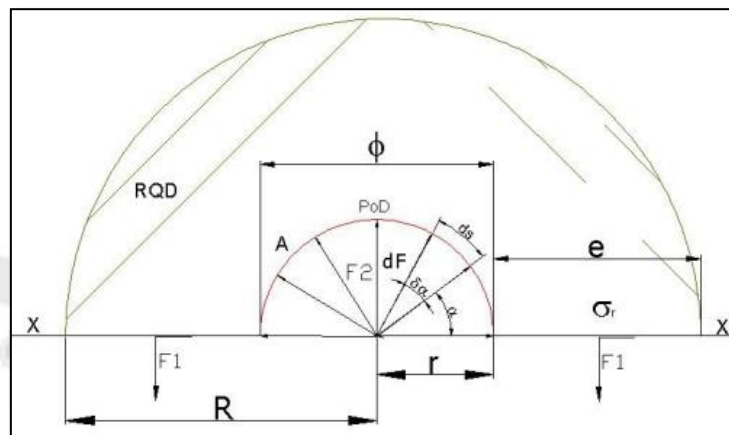
En la imagen se puede visualizar la onda de presión causada por el explosivo, el cual se sitúa en los taladros y produce el impacto en las paredes del mismo.

La zona 1 es el diámetro de taladro, la zona 2 es la zona pulverizada por el explosivo y la zona 3 es el área de influencia que abarca el taladro luego de su tronadura.

El modelo matemático de área de influencia se centra en el cálculo del burden de acuerdo a la reflexión de onda de impacto de cada taladro.

Figura 2

Diagrama de cuerpo libre del corte X – X'



Nota. Representación gráfica de las fuerzas presentes en el diagrama de cuerpo libre del corte. Fuente: Nueva teoría para calcular el burden, “IV CONEINGEMMET”

Realizando la sumatoria de fuerzas en el diagrama se tiene que, $F_2 = 2F_1$, posteriormente descomponemos las fuerzas que interactúan entre sí, F_2 depende de la presión de detonación, factor de carguío y el acoplamiento. La F_1 está en función de la resistencia a la compresión de la roca, RQD y el área de rotura. Reemplazando las ecuaciones y simplificando obtenemos la fórmula del Burden nominal (B_n):

Ecuación 1 Burden nominal

$$B_n = \phi \times \left(\frac{P_{od} \times F_c \times A}{F_s \times \sigma_c \times RQD} \right) + 1$$

Donde:

ϕ : Diámetro de perforación (cm)

Pod: Presión de detonación (kg/cm^2)

Fc: Factor de carguío

A: Acoplamiento

Fs: Factor de seguridad

σ_c : Resistencia a la compresión (kg/cm²)

RQD: Rock quality designation (%)

Por último, el burden ideal es la diferencia del burden nominal y la desviación del taladro.

Ecuación 2 Burden ideal

$$Bi = Bn - Dt$$

Donde:

Bn: Burden nominal

Dt: Desviación del taladro

La desviación en la perforación en promedio con barrenos esta denotada en la siguiente formula. (López, 2003).

Ecuación 3 Desviación del taladro

$$Dt = 0.0031 * Long.perfo^2 + 0.0063 * Long.perfo + 0.007$$

La fórmula anterior denota una desviación en promedio de acuerdo a la longitud de perforación, sin embargo, no expresa la realidad del error de perforación de la mina en estudio. En este caso es más adecuado tomar en cuenta el error de perforación propuesto por Holmberg.

2.2.2 Error de perforación

Según Persson et ál., (1993) el error de perforación se halla con la siguiente formula:

Ecuación 4 Error de perforación

$$E_p = \alpha \times L + e'$$

Donde:

E_p = Error de perforación (m)

α = Desviación angular (m/m)

L = Profundidad del barreno (m)

e' = Error de emboquille (m)

2.2.3 *Diámetro de taladro equivalente*

Cuando en la malla de perforación se tiene más de un taladro de alivio se calcula el diámetro de taladro equivalente, el cual hace referencia a un solo taladro con fines de cálculos matemáticos, mas no prácticos. (Persson et ál., 1993)

Ecuación 5 Diámetro del taladro equivalente

$$\Phi_{equiv} = \Phi_{vacio} \times \sqrt{NT}$$

Donde:

Φ_{equiv} = Diámetro de taladro equivalente (mm)

Φ_{vacio} = Diámetro de taladros vacíos (mm)

NT = Número de taladros vacíos

2.2.4 *Factor de carguío*

Se calcula mediante la función del volumen del explosivo y el volumen del taladro ambos se encuentran dentro del último en mención, donde el factor de carguío va de 0 a 1. (Ojeda, 2007).

Ecuación 6 Factor de carguío

$$F_c = \frac{Vol.exp.}{Vol.tal.}$$

2.2.5 Factor de acoplamiento

El factor de acoplamiento se calcula en función del diámetro del explosivo y el diámetro del taladro, donde el resultado va de 0 a 1. (Ojeda, 2007).

Ecuación 7 Factor de acoplamiento

$$A = \frac{\Phi_{exp.}}{\Phi_{tal.}}$$

2.2.6 Resistencia a la compresión uniaxial

Se obtiene mediante un ensayo de laboratorio, el material en estudio se presenta en una probeta cilíndrica a la cual se le aplica una fuerza axial mediante una presa para así llegar a la rotura. (Bieniawski, 1989).

2.2.6.1 Procedimiento

- Hallar el área transversal de la probeta cilíndrica.
- Configurar la maquina universal para que este en cero.
- Colocar la probeta cilíndrica en medio de los platos de la maquina universal.
- Programar el software para ejecutar el ensayo de compresión uniaxial.
- Aumentar la carga progresivamente hasta que la probeta presente falla.

La resistencia a la compresión simple se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1

Resistencia a la compresión simple

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Especialmente débil	< 1
Muy baja	1 – 5
Baja	5 – 25
Media	25 – 50

Alta	50 – 100
Muy alta	100 – 250
Extremadamente alta	> 250

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Nota. Clasificación de las rocas ígneas intrusivas granodiorita y diorita.

2.2.7 *Rock Quality Designation*

Se define como un sistema de clasificación geomecánica que evalúa la estabilidad de macizos, este método de clasificación fue propuesto por Deere en el año 1967.

Para obtener este índice se analiza un testigo de sondeo de roca de un diámetro no menor a 55 mm, para evaluar las fracturas que presenta.

El RQD es un porcentaje que va del 0 a 100 y se evalúa en base a la siguiente formula:

Ecuación 8 RQD

$$RQD = \frac{\sum \text{trozos de roca} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total del tramo perforado}} * 100\%$$

El valor obtenido en las fórmulas es comparado con la tabla y se puede tomar en consideración el valor para evaluar sostenimiento. En este caso para el modelo de área de influencia se tienen resultados geomecánicos obtenidos por un estudio de laboratorio realizado a la mina en estudio.

Tabla 2

Clasificación Rock Quality Designation

Índice de Calidad R.Q.D (%)	Calidad
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular

75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: (Deere, 1967).

Nota. El RQD indica la calidad de la roca, en este caso sería de las muestras de diorita y granodiorita.

2.2.8 Presión de detonación

Según el (Manual EXSA, 2013), indica que:

La presión de detonación varía según el explosivo a utilizarse, en base a su densidad y a su velocidad de detonación, su valor de algunos explosivos comerciales varía entre 500 y 1500Mpa. Estos valores nos brindan un mayor alcance de los indicadores de fragmentación del explosivo.

Ecuación 9 Presión de detonación

$$Pod = 0.25 * Vod^2 * \rho e * 10^{-5}$$

Donde:

Vod: Velocidad de detonación

ρe : Densidad del explosivo

La siguiente formula es muy cercana a valor teórico y utiliza principalmente para explosivos de mediana y alta densidad, para fines prácticos de presión de detonación se recomienda usar como mínimo cartuchos de 30 mm de diámetro.

2.2.9 Velocidad de detonación

Según el (Manual EXSA, 2013), indica que:

Es principalmente la velocidad con la que viaja la onda de detonación a través de la columna explosiva y determina el ritmo de la liberación de energía. Los factores

principales que directamente afectan a la velocidad de detonación es la densidad de carga, diámetro de perforación y el grado de confinamiento. Este valor se expresa en metros por segundo, este valor se encuentra en la ficha técnica de cada explosivo y consecuentemente ayuda a obtener una selección de explosivo de acuerdo a tus parámetros geomecánicas, los valores normalmente de VOD de explosivos comerciales varía entre 2500 a 5500 m/s.

2.2.10 Perforación y voladura

Según Bernaola et ál. (2013), indica que:

La técnica de perforación y voladura se desarrolla sobre terrenos competentes y consiste en hacer perforación en la roca para posteriormente colocar explosivo para que mediante su detonación propague la energía para fragmentar el macizo rocoso.

La técnica de la perforación se ha ido puliendo con el avance de los años acompañado de innovación tecnológica y desarrollo de nuevos métodos de perforación.

Los métodos más desarrollados y utilizados se basan en sistemas de perforación mecánica, conocidos como sistemas de perforación por rotación y percusión.

La clave de un buen resultado de fragmentación de material está basada en la relación de la perforación y voladura, debido que una buena perforación con medios y técnicas apropiadas garantiza una buena voladura, asimismo un sistema de voladura debidamente iniciado y diseñado dará lugar a buenos márgenes de resultados de fragmentación.

2.2.11 Minería Subterránea

La minería subterránea se da por el descubrimiento de una concentración de mineral debajo de la corteza terrestre. Es un conjunto de galerías, túneles, pozos, piques y chimeneas que permiten acceder a cuerpo mineralizado, la circulación de los trabajadores y maquinaria para la explotación del mineral para así obtener un beneficio económico. (Ingeoexpert, 2018).

2.3 Definición de términos

- **CX:** abreviatura para referirse a una labor minera llamada crucero.
- **SN:** abreviatura para referirse a una labor minera llamada subnivel.
- **Shank adapter:** acero de perforación que cumple la función de vástago y de acople entre la barra y el martillo de perforación.

2.4 Descripción geológica de Mina Morritos

2.4.1 Ubicación

El yacimiento de mina morritos forma parte de la cadena Costanera y está ubicado en el departamento de Tacna, aproximadamente a 28 km SO del pueblo de las Yaras y a unos 10 km de Locumba, la accesibilidad es un poco accidentada y está a 35 km partiendo del pueblo de las Yaras.

Figura 3

Ubicación de Mina Morritos



Nota, La figura indica la ubicación de la Unidad Minera en estudio. Fuente: Google Maps (2023).

2.4.2 Generalidades

Desde julio de 2010 se iniciaron operaciones de extracción de mineral en la mina bajo el método de explotación a cielo abierto, lográndose obtener de producción hasta de 40 000 toneladas mensuales.

Mina Morritos se vio enfrentada a un problema de ley de desbroce por ende cambió su método de explotación de superficial a subterráneo para mejorar su productividad en la extracción de mineral de hierro a 500 000 toneladas anuales con una ley de 61 % de hematita.

Este cambio condujo a un aumento en la producción anual y se utilizaron equipos especializados para llevar a cabo las operaciones subterráneas. También se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el desempeño y obtener recomendaciones.

Figura 4

Ingreso a bocamina 2 donde se encuentra el SN728 y CX033 de Mina Morritos



Fuente: Propia

2.4.3 Geología local

La roca es la granodiorita hornablendita con gradaciones de diorita de color gris oscuro, esta roca se presenta muy fracturada y alteración hidrotermal en las cajas de las vetas. La mineralización consiste predominantemente de hematita maciza de color gris acero y magnetita en menor proporción.

En las laderas Sur y Suroeste, en un área de 2 km de largo por 500 metros de ancho, afloran varias vetas de fierro paralelas, con rumbo N20-30 °O y buzamiento de 60 °SO. Las longitudes de las vetas varían de 300 a 700 m y sus anchos de 1 a 4. (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2014).

2.4.3.1 Rocas Ígneas Intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas se forman en el interior de la corteza terrestre y el magma al enfriarse de manera lenta hace que se formen los cristales en este tipo de rocas.

En la Mina Morritos se tienen rocas intrusivas desde diorita hasta tonalita, pero prevalecen las dioritas. Ambas rocas son similares por sus tonalidades claras, pero se pueden distinguir por su tono de coloración y su composición mineralógica de cada una de ellas.

La diorita posee minerales más oscuros que el granito, granodiorita tiene una tonalidad de color gris claro y la tonalita es aún más clara por su porcentaje rico en silicio.

Diorita

Según (Mantilla, 2005), la diorita tiene una composición de 2/3 del grupo de plagioclasa sódica y 1/3 de minerales oscuros como la hornblenda, biotita y piroxeno, además contiene cantidades pequeñas de cuarzo de modo que presenta una mezcla que diferencian los minerales negros y blancos.

La diorita al ser una roca plutónica tuvo un tiempo de cristalización y enfriamiento lento en la corteza de la tierra por tal motivo presenta una textura granular de granos gruesos en sus minerales.

En la escala de mohs está catalogada con una dureza de 6 a 7.

Figura 5

Muestra de la roca diorita



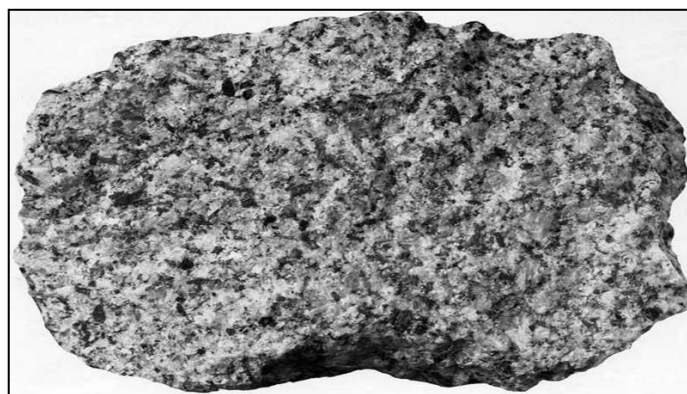
Nota, La diorita contiene plagioclasa rica en sodio y minerales máficos. Fuente: Geology Science (2023).

Granodiorita

Según (Mantilla, 2005), la granodiorita posee una textura fanerítica, es decir, sus granos son notables a simple vista. Esta roca ígnea intrusiva está compuesta por más del 20% de cuarzo y el 65% al 90% del feldespato es plagioclasa en cantidades considerables de calcio y sodio. Los minerales secundarios son biotita y anfíbol en forma de hornblenda los cuales dan un aspecto oscuro a la roca.

Figura 6

Muestra de la roca granodiorita



Nota, La granodiorita contiene plagioclasa rica en calcio y sodio, además posee hornblenda.

Fuente: Geotecnia (2022).

Tonalita

La tonalita se sitúa como una roca intermedia entre la diorita y granodiorita, además tiene una composición mineralógica similar a la diorita. Está compuesta por una cantidad menor al 20% de cuarzo, plagioclasa y menor al 10% de feldespato alcalino. Los minerales máficos de la tonalita son la biotita y anfíbol, sus minerales accesorios son la hornblenda y piroxeno. (Atlas de rocas ígneas, 2014).

Figura 7

Muestra de la roca tonalita



Nota, La tonalita presenta cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa sódica. Fuente: Edafología (2020).

2.4.4 Geología regional

En el área estudiada afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias que abarcan en edad desde el precambriano hasta el cuaternario reciente, las formaciones son las denominadas complejo basal de la Costa que aflora en el cuadrángulo 36 u. Consiste en rocas metamórficas asociadas con intrusiones de granito rojo.

Rocas intrusivas, principalmente granodioritas y dioritas, integrantes del batolito costanero, afloran casi ininterrumpidamente frente al litoral y su edad va probablemente desde el cretáceo superior al terciario inferior. (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2014)

2.4.5 Geología estructural

En el área se reconocen dos aspectos estructurales Fallamiento en bloques de la cadena costanera, una depresión tectónica entre esta cadena montañosa fallada y el pie de la Cordillera de los Andes. El sistema de fallas normales tiene una orientación NE-SW, transversales a la cordillera de la costa que han producido fractura miento de esta área geomorfológica.

La mayor parte de las fallas han sido ubicadas en el campo principalmente por evidencias fisiográficas, como escarpas sobresalientes que siguen un determinado alineamiento por varios kilómetros. Aunque no se han observado pruebas directas de fallamiento a lo largo de estas escarpas, es posible que dichos rasgos pueden haber sido modificados por efecto de la erosión o están cubiertos por detritus de talud.

Las escarpas tienen pendientes pronunciadas al Noroeste y en otros casos al Sureste. Este fuerte empinamiento nos hace suponer que se trata de fallas de tipo normal, probablemente subsidiarias de las grandes fallas longitudinales que corren casi paralelas a la Costa en la región Sur del Perú. (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2014)

2.4.6 Método de explotación

El método de explotación utilizado para la extracción de minerales metálicos en este caso el hierro, es sublevel stoping (tajeo por subniveles), el yacimiento presenta condiciones geológicas y geomecánicas para emplear mencionado método.

Mina Morritos al principio se ejecutó el método de explotación superficial pero debido a los altos costos empleando este método y la profundización de los tajos superficiales, ya no era rentable, por consiguiente emplearon el método de tajeo por subniveles incrementando su

producción mensual y trimestral, a un bajo costo de 6.45 \$/TM. Se alcanzó en el primer mes una producción de 30 000 TM bajo el método sublevel stoping.

Las fases del ciclo de minado tenemos perforación, voladura, desatado, limpieza y acarreo.

2.4.6.1 Perforación

Equipos de perforación

Esta operación unitaria para los frentes de avance se realiza con un jumbo boomer de un brazo, es un equipo hidráulico de perforación frontal para galerías de hasta 31m².

Tabla 3

Especificaciones jumbo utilizado en Mina Morritos

Nombre del equipo	Jumbo S1 D Atlas Copco
Cantidad	2
Dimensiones	11.35 * 1.7 * 2.8 m
Caudal – Sistema de agua	66 l/min a 12 bar
Sistema de aire	11.7 l/s a 7 bar
Potencia instalada total	59 – 79 kW

Fuente: Atlas copco.

Nota. Los jumbos utilizados para perforar los frentes de avance son de modelo boomer.

Aceros de perforación

Los aceros de perforación utilizados son de la marca Sandvik:

- Barra R32 de 12 pies.
- Shank adapter T-38 de 525mm.
- Broca rimadora R32 de 102mm.
- Broca R32 x 45mm.

2.4.6.2 Voladura

En esta actividad la Unidad Minera Morritos utiliza como explosivo a granel el Superfam Dos y el explosivo encartuchado Emulnor 3000 1 1/4 x 12” ambos de su proveedor FAMESA:

Tabla 4

Especificaciones del explosivo utilizado en Mina Morritos

Nombre del explosivo	Superfam Dos
Densidad	0.80 g/cm ³
Velocidad de detonación	3000 m/s
Presión de detonación	51 kbar
Dimensiones	83.5 cm x 50.8 cm
Peso neto	25 kg

Fuente: FAMESA.

Nota. Consideraciones tomadas en cuenta para el uso del explosivo de la mina en mención.

Tabla 5

Especificaciones del explosivo encartuchado utilizado en Mina Morritos

Nombre del explosivo	Emulnor 3000 1 1/4 x 12”
Densidad	1.14 g/cm ³
Velocidad de detonación	5700 m/s
Presión de detonación	93 kbar
Resistencia al agua	Excelente
Energía	920 kcal/kg

Fuente: FAMESA

Nota. Consideraciones tomadas en cuenta para el uso del explosivo encartuchado de la mina en mención.

Figura 8

Explosivo a granel y encartuchado de FAMESA



Para el carguío de taladros se utiliza aire comprimido, mediante una maguera antiestática de 1" conectada con la tubería de aire comprimido, el mismo que está conectado a la compresora 750 doosen.

Los accesorios de voladura famesa son los siguientes:

- Fanel de 4.2 m.
- Carmex.
- Pentacord.
- Mecha rápida.

2.4.6.3 Desatado

Para el desatado de rocas se realiza con el equipo Scaletec Scaler UV2 de Atlas Copco, después de la voladura y debidamente ventilada la zona entra el equipo para realizar dicha labor. Además, existe el desatado de rocas por medio de los trabajadores de la mina cuando las labores son de dimensiones pequeñas.

2.4.6.4 Limpieza y acarreo

La limpieza se realiza con scooptram en cada frente después del proceso de voladura y la ventilación.

Tabla 6

Especificaciones de los scooptrams utilizado en Mina Morritos

Modelo	Marca	Capacidad
Scooptram R1300G	Caterpillar	4.5 yd ³
Scooptram R1600H	Caterpillar	6 yd ³
Scooptram ST7	Atlas Copco	4.5 yd ³

Nota. En mina Morritos solo se cuenta con los tres scoops detallados.

Figura 9

Equipo de limpieza scooptram R1300G de la Mina Morritos



El acarreo se realiza con 4 camiones y el modelo se cita a continuación:

Tabla 7

Especificaciones del camión utilizado en Mina Morritos

Nombre del camión	Volquete Sinotruk Howo
Capacidad	31 a 40 tn
Dimensiones	8.10 x 2.49 x 3.36 m.
Caballos de fuerza	351 – 450 hp

Nota. En mina Morritos se tiene mencionada cantidad de camiones por guardia.

2.5 Hipótesis de Investigación

2.5.1 Hipótesis General

- La aplicación del modelo de áreas de influencia mejora el avance en los frentes.

2.5.2 Hipótesis Específica

- La aplicación del modelo de áreas de influencia permite reducir los costos de perforación y voladura en los frentes de avance.
- Es factible reducir la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo de áreas de influencia.

2.6 Variables

2.6.1 Variable Independiente

- Diseño de la malla de perforación y voladura

2.6.2 Variable Dependiente

- Avance real

2.6.3 Operacionalización de Variables

Tabla 8

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Indicador	Medición	Unidad
Diseño de la malla de perforación y voladura	Diagrama de la distribución de los taladros a perforar y la carga explosiva en cada uno de estos.	RQD	Densidad de discontinuidades	Porcentaje
		Presión de detonación	Velocidad de detonación del explosivo	m/s
			Densidad del explosivo	gr/cm ³
		N° de taladros	Cantidad	unidades
		Espaciamiento	Longitud	cm
		Burden	Longitud	cm
Avance real	Cantidad de metros avanzados por disparo después de realizar la actividad de perforación y voladura.	Secuencia de disparo	Numeración de retardos de periodo largo	Retardo según numeración
		Distribución de la carga explosiva	Carga explosiva por taladro	Kg/tal
		Avance	Longitud de avance	m
		Costo de perforación	Costo de aceros de perforación por metro de avance	USD/m
	Costo de voladura	Costo de explosivos y accesorios por metro de avance	USD/m	
	Costos de avance	Costo por metro de avance	USD/m	



CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Alcances y Limitaciones

3.1.1 Alcances

El alcance de esta investigación es en labores horizontales de frentes de avance desarrolladas en mineral y desmonte en una mina subterránea de hierro.

3.1.2 Limitaciones

- Escaza información bibliográfica sobre el modelo matemático de las áreas de influencia en minería de subterránea.
- La investigación se realizará en 02 frentes, uno de desmonte y uno de mineral de acuerdo con lo autorizado por los responsables de la unidad minera.
- El método de perforación utilizado es el hidráulico con jumbos de la marca Sandvik.
- La presente investigación se realizará durante los meses de mayo a julio del 2023.

3.2 Tipo y Nivel de Investigación

3.2.1 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicada, debido a que se propuso dos diseños de mallas de perforación calculado a través del modelo planteado, para implementarlo y observar los resultados.

3.2.2 Nivel de Investigación

La presente investigación es de nivel correlacional, debido a que existe una relación entre el diseño de la malla de perforación y el avance real en cada disparo, es decir ambas variables son directamente proporcional.

3.3 Población y Muestra o universo

3.3.1 Población

La población está constituida por 11 frentes de avances compuestos en 7 niveles y 8 subniveles de una mina subterránea de la provincia de Tacna.

3.3.2 Muestra

La muestra a considerar en la investigación es no probabilística, ya que las labores intervenidas son el SN 728 (mineral) y el CX 033 (desmonte), ambas elegidas a conveniencia porque son los frentes de avance que autoriza la empresa realizar las pruebas piloto y además se encuentran geográficamente cerca uno del otro de la mina subterránea en estudio que explota hierro en el distrito de Sama.

3.4 Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El método de recolección de datos será la documentaria, para obtener información histórica de costos de perforación y voladura de las labores en estudio, la observación de datos no sistematizada, realizada a cada disparo acontecido con la malla de perforación diseñada con el modelo matemático de áreas de influencia.

Los instrumentos y herramientas para utilizar para la investigación son los siguientes:

- Wincha de lona de 25 metros para medir el avance real.
- Programa de AutoCAD para el diseño computarizado de la malla de perforación.
- Computador personal para el procesado de datos recopilados.
- Pintura en aerosol para el marcado de la malla de perforación.

3.5 Plan de análisis de los datos

- En primer lugar, recolectaremos los datos históricos de los frentes en estudio, como los costos de perforación y voladura y los avances por disparo.
- Diseñar una nueva malla de perforación utilizando el modelo matemático de las áreas de influencia.
- Implementar y dar seguimiento de la nueva malla de perforación en los frentes de estudio.
- Recolectar datos de los resultados una vez aplicado la nueva malla tanto de costos de perforación y voladura, y de avance por disparo. Para los costos tendremos en cuenta los explosivos, aceros y mano de obra, y para el avance se hará uso de una wincha para tomar medida desde un punto de referencia.

- Calcular el coeficiente de variación (C.V) al avance por disparo antes y después de la implementación de la nueva malla de perforación.
- Finalmente, se podrá calcular el costo antes y después de realizado el experimento y compararlos para explicar sus diferencias para así cumplir con el objetivo general de la investigación.





CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Determinación de la línea base

En lo subsiguiente determinaremos una línea base antes de la implementación del modelo matemático de áreas de influencia para optimizar las mallas de perforación y voladura.

La vida útil de los aceros de perforación de la marca Sandvik de la Mina Morritos se detalla a continuación:

Tabla 9

Vida útil de los aceros de perforación

Aceros de perforación	Vida Útil	
	Mineral	Desmonte
Brocas de 45mm	100 pp.	500 pp.
Broca rimadora de 102mm	4000 pp.	5000 pp.
Barra R32 de 12'	1800 pp.	2000 pp.
Shank adapter T38 COP1838 525mm	5000 pp	5500 pp.

Nota. La abreviatura pp. significa pies perforados.

Los costos de aceros de perforación, explosivos, accesorios de voladura y mano de obra de la Mina Morritos involucrados en la actividad a investigar se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 10

Costos de aceros de perforación

Aceros de perforación	Precio Unitario
Brocas de 45mm	\$ 50.45
Broca rimadora de 102mm	\$ 244.02
Barra R32 de 12'	\$ 399.31
Shank adapter T38 COP1838 525mm	\$ 202.96

Tabla 11

Costos de explosivos y accesorios de voladura

Explosivo y accesorios de voladura	Precio unitario
Superfam Dos	\$ 20.25
Emulnor 3000 1" x 12"	\$ 210.56
Fanel 4.2mts	\$ 7.69
Carmex	\$ 0.83
Pentacord	\$ 180.00
Mecha rápida	\$ 75.00

Tabla 12

Costos de mano de obra

Mano de obra	Sueldo	Precio Unitario
Operador de Jumbo	S/ 2,500	\$/día 21.70
Ayudante de Jumbo	S/ 1,800	\$/día 15.63
Cargadores/desatadores	S/ 2,000	\$/día 17.36
Operador de Scoop	S/ 2,500	\$/día 21.70
Capataz	S/ 3,500	\$/día 30.38
Jefe de guardia	S/ 6,000	\$/día 52.08

Nota. La tasa de cambio es \$3.84 y el precio unitario por día.

4.1.1 Recolección histórica de datos del SN728 y CX033 mayo – junio 2023

Aunque en los meses mencionados de mayo y junio no se disponía de un control de seguimiento de operaciones para los frentes de avance, si disponemos de reportes semanales elaborados por el área de operaciones mina. De estos elaboraremos una base de datos para el establecimiento de nuestra línea base.

A. Frente de avance SN728

Para ingresar al SN728 NW se realiza por la bocamina 2 y está ubicado en la veta E de la mina morritos, esta tiene una sección de 3.50 x 3.50 m. con presencia de granodiorita, diorita y tonalita la cual presenta una resistencia a la compresión de 140 MPa y un RQD de 85%, datos según el área de geomecánica.

A continuación, se detallará la información semanal de los consumos de aceros de perforación, explosivos, accesorios de voladura y mano de obra directa de los meses mayo y junio del presente año para establecer la línea base de la investigación.

Tabla 13

Datos de consumo de aceros de perforación SN728 mayo – junio 2023

Fecha	N° disparo	Avance (m)	Aceros de perforación			
			Broca de 45mm	Rimadora de 102mm	Barra 12'	Shank adapter
May - Sem 1	5	13.83	22	0.50	1.25	0.50
May - Sem 2	5	13.06	23	0.50	1.25	0.50
May - Sem 3	8	20.83	36	0.80	2.00	0.80
May - Sem 4	12	24.32	54	1.20	3.00	1.20
Jun - Sem 1	9	26.19	40	0.90	2.25	0.90
Jun - Sem 2	9	25.32	41	0.90	2.25	0.90
Jun - Sem 3	-	-	-	-	-	-
Jun - Sem 4	4	12.58	18	0.40	1.00	0.40
Total	52	136.13	234	5.20	13.00	5.20
Precio Unitario			\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96
Importe			\$ 11,804.13	\$ 1,268.92	\$ 5,191.06	\$ 1,055.39
Costo/metro (USD/m)			\$ 86.71	\$ 9.32	\$ 38.13	\$ 7.75

La roca presente en el SN728 NW es de dureza muy alta por tal motivo se realizan cambios constantes en los aceros de perforación:

- Una broca de 45mm nueva es capaz de perforar de 4 a 5 taladros y después de afilado puede perforar como máximo 2 taladros.
- El cambio de la broca rimadora de 102mm. se da cada 10 voladuras ejecutadas, es decir por cada disparo se utiliza 1/10 de su vida útil. El total es 5.20, esto significa que hasta el cierre de la semana 4 del mes de junio 2023 se utilizaron 5 brocas y el 20% de vida útil de la sexta, quedando el 80% por utilizarse en la próxima voladura.

- Cada 4 voladuras en este subnivel se realiza el cambio de las barras de 12 pies, es decir que en cada disparo se utilizan 1/4 de esta.
- El cambio del shank adapter es cada 10 voladuras considerando el uso en las siguientes labores: subnivel, crucero y galería.

Tabla 14

Datos de consumo de explosivo SN728 mayo – junio 2023

Fecha	N° disparo	Avance (m)	Explosivo		
			Superfam Dos (kg)	Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)
May - Sem 1	5	13.83	460	464	583
May - Sem 2	5	13.06	310	1067	594
May - Sem 3	8	20.83	585	1302	931
May - Sem 4	12	24.32	985	1129	1285
Jun - Sem 1	9	26.19	725	818	943
Jun - Sem 2	9	25.32	790	1102	1083
Jun - Sem 3	-	-	-	-	-
Jun - Sem 4	4	12.58	300	843	524
Total	52	136.13	4155	6725	5944
Precio Unitario			\$ 0.81	\$ 2.24	\$ 3.11
Importe			\$ 3,383.00	\$ 15,077.45	\$ 18,460.45
Costo/metro (USD/m)			\$ 24.85	\$ 110.76	\$ 135.61

Nota. Una caja de emulnor 3000 1" x 12" contiene 94 cartuchos.

La cantidad de explosivo utilizado por semana es de acuerdo a las voladuras realizadas según programación y según las condiciones del terreno se utilizan de 3 a 4 sacos de 25 kg. de Superfam dos de Famesa.

Tabla 15

Datos de accesorios de voladura SN728 mayo – junio 2023

Fecha	N° disparo	Avance (m)	Accesorios			
			Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)
May - Sem 1	5	13.83	186	5	104	2.50
May - Sem 2	5	13.06	207	5	119	2.50
May - Sem 3	8	20.83	320	8	170	4.00
May - Sem 4	12	24.32	522	12	306	6.00
Jun - Sem 1	9	26.19	322	9	182	4.50
Jun - Sem 2	9	25.32	361	9	217	4.50
Jun - Sem 3	-	-	-	-	-	-
Jun - Sem 4	4	12.58	180	4	90	2.00
Total	52	136.13	2098	52	1188	26.00
Precio Unitario			\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50
Importe			\$ 3,837.24	\$ 42.95	\$ 280.37	\$ 12.89
Costo/metro (USD/m)			\$ 28.19	\$ 0.32	\$ 2.06	\$ 0.09

En la tabla 16 consideramos la mano de obra que está directamente implicada en perforación y voladura de la labor, donde se considera la incidencia de los partícipes. Los datos de cada trabajador considerados en la tabla son debido al números de labores que intervienen por guardia, así entonces:

- El operador de jumbo y su ayudante son programados para perforar dos labores por turno, pero existen fechas donde puede realizar tres labores en el turno, porque la guardia anterior deja un frente limpio y al ingresar lo primero que realiza es la perforación.
- Los cargadores y desatadores son dos personas que se dedican a realizar trabajos en dos labores por guardia.
- El operador de scoop realiza la limpieza de hasta 3 labores por guardia, es decir 1/3 de su tiempo por labor.
- El capataz supervisa cuatro labores por guardia, es decir 1/4 de su tiempo dedicado a cada labor.

- El jefe de guardia supervisa cinco labores por turno, es decir 1/5 de su tiempo por labor.

Tabla 16

Datos de mano de obra SN728 mayo – junio 2023

Fecha	N° disparo	Avance (m)	Mano de obra					
			Operador de Jumbo	Ayudante de Jumbo	Cargadores /desatadores	Operador de Scoop	Capataz	Jefe de guardia
May - Sem 1	5	13.83	2.33	2.33	4.67	1.67	1.25	1.00
May - Sem 2	5	13.06	2.33	2.33	4.67	1.67	1.25	1.00
May - Sem 3	8	20.83	3.83	3.83	7.67	2.67	2.00	1.60
May - Sem 4	12	24.32	5.50	5.50	11.00	4.00	3.00	2.40
Jun - Sem 1	9	26.19	4.17	4.17	8.33	3.00	2.25	1.80
Jun - Sem 2	9	25.32	4.17	4.17	8.33	3.00	2.25	1.80
Jun - Sem 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun - Sem 4	4	12.58	2	2	4	1.33	1	0.8
Total	52	136.13	24	24	49	17	13	10
Precio Unitario			\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08
Importe			\$ 528.07	\$ 380.21	\$ 844.91	\$ 376.16	\$ 394.97	\$ 541.67
Costo/metro (USD/m)			\$ 3.88	\$ 2.79	\$ 6.21	\$ 2.76	\$ 2.90	\$ 3.98

B. Frente de avance CX033

Para ingresar al crucero 033 SW se realiza por la bocamina 2 de la mina morritos, esta tiene una sección de 4.50 x 4.00 m. con baja presencia de granodiorita y diorita la cual presenta una resistencia a la compresión de 130 MPa y un RQD de 80% según el área de geomecánica.

El área de operaciones mina proporciono la información según los días que se disparaba la labor, estos datos son los consumos de aceros, explosivo, accesorios de voladura, y mano de obra directa de los meses mayo y junio del presente año para establecer la línea base de la investigación.

Los avances por disparo lo proporcionan el área de topografía de la mina morritos.

Tabla 17

Datos de consumo de aceros de perforación CX033 mayo – junio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Aceros de perforación			
			Broca de 45mm	Rimadora de 102mm	Barra 12'	Shank adapter
May - Sem 1	3	8.78	3	0.30	0.60	0.30
May - Sem 2	2	5.78	1	0.20	0.40	0.20
May - Sem 3	7	20.69	6	0.70	1.40	0.70
May - Sem 4	9	25.97	8	0.90	1.80	0.90
Jun - Sem 1	6	17.57	5	0.60	1.20	0.60
Jun - Sem 2	5	14.29	5	0.50	1.00	0.50
Total	32	93.08	28	3.20	6.40	3.20
Precio Unitario			\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96
Importe			\$ 1,412.46	\$ 780.88	\$ 2,555.60	\$ 649.47
Costo/metro (USD/m)			\$ 15.17	\$ 8.39	\$ 27.46	\$ 6.98

La roca presente en el CX033 SW es de baja dureza, los cambios de aceros de perforación se realizan de la siguiente manera:

- Se utiliza 1 broca de 45mm. para perforar solo un frente del crucero.
- El cambio de la broca rimadora de 102mm. se da cada 10 voladuras ejecutadas, es decir por cada disparo se utiliza 1/10 de su vida útil. El total es 3.20, esto significa que hasta el cierre de la semana 2 del mes de junio 2023 se utilizaron 3 brocas quedando el 80% de vida útil por utilizarse en la próxima voladura.
- Cada 4 voladuras se realiza el cambio de la barra de 12", es decir que en cada disparo se utiliza 0.25 de esta.
- El cambio del shank adapter es cada 19 voladuras considerando el uso en las siguientes labores: subnivel, crucero y galería.

En la tabla 18 se detalla el consumo semanal de explosivo, en el CX033 de sección 4.50 x 4.00 m. se utilizan 4 sacos y 10kg de superfam dos haciendo un total de 110kg por cada frente volado.

Tabla 18

Datos de consumo de explosivo CX033 mayo – junio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Superfam Dos (kg)	Explosivo	
				Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)
May - Sem 1	3	8.78	320	320	405
May - Sem 2	2	5.78	220	182	268
May - Sem 3	7	20.69	780	680	961
May - Sem 4	9	25.97	1015	815	1232
Jun - Sem 1	6	17.57	660	564	810
Jun - Sem 2	5	14.29	550	401	657
Total	32	93.08	3545	2962	4333
Precio Unitario			\$ 0.81	\$ 2.24	\$ 2.20
Importe			\$ 2,886.34	\$ 6,640.80	\$ 9,527.14
Costo/metro (USD/m)			\$ 31.01	\$ 71.35	\$ 102.35

Tabla 19

Datos de consumo de accesorios de voladura CX033 mayo – junio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Accesorios			
			Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)
May - Sem 1	3	8.78	137	3	63	1.50
May - Sem 2	2	5.78	88	2	45	1.00
May - Sem 3	7	20.69	313	7	168	3.50
May - Sem 4	9	25.97	398	9	210	4.50
Jun - Sem 1	6	17.57	264	6	140	3.00
Jun - Sem 2	5	14.29	221	5	115	2.50
Total	32	93.08	1421	32	741	16
Precio Unitario			\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50
Importe			\$ 2,599.01	\$ 26.43	\$ 174.88	\$ 7.93
Costo/metro (USD/m)			\$ 27.92	\$ 0.28	\$ 1.88	\$ 0.09

En la tabla 19 se considera la sumatoria de accesorios de voladura realizadas por semana, pero en detalle se utilizan los siguientes datos por voladura:

- Se considera una unidad de fanel de 4.2 metros por cada taladro cargado.
- Se usa una unidad de carmex por cada voladura ejecutada.
- Se utiliza de 20 a 25 metros de pentacord para el amarre de los faneles.
- Se emplea un total de 0.5 metros de mecha rápida por cada voladura realizada.

La mano de obra directa se considera al igual que lo explicado por la tabla 16.

Tabla 20

Datos de mano de obra CX033 mayo – junio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Mano de obra					
			Operador de Jumbo	Ayudante de Jumbo	Cargadores/desatadores	Operador de Scoop	Capataz	Jefe de guardia
May - Sem 1	3	8.78	1.50	1.50	3.00	1.00	0.75	0.60
May - Sem 2	2	5.78	0.83	0.83	1.67	0.67	0.50	0.40
May - Sem 3	7	20.69	3.50	3.50	8.00	2.33	1.75	1.40
May - Sem 4	9	25.97	4.17	4.17	8.33	3.00	2.25	1.80
Jun - Sem 1	6	17.57	3.00	3.00	6.00	2.00	1.50	1.20
Jun - Sem 2	5	14.29	2.50	2.50	5.00	1.67	1.25	1.00
Total	32	93.08	16	16	32	11	8	6
Precio Unitario			\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08
Importe			\$ 336.35	\$ 242.27	\$ 555.52	\$ 231.47	\$ 243.04	\$ 333.31
Costo/metro (USD/m)			\$ 3.61	\$ 2.60	\$ 5.97	\$ 2.49	\$ 2.61	\$ 3.58

4.1.2 Datos estadísticos del SN728 y CX033 mayo – junio 2023

Para el SN728 en la tabla 21 indica una media de avance de 2,62 metros por disparo, estando este debajo del objetivo de 3,00 metros por disparo, establecido por operación mina. La desviación estándar es de 50cm, la cual es una cantidad relevante para los avances en el SN728 porque indica que cada uno ellos están separados por tal dato con respecto a la media, además se tiene un coeficiente de variación de 19.22% el cual valida esta separación significativa en el control de los meses mayo y junio 2023.

Tabla 21

Estadísticos de avance por disparo SN728

Datos	Valor
N° muestra	52
Media	2,62 m
Desviación estándar	50 cm
Varianza	0.25
Coeficiente de variación	19.22%

Las estadísticas de la tabla 22 nos indica que obtenemos una media de avance de 2,91 metros por disparo, estando este debajo del objetivo de 3.20 metros por disparo. Al observar la desviación estándar es 22cm podemos deducir que es significativa, el cual respalda el coeficiente de variación de 7.53%.

Tabla 22

Estadísticos de avance por disparo CX033

Datos	Valor
N° muestra	32
Media	2.91 m
Desviación estándar	22 cm
Varianza	0.05
Coeficiente de variación	7.53%

Tabla 23

Indicadores del SN728 y CX033 mayo – junio 2023

Frente de avance	Factor de avance	Factor de carga
SN728	43.66 kg/m	3.56 kg/m ³
CX033	46.55 kg/m	2.59 kg/m ³

Como se observa en la tabla 23 ambos factores para las labores en estudio se encuentran por encima del objetivo. El factor de avance debería ser 42kg/m en el SN728 y para el CX033 43kg/m.

4.1.3 Costo por metro lineal de avance mayo – junio 2023

A. Frente por disparo SN728

El costo por metro de los meses mayo y junio del presente año del SN728 fue de 330.71 \$/m. Este calculado a partir de la recolección de datos históricos realizados. Para el cálculo de este costo se tomó en cuenta los aceros de perforación, accesorios de voladura, explosivo y mano de obra. Este se encuentra detallado en la tabla 24.

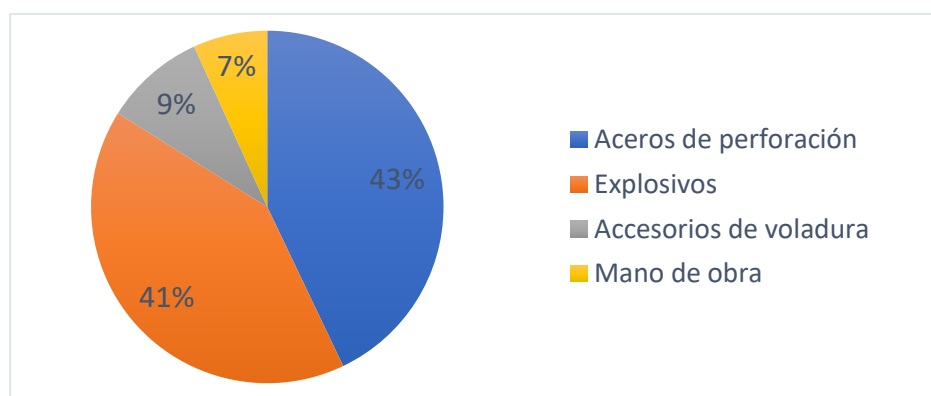
Tabla 24

Costo por metro lineal SN728 may – jun 2023

Descripción	Importe	Costo / metro
Aceros de perforación	\$ 19,319.50	141.92 \$/m
Explosivo	\$ 18,460.45	135.61 \$/m
Accesorios de voladura	\$ 4,173.45	30.66 \$/m
Mano de obra	\$ 3,065.97	22.52 \$/m
Total	\$ 45,019.37	330.71 \$/m

Figura 10

Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del SN728



Según la Figura 11 en el SN728 predomina el costo de aceros de perforación con un 43% por el cambio constante de estos por tratarse de una roca dura.

B. Frente por disparo CX033

El costo por metro de los meses mayo y junio del presente año del CX033 fue de 221.39 \$/m. Este calculado a partir de la recolección de datos históricos realizados. Para el cálculo de este costo se tomó en cuenta los aceros de perforación, accesorios de voladura, explosivo y mano de obra. Este se encuentra detallado en la tabla 25.

Tabla 25

Costo por metro lineal may – jun 2023

Descripción	Importe	Costo / metro
Aceros de perforación	\$ 5,398.41	58.00 \$/m
Explosivo	\$ 9,527.14	102.35 \$/m
Accesorios de voladura	\$ 2,808.25	30.17 \$/m
Mano de obra	\$ 1,941.98	20.86 \$/m
Total	\$ 19,675.78	211.39 \$/m

Figura 11

Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del CX033



Según la figura 12, predomina el costo en la cantidad de explosivo por tratarse de un frente con una sección de 4.50 x 4.00 m. por ende ingresa un total de 110kg de superfam dos. Los aceros de perforación representan un 28% por tratarse de una roca en desmante que no presenta el mismo desgaste de la roca en mineral.

4.2 Implementación del modelo de áreas de influencia para el cálculo de la malla de perforación

4.2.1 Frente de avance SN728

En Mina Morritos, las operaciones del subnivel 728 es en la veta E con una sección de labor de 3.50 x 3.50 m. se realizan con un Jumbo S1 D atlas copco de 01 brazo y se tiene como media de avance en la línea base de 2,62 metros. A continuación, se detallará las propiedades geomecánicas de la mina en mención.

Tabla 26

Propiedades geomecánicas

Propiedades geomecánicas	
Tipo de roca	Tonalita, magnetita y hematita
Densidad de roca	4.2 gr/cm ³
RQD	85%
Resistencia a la compresión	140 MPa
Longitud efectiva de perforación	3.30 m.
Diámetro de broca	45 mm.
Diámetro de rimadora	102 mm.

Se halla el diámetro del taladro equivalente según la Ecu. 5, considerando 4 taladros de alivio en la malla de perforación para saber si es capaz de contener el volumen a salir en el primer cuadrante al no tener cara libre al inicio.

$$\phi_{equiv} = \phi_{vacio} \times \sqrt{NT}$$

$$\phi_{equiv} = 102mm \times \sqrt{4}$$

$$\varnothing_{equiv} = 204mm$$

El error de perforación se calcula según la Ecu. 4

Para la zona del arranque, cuadradores y producción se considera una desviación angular de 0.005 m/m, error de emboquille 0.02 m y la longitud del barreno es 3.30m.

$$E_p = \alpha \times L + e'$$

$$E_p = 0.005 \frac{m}{m} \times 3.30m + 0.02m$$

$$E_p = 0.0349m = 3.49cm$$

Para la zona de corona y arrastres se tiene una desviación angular de 0.006 m/m, error de emboquille de 0.03 m y la longitud del barreno es 3.30m.

$$E_p = \alpha \times L + e'$$

$$E_p = 0.006 \frac{m}{m} \times 3.30m + 0.03m$$

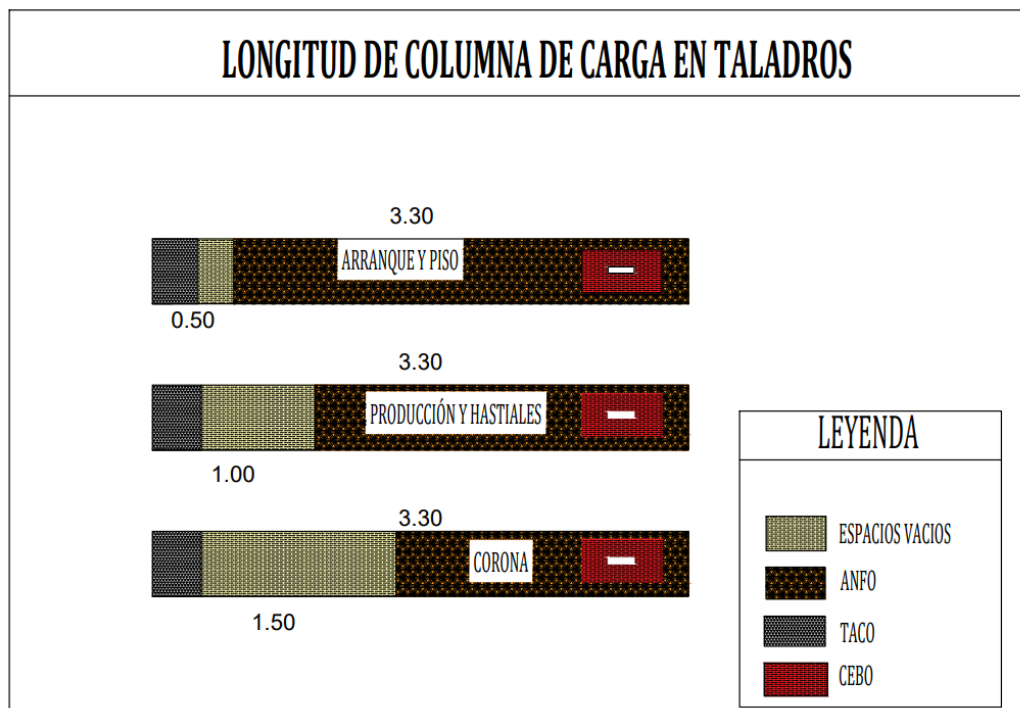
$$E_p = 0.0498m = 4.98cm$$

A. Cálculo de la malla de perforación

Para calcular el factor de carguío se determinar la longitud de carga de cada sección de taladros según su distribución en la malla de perforación.

Figura 12

Esquema de carguío



Según la figura 13 la longitud del taladro es 3.30m y el espacio vacío en cada taladro según su ubicación se distribuye de la siguiente manera:

- Arranque y arrastre: 0.50 m.
- Producción y hastiales: 1.00 m.
- Corona: 1.50 m.

Para hallar el factor de carguío (F_c) se emplea la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{Vol. exp.}{Vol. tal.}$$

$$F_c = \frac{\pi x r^2 x Long. carga}{\pi x r^2 x Long. taladro}$$

Al estar presente $\pi x r^2$ en el numerador y denominador se eliminan y solo se considera:

$$F_c = \frac{\text{Long. carga}}{\text{Long. taladro}}$$

$$F_c = \frac{\text{Long. taladro} - \text{Espacio vacío}}{\text{Long. taladro}}$$

Entonces, se procede a hallar el factor de carguío para la malla de perforación del SN728.

En la tabla 27, el factor de carguío es menor en la zona de la corona por razones de voladura controlada, caso contrario la zona del arrastre presenta un mayor factor debido a que la voladura está en contra de la gravedad.

Tabla 27

Factor de carguío en el SN728

Distribución de taladros	Long. taladro (m)	Espacio vacío (m)	Factor de carguío
Arranque	3.30	0.50	84.85%
Arrastre	3.30	0.50	84.85%
Producción	3.30	1.00	69.70%
Hastiales	3.30	1.00	69.70%
Corona	3.30	1.50	54.55%

El factor de acoplamiento de la tabla 28, es 100% en su mayoría debido a que se utiliza superfam dos que es un tipo de explosivo a granel que se carga con aire comprimido, sin embargo, la zona del arrastre por su presencia de agua se carga en su totalidad con emulzor es por eso que el factor de acoplamiento se considera un 90%.

Tabla 28

Factor de acoplamiento

Factor de acoplamiento	Valores
Arranque	100%
Arrastre	90%
Producción	100%
Hastiales	100%
Corona	100%

Los factores de seguridad a considerar para el cálculo de la malla serán los expuestos en la tabla 29. La zona del arranque tiene una consideración especial debido a que es la zona más importante de la voladura de la cual depende el resultado de esta, es por eso que se calculó el factor de seguridad a partir de los parámetros de las voladuras con buenos resultados de la labor en seguimiento considerando un burden de 26 cm.

Despejando la formula del modelo de áreas de influencia en función al factor de seguridad de la zona del arranque se obtiene lo siguiente:

Ecuación 10 Factor de seguridad

$$F_s = \left(\frac{PoD \times F_c \times A}{\sigma_c \times RQD \times \left(\frac{B_n - 1}{\phi} \right)} \right)$$

Considerando:

$$PoD = 51kbar = 52004 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_c = 85.09\% = 0.8509$$

$$A = 100\% = 1$$

$$\sigma_c = 140Mpa = 1427.6 \frac{kg}{cm^2}$$

$$RQD = 85\% = 0.85$$

$$B = 26.5 \text{ cm}$$

$$\phi_{broca} = 45\text{mm} = 4.5 \text{ cm}$$

$$F_s = \left(\frac{52004 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8509 \times 1}{1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85 \times \left(\frac{26 \text{ cm} - 1}{4.5 \text{ cm}} \right)} \right)$$

$$F_s = 7.6$$

Considerando un ajuste de campo para favorecer el desempeño del explosivo se considera un factor de seguridad en el arranque de 7.5, se tomará como un dato de forma base, debido a que el factor aumenta a medida que se necesite que el burden sea más pequeño para que el explosivo sea más efectivo en romper la roca. El factor de seguridad para las otras zonas de la malla de perforación ingresa de acuerdo a la consideración del modelo matemático, teniendo esto un sustento práctico.

Tabla 29

Factor de seguridad

Factor de seguridad	Valores
Arranque	7.5
Ayuda	6.0
Subayuda	5.0
Cuadradores	4.0
Arrastre	3.0
Producción	2.0
Hastiales	2.0
Corona	2.0

Luego de hallar el factor de seguridad se tiene todos los parámetros para emplear la fórmula del modelo de áreas de influencia:

$$Bn = \emptyset \times \left(\frac{Pod \times F_c \times A}{F_s \times \sigma_c \times RQD} \right) + 1$$

Primer cuadrante:

- **Arranque:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{7.5 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 26.3 \text{ cm}$$

Segundo cuadrante:

- **Ayuda:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{6 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 33.1 \text{ cm}$$

Tercer cuadrante:

- **Subayuda:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{5 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 37.2 \text{ cm}$$

Cuarto cuadrante:

- **Cuadradores:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{4 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 45 \text{ cm}$$

Arrastre:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 0.9}{3 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 55 \text{ cm}$$

Producción:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.6970 \times 1}{2 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 72 \text{ cm}$$

Hastiales:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.6970 \times 1}{2 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 71.7 \text{ cm}$$

Corona:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.5455 \times 1}{2 \times 1427.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.85} \right) + 1$$

$$Bn = 51.7 \text{ cm}$$

Por último, se emplea la formula del burden ideal considerando el error de perforación hallado anteriormente con la Ecu. 4.

$$Bi = Bn - E_p$$

Tabla 30*Burden ideal*

	Burden nominal (cm)	Error de perforación (cm)	Burden ideal (cm)
Arranque	26.3	3.49	23
Ayudas	33.1	3.49	30
Subayudas	37.2	3.49	34
Cuadradores	45	3.49	42
Arrastre	55	4.98	50
Producción	72	3.49	69
Hastiales	71.7	3.49	68
Corona	57.1	4.98	52

El diseño y distribución de taladros de la malla 3.50 x 3.50 m del SN728 se muestra a continuación:

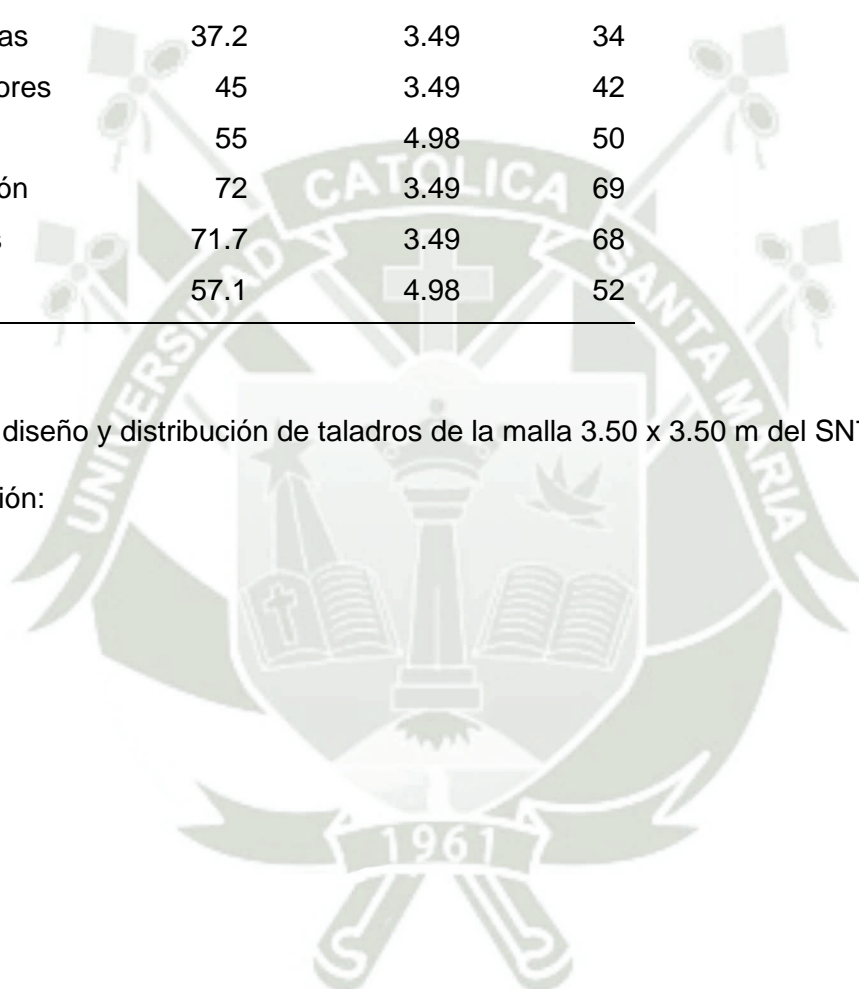
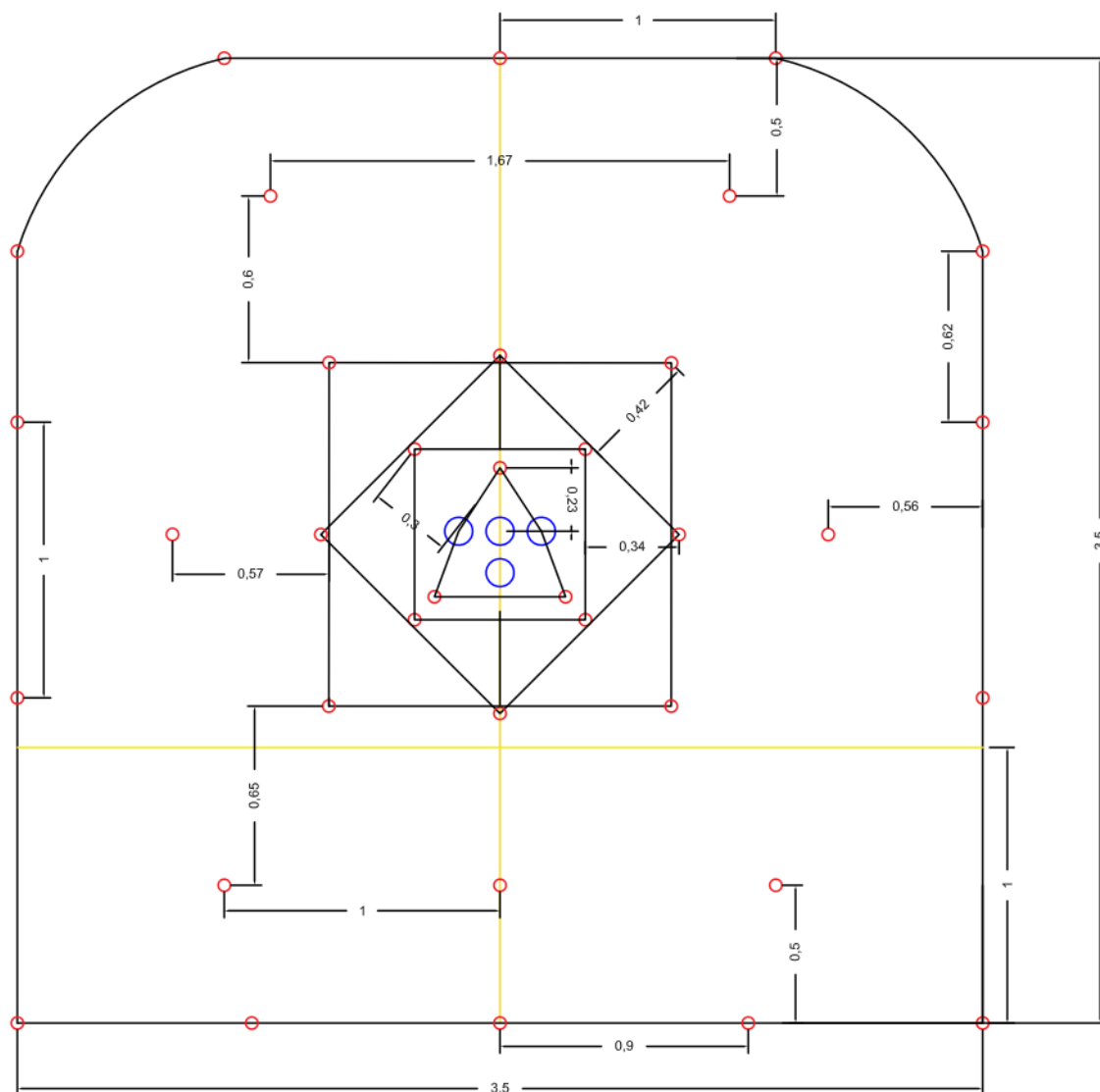


Figura 13

Diseño de malla de perforación del SN728 NW



B. Cálculo de la carga explosiva

Para hallar la carga explosiva por taladro y la cantidad de emulnor 3000 1 1/4 x 12" en la malla del SN728 se emplea la siguiente formula considerando que el taladro tiene el volumen de un cilindro:

$$Superfam/tal = \pi \times \left(\frac{\phi^2}{4}\right) \times Long.carga \times \rho_{explosivo}$$

Tomando en cuenta que en una caja de emulnor 3000 1 1/4 x 12" contiene 94 cartuchos y pesa 25kg cada caja entonces se deduce que:

$$\text{Emulnor}/\text{tal.} = \frac{25\text{kg}}{94 \text{ unid.}} = 0.27\text{kg emulnor}/\text{tal.}$$

Primer cuadrante:

- **Arranque:**

$$\text{Superfam}/\text{tal} = \pi \times \left(\frac{\phi^2}{4}\right) \times \text{Long. carga} \times \rho_{\text{explosivo}}$$

$$\text{Superfam}/\text{tal} = \pi \times \left(\frac{(0.045\text{m})^2}{4}\right) \times (3.30\text{m} - 0.5\text{m}) \times 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Superfam}/\text{tal} = 3.56\text{kg.}$$

En la zona del arranque se consideran 15 taladros por lo tanto la cantidad total de superfam dos es de 53.44kg. y 3.99kg de emulnor haciendo un total de carga explosiva en el arranque de 57.43 kg.

Producción:

$$\text{Superfam}/\text{tal} = \pi \times \left(\frac{(0.045\text{m})^2}{4}\right) \times (3.30\text{m} - 1.00\text{m}) \times 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Superfam}/\text{tal} = 2.93 \text{ kg}$$

En la zona de producción se consideran 7 taladros por lo tanto la cantidad total de superfam dos es de 20.48kg. y 1.86kg de emulnor haciendo un total de carga explosiva en el arranque de 22.35 kg.

Hastiales:

$$\text{Superfam}/\text{tal} = \pi \times \left(\frac{(0.045\text{m})^2}{4}\right) \times (3.30\text{m} - 1.00\text{m}) \times 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Superfam}/\text{tal} = 2.93 \text{ kg}$$

En los hastiales se consideran 4 taladros por lo tanto la cantidad total de superfam dos es de 11.71kg. y 1.06kg de emulnor haciendo un total de carga explosiva en el arranque de 12.77 kg.

Corona:

$$Superfam/tal = \pi \times \left(\frac{(0.045m)^2}{4} \right) \times (3.30m - 1.50m) \times 800 \frac{kg}{m^3}$$

$$Superfam/tal = 2.29 \text{ kg}$$

En la corona se consideran 5 taladros por lo tanto la cantidad total de superfam dos es de 11.45kg. y 1.33kg de emulnor haciendo un total de carga explosiva en el arranque de 12.78 kg.

Arrastre:

Esta zona solo se carga con cartuchos de emulnor considerando 10 unidades por cada taladro lo que es 2.66kg. de emulnor por cada taladro, haciendo un total de 13.30kg.

A continuación, se detallará en una tabla resumen la cantidad de explosivo y emulnor utilizado en una malla de perforación del SN728.

Tabla 31

Carga total de explosivo del SN728

Total de explosivo en la malla del SN728	
Total de superfam dos	21.54 kg.
Total de emulnor 3000 1" x 12"	97.08 kg.
Total de explosivo	118.62 kg.

4.2.2 Frente de avance CX033

En Mina Morritos, el ingreso del CX033 es por bocamina 2, esta labor tiene una sección de labor de 4.50 x 4.00 m. se realizan con un Jumbo S1 D atlas copco de 01 brazo y se tiene como media de avance en la línea base de 2,91 metros. A continuación, se detallará las propiedades geomecánicas y características de perforación de la mina en mención.

Tabla 32

Propiedades geomecánicas

Propiedades geomecánicas	
Tipo de roca	Granodiorita y diorita
Densidad de roca	2.8 gr/cm ³
RQD	80 %
Resistencia a la compresión	130 MPa
Longitud efectiva de perforación	3.30 m.
Diámetro de broca	45 mm.
Diámetro de rimadora	102 mm.

El diámetro del taladro equivalente y el error de perforación se halla bajo el mismo procedimiento del SN728:

Tabla 33

Características de la perforación

Características de la perforación	
Diámetro del taladro equivalente	204 mm.
Error de perforación (Arranque, cuadradores y producción)	0.035 m.
Error de perforación (Corona y arrastres)	0.50 m.

A. Cálculo de la malla de perforación

Considerando la figura 13 del esquema de carguío se procede a hallar el factor de carguío para la malla del CX033:

Tabla 34

Factor de carguío

Distribución de taladros	Long. taladro (m)	Espacio vacío (m)	Factor de carguío
Arranque	3.30	0.50	84.85%
Arrastre	3.30	0.50	84.85%
Producción	3.30	1.00	69.70%
Hastiales	3.30	1.00	69.70%
Corona	3.30	1.50	54.55%

El factor de acoplamiento se considera al igual que la tabla 28.

Tabla 35

Factor de acoplamiento

Factor de acoplamiento	Valores
Arranque	100%
Arrastre	90%
Producción	100%
Hastiales	100%
Corona	100%

El factor de seguridad de la zona del arranque es igual que la tabla 29, los demás son ajustes prácticos según la necesidad del frente a perforar.

Tabla 36

Factor de seguridad

Factor de seguridad	Valores
Arranque	7.5
Ayuda	6.0
Subayuda	5.0
Cuadradores	4.0
Arrastre	3.0
Producción	2.0
Hastiales	2.0
Corona	2.0

Hallando la formula del modelo de áreas de influencia para la malla de perforación del CX033:

$$Bn = \phi x \left(\frac{Pod x F_c x A}{Fs x \sigma_c x RQD} \right) + 1$$

Primer cuadrante:

- **Arranque:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} x \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} x 0.8485 x 1}{7.5 x 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} x 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 29.5 \text{ cm}$$

Segundo cuadrante:

- **Ayuda:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{6 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 35.7 \text{ cm}$$

Tercer cuadrante:

- **Subayuda:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{5 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 41.9 \text{ cm}$$

Cuarto cuadrante:

- **Cuadradores:**

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 1}{4 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 51 \text{ cm}$$

Arrastre:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.8485 \times 0.9}{3 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 61 \text{ cm}$$

Producción:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.6970 \times 1}{2 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 81 \text{ cm}$$

Hastiales:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.6970 \times 1}{2 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 81.4 \text{ cm}$$

Corona:

$$Bn = 4.5 \text{ cm} \times \left(\frac{52005.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.5455 \times 1}{2 \times 1325.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 0.80} \right) + 1$$

$$Bn = 64.7 \text{ cm}$$

Por último, se emplea la fórmula del burden ideal considerando el error de perforación hallado anteriormente con la Ecu. 4.

$$Bi = Bn - E_p$$

Tabla 37

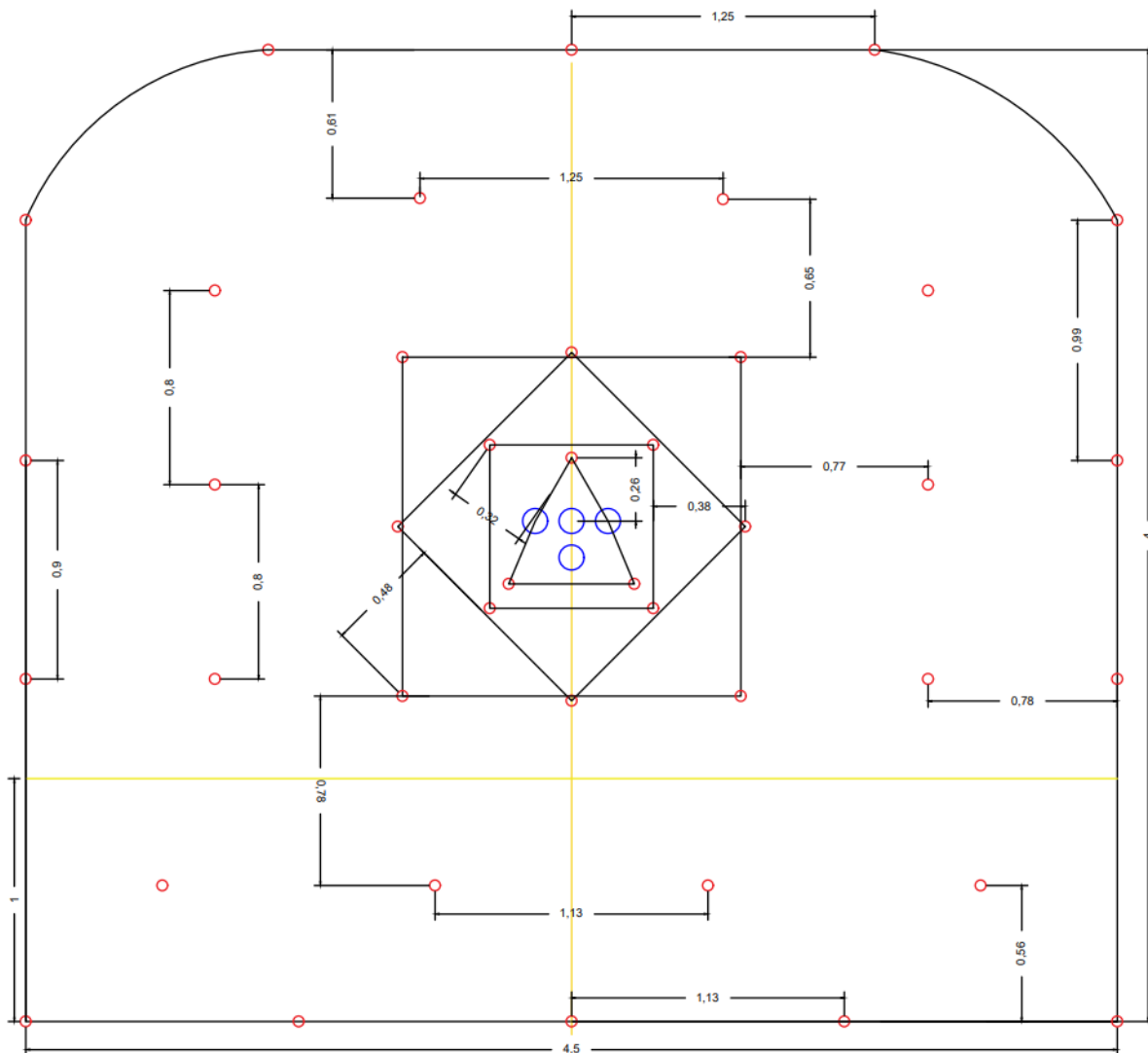
Burden ideal

	Burden nominal (cm)	Error de perforación (cm)	Burden ideal (cm)
Arranque	29.5	3.49	26
Ayudas	35.7	3.49	32
Subayudas	41.9	3.49	38
Cuadradores	51	3.49	48
Arrastre	61	4.98	56
Producción	81	3.49	78
Hastiales	81.4	3.49	78
Corona	64.7	4.98	60

El diseño y distribución de taladros de la malla 4.50 x 4.00 m del CX033 se muestra a continuación:

Figura 14

Diseño de malla de perforación del CX033 SW



B. Cálculo de la carga explosiva

Considerando el mismo procedimiento para hallar la carga explosiva del SN728 se detalla a continuación la del CX033:

Tabla 38

Carga explosiva para el CX033 del modelo matemático de áreas de influencia

	Arranque	Producción	Hastiales	Corona	Arrastres
Superfam dos/taladro	3.56 kg.	2.93 kg.	2.93 kg.	2.29 kg.	0
Emulnor 3000 1" x 12"/taladro	0.27 kg.	0.27 kg.	0.27 kg.	0.27 kg.	2.93 kg.
Cantidad de taladros	15 und.	12 und.	4 und.	5 und.	5 und.
Total de superfam dos	53.44 kg.	35.12 kg.	11.71 kg.	11.45 kg.	0
Total de emulnor 3000 1" x 12"	3.99 kg.	3.19 kg.	1.06 kg.	1.33 kg.	14.63 kg.
Total de explosivo	57.43 kg.	38.31 kg.	12.77 kg.	12.78 kg.	14.63 kg.

Tabla 39

Carga total de explosivo del CX033

Total de explosivo en la malla del CX033	
Total de superfam dos	24.20 kg.
Total de emulnor 3000 1" x 12"	111.71 kg.
Total de explosivo	135.91 kg.

4.3 Resultados post implementación del modelo matemático de áreas de influencia

En este capítulo hacemos el mismo tratamiento de los datos antes de la implementación del modelo, pero en este caso se muestra el post de la implementación, solo se contará con 20 voladuras en el SN728 y 9 voladuras en el CX033 debido a que fue el tiempo que se nos permitió realizar las pruebas.

4.3.1 Recolección de datos del SN728 y CX033 julio 2023

A. Frente de avance SN728

Los avances por disparo después de la implementación del modelo matemático de áreas de influencia mejoraron considerablemente teniendo avances de 2.80 a 3.05 m. en el SN728, estos avances por disparo se mostrarán como datos estadísticos posteriormente.

Tabla 40

Datos de consumo de aceros de perforación SN728 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Aceros de perforación			
			Broca de 45mm	Rimadora de 102mm	Barras 12'	Shank adapter
Jul - Sem 1	6	17.63	27	0.6	1.5	0.6
Jul - Sem 2	6	18.03	27	0.6	1.5	0.6
Jul - Sem 3	5	14.95	23	0.5	1.25	0.5
Jul - Sem 4	3	8.70	14	0.3	0.75	0.3
Total	20	59.31	91	2	5	2
Precio Unitario			\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96
Importe (USD)			\$ 4,590.50	\$ 488.05	\$ 1,996.56	\$ 405.92
Costo/metro (USD/m)			\$ 77.40	\$ 8.23	\$ 33.66	\$ 6.84

Nota, El seguimiento de la post implementación fue el mes de julio del presente año.

Los aceros de perforación utilizados en el SN728 son considerables al ser una roca dura en la labor.

- Se utilizan de 4 a 5 brocas de 45mm. por cada voladura.
- Para perforar los taladros de alivio se utiliza la rimadora de 102mm. esta tiene una duración de 6 a 10 voladuras en el SN728.
- El tiempo de vida de la barra de 12 pies es cada 4 voladuras.
- El shank adapter se cambia cada 10 voladuras en el SN728.

De acuerdo al seguimiento que se realizó al SN728 se necesitaba de cuatro sacos de 25kg de superfam dos y una caja de emulnor 3000 1" x 12" de la marca FAMESA para poder emplear la voladura en el frente en mención.

Tabla 41

Datos de consumo de explosivo SN728 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Superfam Dos (kg)	Explosivo		Total de explosivo (kg)
				Emulnor 3000 1" x 12" (und)		
Jul - Sem 1	6	17.63	600	564		750
Jul - Sem 2	6	18.03	600	564		750
Jul - Sem 3	5	14.95	500	470		625
Jul - Sem 4	3	8.70	300	282		375
Total	20	59.31	2000	1880		2500
Precio Unitario			\$ 0.81	\$ 2.24		\$ 2.34
Importe			\$ 1,628.40	\$ 4,214.96		\$ 5,843.36
Costo/metro (USD/m)			\$ 27.46	\$ 71.07		\$ 98.52

Tabla 42

Datos de consumo de accesorios de voladura SN728 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Accesorios			
			Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)
Jul - Sem 1	6	17.63	216	6	109	3.00
Jul - Sem 2	6	18.03	216	6	145	3.00
Jul - Sem 3	5	14.95	180	5	127	2.50
Jul - Sem 4	3	8.70	108	3	70	1.50
Total	20	59.31	720	20	451	10.0
Precio Unitario			\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50
Importe			\$ 1,316.88	\$ 16.52	\$ 106.44	\$ 4.96
Costo/metro (USD/m)			\$ 22.20	\$ 0.28	\$ 1.79	\$ 0.08

Nota, los accesorios de voladura son proporcionados por FAMESA.

Tabla 43

Datos de mano de obra SN728 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Mano de obra					
			Operador de Jumbo	Ayudante de Jumbo	Cargadores/desatadores	Operador de Scoop	Capataz	Jefe de guardia
Jul - Sem 1	6	17.63	2.83	2.83	5.67	2.00	1.50	1.20
Jul - Sem 2	6	18.03	2.83	2.83	5.67	2.00	1.50	1.20
Jul - Sem 3	5	14.95	2.50	2.50	5.00	1.67	1.25	1.00
Jul - Sem 4	3	8.70	1.50	1.50	3.00	1.00	0.75	0.60
Total	20	59.31	10	10	19	6.7	5	4
Precio Unitario			\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	21.70	30.38	\$ 52.08
Importe			\$ 209.77	\$ 151.09	\$ 335.63	144.67	151.90	\$ 208.32
Costo/metro (USD/m)			\$ 3.54	\$ 2.55	\$ 5.66	2.44	2.56	\$ 3.51

B. Frente de avance CX033

Los avances por disparo después de la implementación del modelo matemático de áreas de influencia en el CX033 mejoraron considerablemente teniendo avances de 3.05 a 3.20 m., estos avances por disparo se mostrarán como la media de los datos estadísticos en la tabla 48.

Tabla 44

Datos de consumo de aceros de perforación CX033 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Aceros de perforación			
			Broca de 45mm	Rimadora de 102mm	Barra 12'	Shank adapter
Jul - Sem 1	5	15.55	4	0.50	1.00	0.50
Jul - Sem 2	4	12.40	4	0.40	0.80	0.40
Total	9	27.95	8	0.9	1.8	0.9
Precio Unitario			\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96
Importe			\$ 403.56	\$ 219.62	\$ 718.76	\$ 182.66
Costo/metro (USD/m)			\$ 14.44	\$ 7.86	\$ 25.72	\$ 6.54

Los aceros de perforación utilizados en el CX033 se detallarán a continuación:

- Se utilizan de una broca de 45mm. para perforar todo el frente.
- Para perforar los taladros de alivio se utiliza la rimadora de 102mm. esta tiene una duración de 10 voladuras en el CX033.
- El tiempo de vida de la barra de 12 pies es cada 4 voladuras.
- El shank adapter se cambia cada 19 voladuras en el CX033.

En el CX033 se consideró utilizar 110kg del explosivo a granel superfam dos por las dimensiones de la labor y para lograr una voladura óptima. El explosivo encartuchado utilizado en mina morritos es emulnor 1 1/4x12" 3000 y en esta labor se utilizan 94 unidades es decir una caja completa.

Tabla 45

Datos de consumo de explosivo CX033 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Explosivo		
			Superfam Dos (kg)	Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)
Jul - Sem 1	5	15.55	550	470	675
Jul - Sem 2	4	12.40	440	376	540
Total	9	27.95	990	846	1215
Precio Unitario			\$ 0.81	\$ 2.24	\$ 2.22
Importe			\$ 806.06	\$ 1,896.73	\$ 2,702.79
Costo/metro (USD/m)			\$ 28.84	\$ 67.86	\$ 96.70

Tabla 46

Datos de consumo de accesorios de voladura CX033 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Accesorios			
			Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)
Jul - Sem 1	5	15.55	205	5	115	2.50
Jul - Sem 2	4	12.40	164	4	90	2.00
Total	9	27.95	369	9	205	4.5
Precio Unitario			\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50
Importe			\$ 674.90	\$ 7.43	\$ 48.38	\$ 2.23
Costo/metro (USD/m)			\$ 24.15	\$ 0.27	\$ 1.73	\$ 0.08

En la tabla 47 consideramos la mano de obra que está directamente implicada en perforación y voladura de la labor:

- El operador de jumbo al igual que su ayudante son programados para dos a tres labores en las fechas del seguimiento.
- Los cargadores y desatadores son dos personas que se dedican a realizar trabajos en dos labores por guardia.
- El operador de scoop realiza la limpieza a 3 labores por guardia.
- El capataz supervisa cuatro labores por guardia, es decir 1/4 se considera de esta manera porque se tiene 1 capataz y hace seguimiento a 4 labores.
- El jefe de guardia supervisa cinco labores por turno, es decir 1/5 al dividirlo se obtiene 0.2.

Tabla 47

Datos de mano de obra CX033 julio 2023

Fecha	N° Disparo	Avance (m)	Mano de obra					
			Operador de Jumbo	Ayudante de Jumbo	Cargadores/ desatadores	Operador de Scoop	Capataz	Jefe de guardia
Jul - Sem 1	5	15.55	2.33	2.33	4.67	1.67	1.25	1.00
Jul - Sem 2	4	12.40	2.00	2.00	4.00	1.33	1.00	0.80
Total	9	27.95	4	4	9	3	2	2
Precio Unitario			\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08
Importe			\$ 94.04	\$ 67.71	\$ 150.46	\$ 65.10	\$ 68.36	\$ 93.75
Costo/metro (USD/m)			\$ 3.36	\$ 2.42	\$ 5.38	\$ 2.33	\$ 2.45	\$ 3.35

4.3.2 Datos estadísticos del SN728 y CX033 julio 2023

Para el post se observa una media 2.97 m. que se acerca a nuestro objetivo que es 3.00 m. y el coeficiente de variación del 3% es la homogeneidad de nuestros resultados.

Tabla 48

Estadísticos de avance por disparo SN728

Datos	Valor
N° muestra	20
Media	2.97 m
Desviación estándar	8 cm
Varianza	0.006
Coeficiente de variación	3%

Después de la implementación del modelo matemático de áreas de influencia se tiene una media de 3.10 en el CX033 que se acerca a nuestro objetivo el cual es 3.20 m. y presenta un coeficiente de variación 1.7% con respecto a la homogeneidad de los disparos.

Tabla 49

Estadísticos de avance por disparo CX033

Datos	Valor
Nº muestra	9
Media	3.10 m
Desviación estándar	5 cm
Varianza	0.002
Coefficiente de variación	1.7%

Tabla 50

Indicadores del SN728 y CX033 julio 2023

Frente de avance	Factor de avance	Factor de carga
SN728	42.26 kg/m	3.44 kg/m ³
CX033	43.47 kg/m	2.42 kg/m ³

4.3.3 Costos por metro lineal de avance julio 2023

A. Frente de avance SN728

Al realizar una comparación con los resultados antes y después de la implementación del modelo matemático de \$/m de cada sección se obtiene en el SN728 una reducción en aceros de perforación de 15.79 \$/m y en consumo de explosivos de 37.09 \$/m.

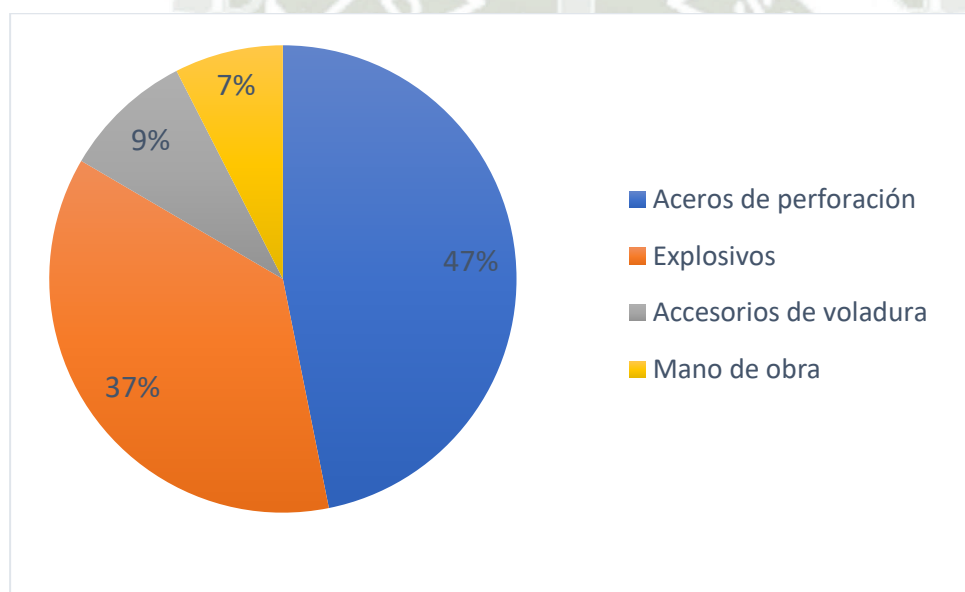
Tabla 51

Costo por metro lineal

Descripción	Importe	Costo / metro
Aceros de perforación	\$ 7,481.02	126.13 \$/m
Explosivo	\$ 5,843.36	98.52 \$/m
Accesorios de voladura	\$ 1,444.79	24.36 \$/m
Mano de obra	\$ 1,201.39	20.26 \$/m
Total	\$ 15,970.56	269.27 \$/m

Figura 15

Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el post del SN728



Según la figura 16, en el SN728 predomina el costo de aceros de perforación con un 47% por el cambio constante de estos por tratarse de una roca dura.

B. Frente de avance CX033

Al realizar una comparación con los resultados antes y después de la implementación del modelo matemático de \$/m de cada sección se obtiene en el CX033 una reducción de accesorios de voladura de 3.95 \$/m y en consumo de explosivos de 5.65 \$/m.

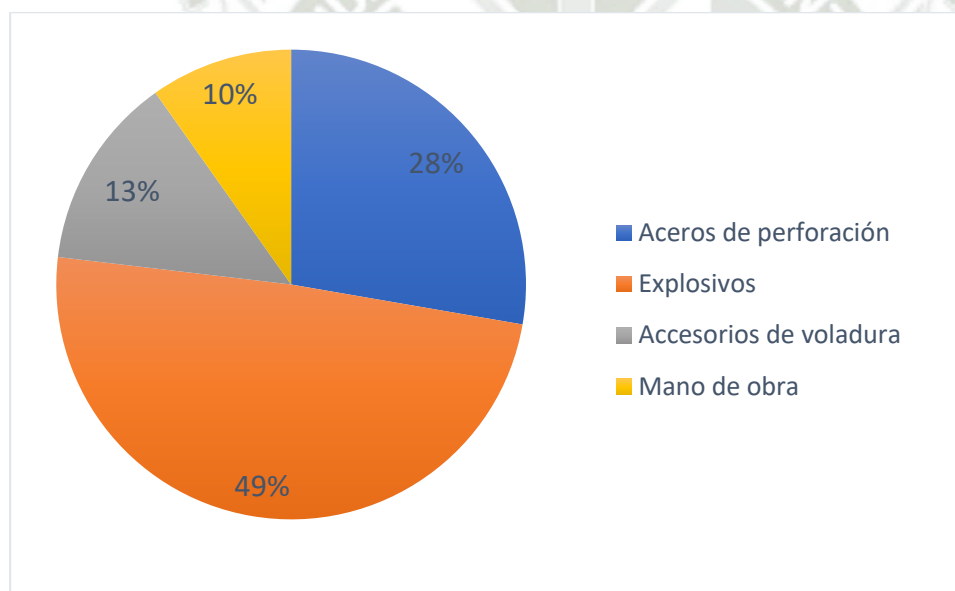
Tabla 52

Costo por metro lineal

Descripción	Importe	Costo / metro
Aceros de perforación	\$ 1,524.61	54.55 \$/m
Explosivo	\$ 2,702.79	96.70 \$/m
Accesorios de voladura	\$ 732.95	26.22 \$/m
Mano de obra	\$ 539.42	19.30 \$/m
Total	\$ 5,499.77	196.77 \$/m

Figura 16

Representación gráfica de los costos de operación por metro lineal en el pre del CX033



Según la figura 17, predomina el costo en la cantidad de explosivo por tratarse de un frente con una sección de 4.50 x 4.00 m. por ende ingresa un total de 110kg de superfam dos. Los aceros de perforación representan un 28% por tratarse de una labor con baja presencia de mineralización.

4.3.4 Resumen

A continuación, se mostrará una tabla del factor de avance y factor de carga pre y post implementación del modelo de áreas de influencia.

Tabla 53

Comparación de indicadores en el SN728

Indicadores	SN728		
	Pre	Post	Mejora
Factor de avance	43.66 kg/m	42.26 kg/m	3%
Factor de carga	3.56 kg/m ³	3.44 kg/m ³	3%

Luego de la implementación del modelo de áreas de influencia se observa una mejora del 3% en el factor de avance y de carga del SN728.

Tabla 54

Comparación de indicadores en el CX033

Indicadores	CX033		
	Pre	Post	Mejora
Factor de avance	46.55 kg/m	43.47 kg/m	7%
Factor de carga	2.59 kg/m ³	2.42 kg/m ³	7%

El factor de avance y factor de carga mejora un 7% en el CX033 después de la implementación del modelo de áreas de influencia.

Para demostrar el objetivo principal de la investigación, se presentará una tabla basada en la media aritmética del avance pre y post implementación del modelo de áreas de influencia.

Tabla 55

Comparación de la media aritmética de avance

Media aritmética de avance	Pre	Post	Mejora
SN 728	2.62 m.	2.97 m.	13.4%
CX 033	2.91 m.	3.10 m.	6.50%

Para demostrar el primer objetivo específico de la investigación, se presenta la siguiente tabla basada en el costo total por metro de avance en el pre y post implementación del modelo de áreas de influencia.

Tabla 56

Comparación del costo por metro en el pre y post

Costo total de perforación y voladura	Pre	Post	Mejora
SN 728	330.71 \$/m	269.27 \$/m	22%
CX 033	211.39 \$/m	196.77 \$/m	7.42%

Como dato adicional la reducción de costo por metro de avance en el SN728 fue de un ahorro de 61.44\$/m y en el CX033 de 14.61\$/m.

Para demostrar el segundo objetivo específico de la investigación, se presenta la siguiente tabla basada en la reducción del coeficiente de variación, el cual esta en proporción a la variabilidad del avance en el pre y post implementación del modelo de áreas de influencia.

Tabla 57

Comparación del coeficiente de variación en el pre y post

Variabilidad del avance	Pre	Post
SN 728	19%	3%
CX 033	7.53%	1.70%

4.4 Prueba de hipótesis

4.4.1 Contrastación de hipótesis general

H_0 = La aplicación del modelo matemático de áreas de influencia mejora el avance en los frentes.

H_1 = La aplicación del modelo de áreas de influencia **no** mejora el avance en los frentes.

De acuerdo a lo tratado en los apartados 4.2 y 4.3 y las tablas 48 y 49 la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia en el SN728 y CX033 mejora notablemente el promedio de avances por disparo. Que para el SN728 representa una mejoría de 35cm en promedio representando este una mejora 13.4% con respecto al promedio de avances antes de la implementación del modelo. De forma semejante el CX033 obtiene una mejora de su promedio de avances de 19cm que representa el 6.5% con respecto al promedio de avances anterior.

Decisión: Se acepta la hipótesis H_0 , por cuanto la aplicación del modelo matemático de áreas de influencias mejora el avance en los frentes en minería subterránea.

4.4.2 Contrastación de hipótesis específicas

A. Primera hipótesis específica

H_0 = La aplicación del modelo matemático de áreas de influencia permite reducir los costos de perforación y voladura en los frentes de avance.

H_1 = La aplicación del modelo matemático de áreas de influencia **no** permite reducir los costos de perforación y voladura en los frentes de avance.

De acuerdo a lo tratado en los apartados 4.2 y 4.3 y las tablas 51 y 52 la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia reduce el costo en \$/m en los frentes de avance. Que para el SN728 es una reducción de 61.44 dólares por cada metro y para el CX033 es una reducción de 14.61 dólares por cada metro.

Decisión: Se acepta la hipótesis H_0 , por cuanto la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia redujo los costos de perforación y voladura en los frentes de avance.

B. Segunda hipótesis específica

H_0 = Es factible reducir la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia.

H_1 = **No** es factible reducir la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia.

De acuerdo a lo tratado en los apartados 4.2 y 4.3 y las tablas 48 y 49 la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia permitió reducir la variabilidad del avance por disparo, que para el SN728 antes de la aplicación del modelo se tenía un coeficiente de variación del 19% y después de la implementación se obtuvo un coeficiente de variación del 3%. De forma semejante se obtuvo una mejora en el CX033 del 7.53% a un 1.70% de coeficiente de variación.

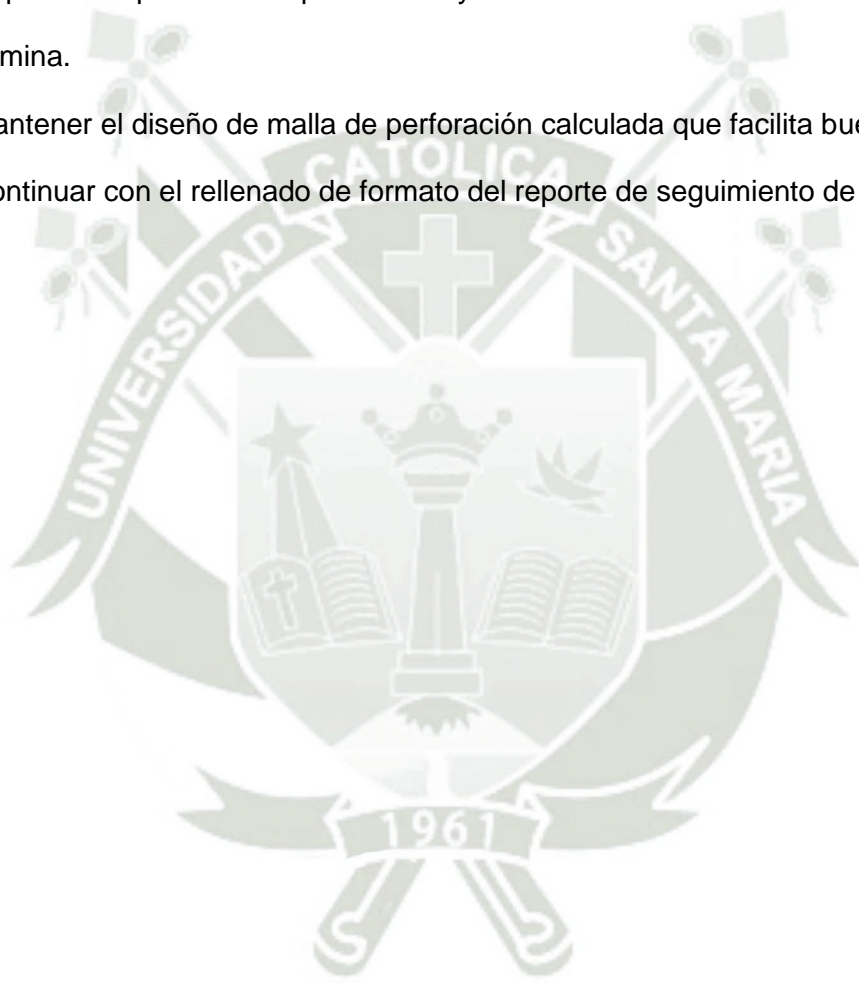
Decisión: Se acepta la hipótesis H_0 , por cuanto es factible reducir la variabilidad del avance por disparo en los frentes de avance después de la aplicación del modelo matemático de áreas de influencia.

CONCLUSIONES

- Aplicar el modelo de áreas de influencia permitió mejorar el avance por disparo de las labores en estudio, en el SN728 se tenía un resultado de 2.62 m. en promedio, el cual mejoro notablemente luego de la implementación, obteniendo una media de avance de 2.97 m. es decir logrando una mejora del 13.4%, en el caso del CX033 el resultado pre implementación fue de 2.91 m. y post implementación se logró un avance en promedio de 3.10 m., el cual refleja un 6.5% de mejora.
- La implementación del modelo de áreas de influencia permitió reducir los costos de perforación y voladura de las labores intervenidas, el SN728 obtuvo una reducción de 61.44 \$/m, es decir un 22%, comparando los resultados en base a la pre-implementación, y el CX033 se logró una reducción de 14.61 \$/m, es decir de 7.42%.
- El seguimiento de las labores en estudio permitió reducir el coeficiente de variación del avance por disparo, en el SN728 antes de la implementación se tenía un 19% y después de la implementación se obtuvo un coeficiente de variación del 3%, en el caso del CX033 se obtuvo una mejora del 7.53% a un 1.70% de coeficiente de variación.

RECOMENDACIONES

- Replicar el seguimiento que se hizo a las labores en estudio a nivel general de todos los frentes de la mina.
- Continuar con la supervisión comprometida de perforación y voladura en los frentes de avance.
- Capacitar al personal en perforación y voladura de frentes con las características de la mina.
- Mantener el diseño de malla de perforación calculada que facilita buenos resultados.
- Continuar con el relleno de formato del reporte de seguimiento de operaciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Pernía Llera, J., Ayala Carcedo, F., López Jimeno, C., & López Jimeno, E. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto Geológico y Minero de España.

Alania Huaricapcha, A. (2023). *Rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del Túnel de Integración Animón Islay de la Minera Chungar [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión,]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3262>

Atlas de rocas ígneas. (2014). Obtenido de <https://petroigneas.wordpress.com/tiposrocosos/afloramientos-en-rocas-plutonicas/tonalita/>

Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. EE.UU: A Wiley.

Cconislla Huamani, E., & Villagomez Arenas, W. (2012). *Diseño de malla de perforación y voladura en el by pass 976 - e, aplicando el modelo matemático: áreas de influencia, en la unidad minera San Genaro - Castrovirreyna compañía minera S.A 2012 [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/588>

Cueva Aguilar, H. (2020). *Reducción de costos de perforación en labores horizontales para mejorar la eficiencia en Minera Virgen de Chapi 87 de Ica S.A.C. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6655>

EXSA. (2013). *Manual práctico de voladura*. Lima.

Ingeoexpert. (19 de Enero de 2018). Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2018/01/19/mineria-cielo-abierto/>

López Jimeno, C. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.

Mantilla, H. R. (2005). *Geología general*. Lima.

Ojeda Mestas, R. W. (2007). *Diseño de malas de perforación y voladura subterránea aplicando un modelo matemático de áreas de influencia*. Perú.

Persson, P.-A., Holmberg, R., & Lee, J. (1993). *Rock blasting and explosives engineering*. New Mexico: 1st Edition.

Pomasoncco Najarro, A., Trujillo Valerio, C., Arauzo Gallardo, L., Raymundo, C., Quispe, G., & Dominguez, F. (2022). Pre-split blasting design to reduce costs and improve safety in underground mining. *Energy Reports*, 1208-1225.

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

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2014). *Perforación y tronadura*. Obtenido de <https://www.sonami.cl/v2/publicaciones/guia-de-operacion-para-la-pequena-mineria-4/>

ANEXOS

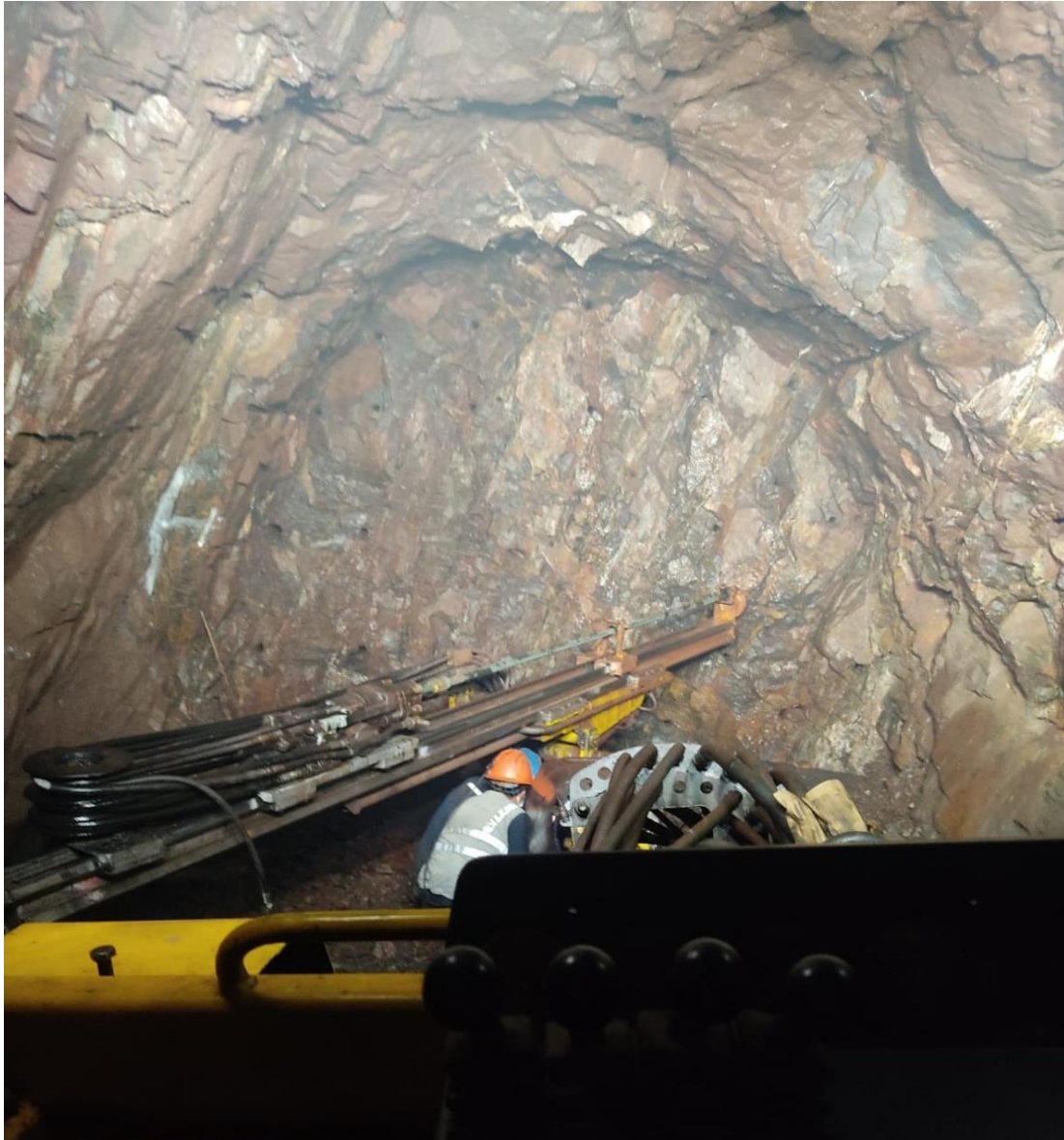
Anexo 1

Perforación según el modelo matemático de áreas de influencia en el SN728



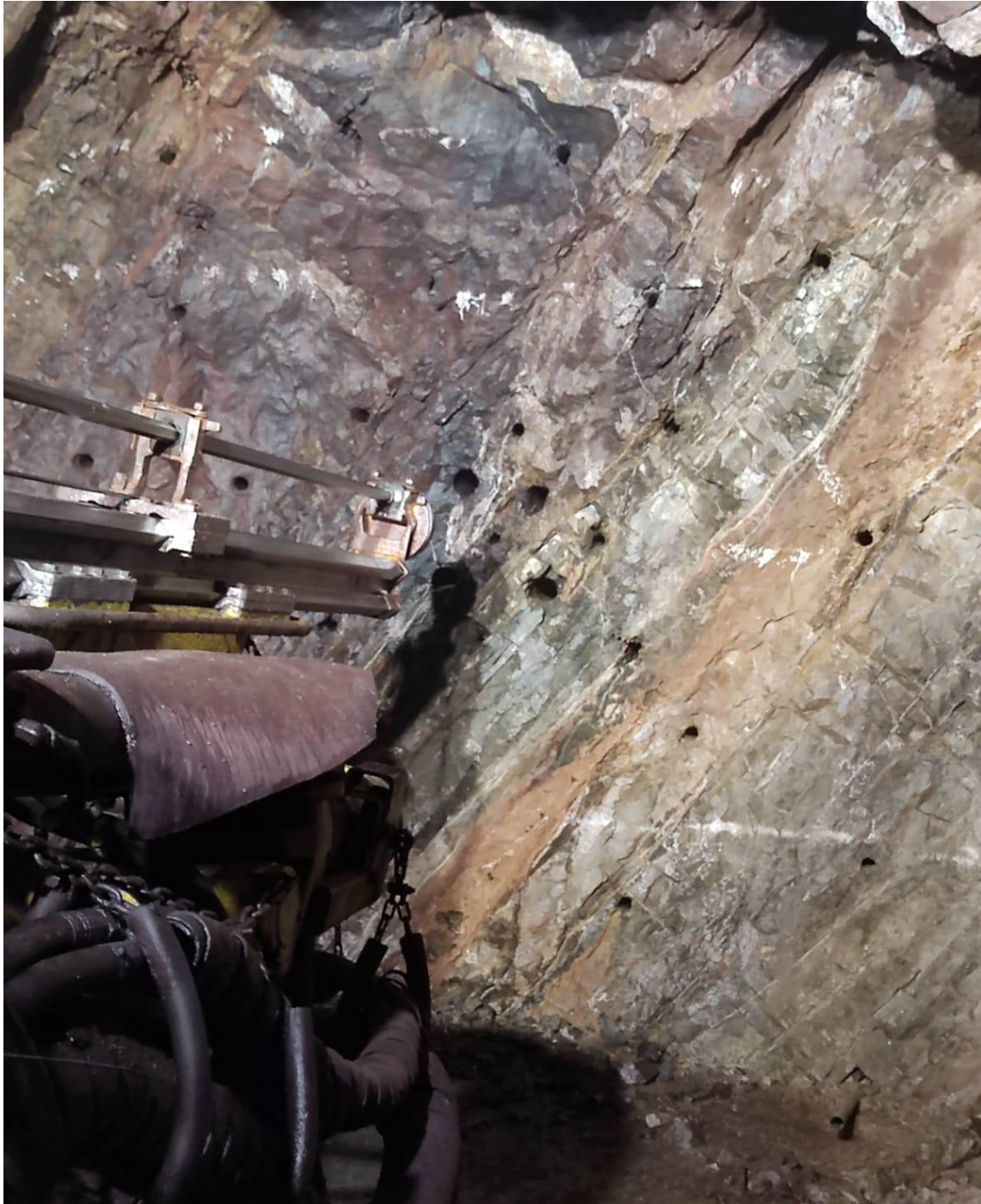
Anexo 2

Perforación según el modelo matemático de áreas de influencia en el CX033



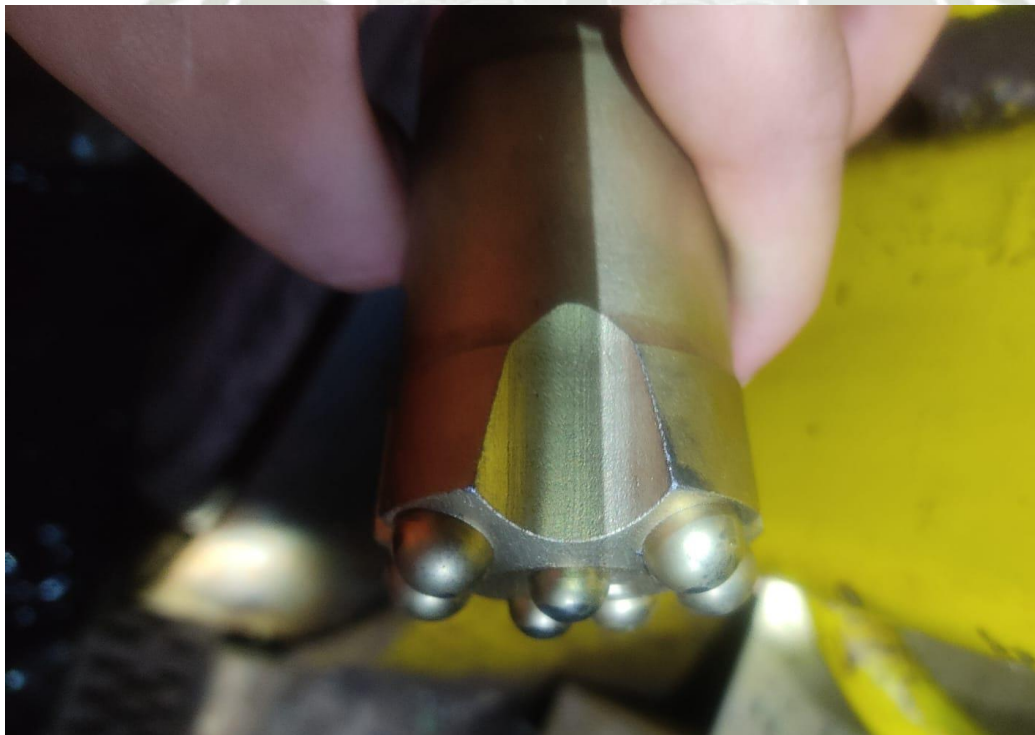
Anexo 3

Perforación de taladros de alivio según el modelo matemático de áreas de influencia en el SN728



Anexo 4

Broca de 45mm en diferentes perfiles utilizada para perforar la malla



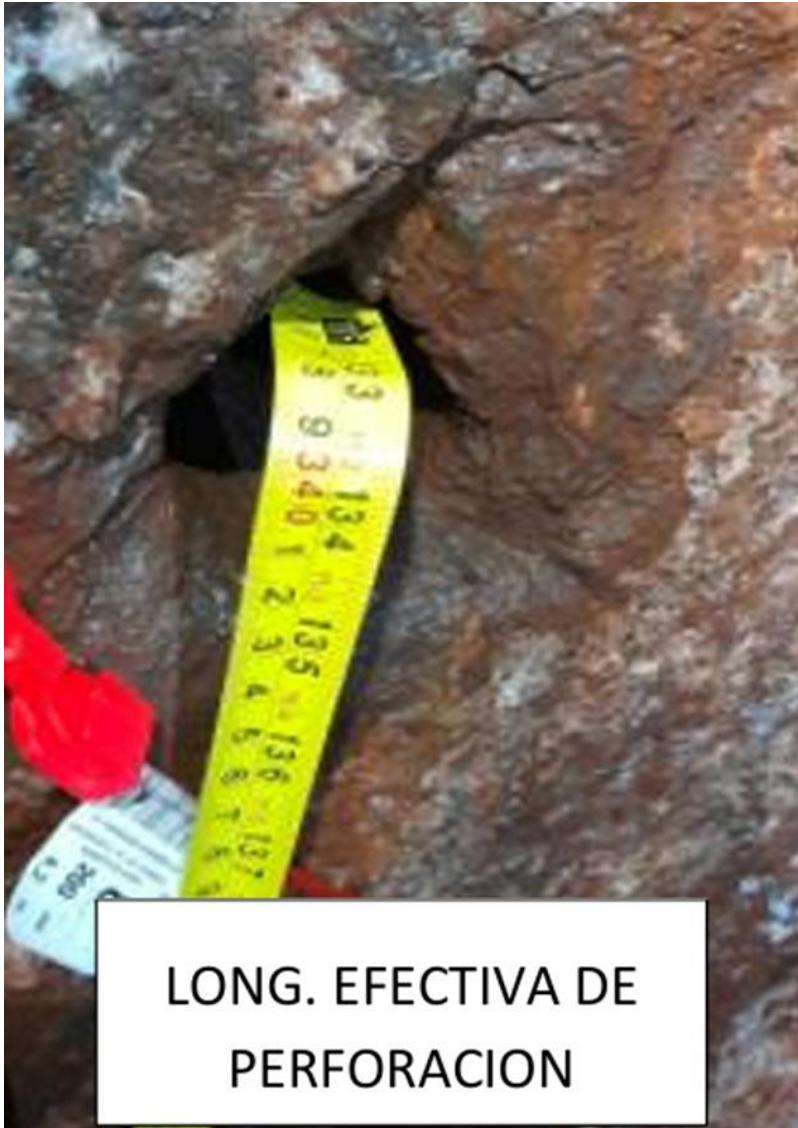
Anexo 5

Brocas de 45mm nuevas y afiladas para perforar la malla



Anexo 6

Longitud efectiva de 3.30m de un taladro de 45mm



Anexo 7

Carguío y acarreo del material fragmentado



Anexo 8 Control de avance SN728 mayo – junio 2023

Fecha	Turno	Nivel	Labor	Sección	N° taladros	N° taladros vacíos	Medidas desde la referencia			Aceros de perforación				Mano de obra					Explosivo			Accesorios				Factor de Avance	Factor de Carga		
							Anterior	Actual	Diferencia	Brocas de 45mm	Rimadora de 102mm	Barras 12"	Shank	Operador de Jumbo	Ayudante de J.	Cargadores/d estadores	Operador de Scoop	Capataz	Jefe de guardia	Superfam Dos (kg)	Emulnor 1" x 12" (und)	3000	Total de explosivo (kg)	Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)			Pentacor (m)	Mecha rápida (m)
3/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	33	3	15.00	18.02	3.02	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	82	96.81	33	1	20	0.5	32.06	2.62	
5/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	38	3	18.02	20.66	2.64	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	85	94	110.00	38	1	30	0.5	41.67	3.40	
7/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	37	3	20.66	23.61	2.95	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	37	1	14	0.5	42.37	3.46	
8/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	40	3	23.61	26.67	3.06	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	100	126.60	40	1	14	0.5	41.37	3.38	
9/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	38	3	26.67	28.83	2.16	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	38	1	25	0.5	57.87	4.72	
10/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	28.83	31.72	2.89	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	85	94	110.00	41	1	30	0.5	38.06	3.11	
12/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	31.72	34.32	2.60	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	34	1	14	0.5	48.08	3.92	
13/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	55	3	34.32	37.42	3.10	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	125	141	162.51	55	1	30	0.5	52.42	4.28	
14/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	42	3	37.42	40.14	2.72	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	376	100.02	42	1	20	0.5	36.77	3.00	
15/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	40.14	41.89	1.75	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	362	362	96.29	35	1	25	0.5	55.02	4.49	
17/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	43	3	41.89	44.91	3.02	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	423	423	112.52	43	1	25	0.5	37.26	3.04	
18/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	8.00	10.40	2.40	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	282	282	75.01	34	1	15	0.5	31.26	2.55	
18/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	10.40	12.90	2.50	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	34	1	25	0.5	50.00	4.08	
19/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	42	3	12.90	15.93	3.03	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	94	94	125.00	42	1	25	0.5	41.26	3.37	
20/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	15.93	18.47	2.54	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	78	95.75	34	1	20	0.5	37.70	3.08	
21/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	44	3	18.47	20.93	2.46	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	106	128.20	44	1	20	0.5	52.11	4.25	
22/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	43	3	20.93	23.41	2.48	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	110	129.26	43	1	20	0.5	52.12	4.25	
23/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	46	3	23.41	25.81	2.40	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	110	115	140.59	46	1	20	0.5	58.58	4.78	
24/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	52	3	25.81	28.70	2.89	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	115	110	144.26	52	1	25	0.5	49.92	4.07	
25/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	28.70	31.40	2.70	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	105	127.93	41	1	18	0.5	47.38	3.87	
25/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	46	3	31.40	34.05	2.65	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	110	129.26	46	1	15	0.5	48.78	3.98	
26/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	42	3	34.05	35.16	1.11	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	50	94	75.00	42	1	18	0.5	67.57	5.52	
26/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	47	3	35.16	37.41	2.25	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	100	126.60	47	1	15	0.5	56.27	4.59	
27/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	43	3	37.41	39.23	1.82	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	43	1	30	0.5	68.68	5.61	
28/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	45	3	7.50	9.20	1.70	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	75	90	98.94	45	1	25	0.5	58.20	4.75	
28/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	43	3	9.20	10.90	1.70	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	43	1	18	0.5	58.83	4.80	
29/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	37	3	10.90	12.75	1.85	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	90	98.94	37	1	25	0.5	53.48	4.37	
29/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	12.75	14.70	1.95	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	44	86.70	41	1	17	0.5	44.46	3.63	
30/05/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	37	3	14.70	16.55	1.85	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	60	80	81.28	37	1	25	0.5	43.94	3.59	
30/05/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	48	3	16.55	18.40	1.85	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	60	118	91.39	48	1	75	0.5	49.40	4.03	
1/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	18.40	21.17	2.77	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	35	1	25	0.5	36.10	2.95	
1/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	21.17	23.08	1.91	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	75	98	101.07	34	1	13	0.5	52.92	4.32	
2/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	23.08	26.18	3.10	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	35	1	25	0.5	32.26	2.63	
2/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	26.18	29.26	3.08	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	87.5	78	108.25	34	1	13	0.5	35.15	2.87	
3/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	29.26	32.46	3.20	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	35	1	25	0.5	31.25	2.55	
3/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	32.46	35.56	3.10	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	78	108.25	34	1	13	0.5	34.92	2.85	
4/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	35.56	38.60	3.04	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	35	1	20	0.5	32.90	2.69	
5/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	34	3	7.80	10.85	3.05	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	78	95.75	34	1	13	0.5	31.39	2.56	
7/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	46	3	10.85	13.79	2.94	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	110	129.26	46	1	35	0.5	43.97	3.59	
8/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	39	3	13.79	16.71	2.92	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	90	94	115.00	39	1	15	0.5	39.38	3.22	
8/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	35	3	16.71	19.45	2.74	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	75	94	100.00	35	1	20	0.5	36.50	2.98	
9/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	19.45	22.38	2.93	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	41	1	25	0.5	42.66	3.48	
10/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	39	3	22.38	25.38	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	110	129.26	39	1	25	0.5	43.09	3.52	
11/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	40	3	25.38	28.18	2.80	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	120	131.92	40	1	25	0.5	47.11	3.85	
11/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	28.18	30.86	2.68	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	41	1	32	0.5	46.64	3.81	
12/06/2023	D	774	SN728	3.5 x 3.5	42	3	30.86	33.56	2.70	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	120	131.92	42	1	25	0.5	48.86	3.99	
12/06/2023	N	774	SN728	3.5 x 3.5	41	3	33.56	36.45	2.89	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	50	188	100.01	41	1	25	0.5</			

Anexo 9 Control de avance SN728 julio 2023

Fecha	Turno	Labor	Sección	N° taladros	N° taladros vacíos	Medidas desde la referencia			Aceros de perforación				Mano de obra						Explosivo			Accesorios				Factor de Avance	Factor de Carga
						Anterior	Actual	Diferencia	Brocas de 45mm	Rimadora de 102mm	Barras 12"	Shank	Operador de Jumbo	Ayudante de J.	Cargadores /desatadores	Operador de Scoop	Supervisor	Jefe de guardia	Superfam Dos (kg)	Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)	Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)		
3/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	15.00	18.00	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	40.32	3.40
3/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	18.00	20.90	2.90	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	13	0.5	40.59	3.52
4/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	20.90	23.70	2.80	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	39.06	3.64
4/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	23.70	26.70	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	13	0.5	40.32	3.40
6/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	26.70	29.70	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	20	0.5	41.12	3.40
8/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	29.70	32.63	2.93	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	13	0.5	40.98	3.48
10/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	32.63	35.68	3.05	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	35	0.5	42.52	3.35
10/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	35.68	38.76	3.08	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	15	0.5	42.81	3.31
11/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	38.76	41.71	2.95	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	20	0.5	45.62	3.46
12/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	41.71	44.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	42.66	3.40
15/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	44.71	47.71	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	41.67	3.52
15/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	47.71	50.71	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	44.64	3.35
17/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	50.71	53.71	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	32	0.5	46.64	3.40
18/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	53.71	56.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	46.30	3.35
18/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	56.71	59.71	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	43.25	3.52
20/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	59.71	62.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	46.99	3.46
20/07/2023	N	SN728	3.5 x 3.5	36	4	62.71	65.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	20	0.5	39.81	3.35
24/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	65.71	68.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	20	0.5	37.88	3.52
25/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	68.71	71.71	3.00	4	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	42.23	3.64
26/07/2023	D	SN728	3.5 x 3.5	36	4	71.71	74.71	3.00	5	0.1	0.25	0.1	0.5	0.5	1.0	0.3	0.25	0.2	100	94	125.00	36	1	25	0.5	39.31	3.40
Total						59.31	91	2	5	2	10	10	19	6.7	5	4	2,000	1880	2500.08	720	20	451	10	42.26	3.44		
Precio Unitario						\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96	\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08	\$ 0.81	\$ 2.24	\$ 2.34	\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50					
Importe (USD)						\$ 4,590.50	\$ 488.05	\$ 1,996.56	\$ 405.92	\$ 209.78	\$ 151.04	\$ 335.65	\$ 144.68	\$ 151.91	\$ 208.33	\$ 1,628.40	\$ 4,214.96	\$ 5,843.36	\$ 1,316.88	\$ 16.52	\$ 106.44	\$ 4.96					
Costo/metro (USD/m)						\$ 77.27	\$ 8.21	\$ 33.61	\$ 6.83	\$ 3.53	\$ 2.54	\$ 5.65	\$ 2.44	\$ 2.56	\$ 3.51	\$ 27.41	\$ 70.95	\$ 98.36	\$ 22.17	\$ 0.28	\$ 1.79	\$ 0.08					



Anexo 10 Control de avance CX033 mayo - junio 2023

Fecha	Turno	Nivel	Labor	Sección	N° taladros	N° taladros vados	Medidas desde la referencia			Aceros de perforación				Mano de obra					Explosivos			Accesorios						
							Anterior	Actual	Diferencia	Brocas de 45mm	Rimadora de 102mm	Barras 12'	Shank Adapter	Operador de Jumbo	Ayudante de J.	Cargadores/desatadores	Operador de Scop	Supervisor	Jefe de guardia	Superfam Dos (kg)	Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)	Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)	Mecha rápida (m)	Factor de Avance	Factor de Carga
2/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	46	3	15.00	17.80	2.80	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	110	139.26	46	1	18	0.5	49.74	2.76
4/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	47	3	17.80	20.88	3.08	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	110	139.26	47	1	25	0.5	45.21	2.51
8/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	20.88	23.78	2.90	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	100	100	126.60	44	1	20	0.5	43.66	2.43
13/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	23.78	26.38	2.60	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	51.92	2.88
15/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	26.38	29.56	3.18	1	0.1	0.2	0.1	0.33	0.33	0.7	0.3	0.25	0.2	110	88	133.41	44	1	20	0.5	41.95	2.33
17/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	45	3	29.56	32.66	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	45	1	25	0.5	43.55	2.42
18/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	32.66	35.86	3.20	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	2	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	20	0.5	42.19	2.34
18/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	35.86	38.96	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	120	100	146.60	44	1	20	0.5	47.29	2.63
19/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	38.96	41.66	2.70	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	50.00	2.78
20/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	41.66	44.75	3.09	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	110	139.26	44	1	28	0.5	45.07	2.50
21/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	47	3	44.75	47.25	2.50	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	47	1	25	0.5	54.00	3.00
22/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	45	3	8.00	11.00	3.00	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	45	1	25	0.5	45.00	2.50
24/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	43	3	11.00	13.97	2.97	1	0.1	0.2	0.1	0.33	0.33	0.7	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	43	1	25	0.5	45.46	2.53
25/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	47	3	13.97	16.62	2.65	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	47	1	25	0.5	50.94	2.83
26/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	16.62	19.82	3.20	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	42.19	2.34
27/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	19.82	22.42	2.60	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	51.92	2.88
28/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	46	3	22.42	25.02	2.60	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	46	1	18	0.5	51.92	2.88
29/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	25.02	27.97	2.95	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	45.76	2.54
29/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	27.97	30.97	3.00	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	63	126.76	44	1	12	0.5	42.25	2.35
30/05/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	30.97	33.99	3.02	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	44.70	2.48
30/05/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	42	3	33.99	36.97	2.98	1	0.1	0.2	0.1	0.33	0.33	0.7	0.3	0.25	0.2	135	94	160.00	42	1	30	0.5	53.69	2.98
5/06/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	42	3	36.97	39.77	2.80	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	42	1	25	0.5	48.22	2.68
6/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	45	3	39.77	42.74	2.97	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	45	1	25	0.5	45.46	2.53
6/06/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	15.20	18.00	2.80	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	48.22	2.68
7/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	18.00	21.10	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	20	0.5	43.55	2.42
8/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	45	3	21.10	23.90	2.80	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	45	1	25	0.5	48.22	2.68
8/06/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	23.90	27.00	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	20	0.5	43.55	2.42
12/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	27.00	30.00	3.00	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	45.00	2.50
13/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	30.00	32.70	2.70	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	25	0.5	50.00	2.78
14/06/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	32.70	35.79	3.09	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	44	1	20	0.5	43.69	2.43
14/06/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	45	3	35.79	38.19	2.40	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	45	1	25	0.5	56.25	3.13
15/06/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	44	3	38.19	41.29	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	25	116.65	44	1	20	0.5	37.63	2.09
Total							93.08	28	3.2	6.4	3.2	16	16	32	11	8	6	3,545	2,962	4,332.89	1421	32	741	16	46.55	2.99		
Precio Unitario							\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96	\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08	\$ 0.81	\$ 2.24	1.41	\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50					
Importe (USD)							\$ 1,412.46	\$ 780.88	\$ 2,555.60	\$ 649.47	\$ 336.37	\$ 242.19	\$ 555.56	\$ 231.48	\$ 243.06	\$ 333.33	\$ 2,886.34	\$ 6,640.80	\$ 9,527.14	\$ 2,599.01	\$ 26.43	\$ 174.88	\$ 7.93					
Costo/metro (USD/m)							\$ 15.17	\$ 8.39	\$ 27.46	\$ 6.98	\$ 3.61	\$ 2.60	\$ 5.97	\$ 2.49	\$ 2.61	\$ 3.58	\$ 31.01	\$ 71.35	\$ 102.35	\$ 27.92	\$ 0.28	\$ 1.88	\$ 0.09					



Anexo 11 Control de avance CX033 julio 2023

Fecha	Turno	Nivel	Labor	Sección	N° taladros	N° taladros vacios	Medidas desde la referencia			Aceros de perforación				Mano de obra						Explosivo						Factor de Avance	Factor de Carga				
							Anterior	Actual	Diferencia	Brocas de 45mm	Rimadora de 102mm	Barras 12'	Shank Adapter	Operador de Jumbo	Ayudante de J.	Cargadores/ desatadores	Operador de Scoop	Supervisor	Jefe de guardia	Superfam Dos (kg)	Emulnor 3000 1" x 12" (und)	Total de explosivo (kg)	Fanel 4.2mts (und)	Carmex (und)	Pentacord (m)			Mecha rápida (m)			
6/07/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	10.00	13.05	3.05	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	25	0.5	44.26	2.46			
7/07/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	13.05	16.15	3.10	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	20	0.5	43.55	2.42			
8/07/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	16.15	19.20	3.05	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	25	0.5	44.26	2.46			
8/07/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	19.20	22.35	3.15	1	0.1	0.2	0.1	0.33	0.33	0.7	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	20	0.5	42.86	2.38			
12/07/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	22.35	25.55	3.20	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	25	0.5	42.19	2.34			
13/07/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	25.55	28.63	3.08	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	25	0.5	43.83	2.44			
14/07/2023	D	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	28.63	31.75	3.12	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	20	0.5	43.27	2.40			
14/07/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	31.75	34.90	3.15	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	25	0.5	42.86	2.38			
15/07/2023	N	735	CX033	4.5 x 4.0	41	4	34.90	37.95	3.05	1	0.1	0.2	0.1	0.50	0.50	1	0.3	0.25	0.2	110	94	135.00	41	1	20	0.5	44.26	2.46			
Total							27.95			8	0.9	1.8	0.9	4	4	9	3	2	2	990	846	1215.04	369	9	205	4.5	43.47	2.42			
Precio Unitario							\$ 50.45	\$ 244.02	\$ 399.31	\$ 202.96	\$ 21.70	\$ 15.63	\$ 17.36	\$ 21.70	\$ 30.38	\$ 52.08	\$ 0.81	\$ 2.24	\$ 2.22	\$ 1.83	\$ 0.83	\$ 0.24	\$ 0.50								
Importe (USD)							\$ 403.56	\$ 219.62	\$ 718.76	\$ 182.66	\$ 94.04	\$ 67.71	\$ 150.46	\$ 65.10	\$ 68.36	\$ 93.75	\$ 806.06	\$ 1,896.73	\$ 2,702.79	\$ 674.90	\$ 7.43	\$ 48.38	\$ 2.23								
Costo/metro (USD/m)							\$ 14.44	\$ 7.86	\$ 25.72	\$ 6.54	\$ 3.36	\$ 2.42	\$ 5.38	\$ 2.33	\$ 2.45	\$ 3.35	\$ 28.84	\$ 67.86	\$ 96.70	\$ 24.15	\$ 0.27	\$ 1.73	\$ 0.08								

