

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización del número de taladros mediante la
implementación de malla de perforación y voladura en la
rampa 440 – Mina Macdesa**

Miguel Angel Davila Candiotti

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Elmer Dávila y Gladys Candiotti, quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en cada logro obtenido y, sobre todo, en cada tropiezo, a ellos el mejor porvenir y los mejores deseos. A mis hermanos, Marco y Carolina, quienes me acompañaron en la consolidación de mis valores y por apoyarme siempre. A cada uno de mis familiares que siempre me dieron la mano cuando lo necesitaba, uno de ellos es mi tío Samuel, quien me incentivó a buscar nuevos horizontes. A todos ellos, gracias.

A la Universidad Continental, por haberme permitido estudiar en sus aulas; al ingeniero Benjamín Ramos por siempre confiar en mí y guiarme en la elaboración de este trabajo de investigación. A la mina MACDESA, por darme la oportunidad de laborar; a cada colaborador que me dio el respaldo para la realización de este trabajo.

Finalmente, a todas las personas que, directa o indirectamente, aportaron para la realización de este trabajo. Bendiciones a todos ellos.

DEDICATORIA

A Dios, por tanto; a mis padres, hermanos y a todas las personas que me han ayudado a ser mejor persona sin esperar nada a cambio.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE GRÁFICOS	IX
LISTA DE ANEXOS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	16
1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	16
1.3.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	16
1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	17
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	17
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	17
1.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	17
1.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	17
1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES	17
1.6. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	18
1.7. DEFINICIÓN CONCEPTUAL	19
1.7.1. Caracterización geomecánica RMR.....	19
1.7.2. Malla de perforación y voladura	19
1.7.3. Costos de perforación y voladura.....	19
1.7.4. Tiempo de perforación.....	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.2. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.	24
2.2.1. UBICACIÓN.....	24
2.2.2. ACCESIBILIDAD	26
2.2.3. MARCO GEOLÓGICO	26
2.2.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA	33
2.2.5. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN.....	35
2.2.6. PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	37
2.3. BASES TEÓRICAS	38
2.3.1. FÓRMULAS MATEMÁTICAS	39
2.3.2. BASE TEÓRICA EXPLOSIVOS.....	46

2.3.3.	PERFORACIÓN GENERALIDADES	50
2.3.4.	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	52
2.3.5.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	57
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		59
3.1.	MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.1.1.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.1.2.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.2.1.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	60
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	60
3.3.1.	POBLACIÓN.....	60
3.3.2.	MUESTRA	60
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	61
3.4.1.	TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.4.2.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	61
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
4.1.	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR SEGÚN BIENIAWSKI.....	62
4.1.1.	Resistencia a la Compresión Uniaxial.....	62
4.1.2.	Índice de Calidad de Roca RQD	62
4.1.3.	Índice de Calidad de Roca RQD	65
4.2.	DISEÑO DE MALLA 4.0m x 4.0m	67
4.3.	INDICADORES Y DISTRIBUCIÓN DE VOLADURA CALCULADOS.....	71
4.4.	DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN PROPUESTA.....	72
4.5.	DISPAROS APLICADOS CON LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PROPUESTA	73
4.6.	RESUMEN COSTOS UNITARIOS.....	74
4.7.	ANÁLISIS DE INDICADORES Y RESUMEN DE TABLAS.....	76
4.7.1.	Factores Operacionales	76
4.7.2.	Tiempos de Perforación	79
4.7.3.	Costos Operacionales	80
4.7.4.	Cuadros Comparativos.....	82
4.8.	AHORRO Y PROYECCIONES	84
4.8.1.	Ahorro en Aceros de Perforación	84
4.8.2.	Ahorro en Perforación y Accesorios.....	84
4.8.3.	Ahorro En Explosivos Y Accesorios De Voladura	85
4.8.4.	Ahorro Y Proyección Total.	85
CONCLUSIONES.....		87
RECOMENDACIONES		88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		89
ANEXOS		91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Fórmulas para determinar el valor del Burden.....	41
Tabla 2: Distancia calculada entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.	43
Tabla 3: Coeficiente calculado entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.	43
Tabla 4: Sistema RMR según Bieniawski.	53
Tabla 5: Resultados del ensayo de Compresión Simple Uniaxial.	62
Tabla 6: Logeo de metros de profundidad de testigos BQ, Zona rampa	62
Tabla 7: Aplicación del sistema RMR según Bieniawski: Tramo 825-875m.....	65
Tabla 8: Aplicación del sistema RMR según Bieniawski: Tramo 875-925m.....	66
Tabla 9 : Datos proyectados de la malla.....	71
Tabla 10: Indicadores de la malla	71
Tabla 11: Distribución de carga calculada con la nueva malla	71
Tabla 12: Datos obtenidos después de haber aplicado la malla propuesta	73
Tabla 13: Análisis de costos unitarios y ahorro por ítem.	74
Tabla 14: Factores de voladura de acuerdo al tipo de roca.....	76
Tabla 15: Ahorro y proyección del costo en aceros de perforación.....	84
Tabla 16: Ahorro y proyección del costo en perforación y accesorios.....	84
Tabla 17: Ahorro y proyección en explosivos y accesorios de voladura.	85
Tabla 18: Ahorro y proyecciones totales por disparo.....	86
Tabla 19: Registro de datos de los disparos realizados en el inicio de las pruebas.	95
Tabla 20: Análisis detallado de costos unitarios del promedio histórico	96
Tabla 21: Análisis detallado de costos unitarios con la malla propuesta.....	99
Tabla 22: Análisis detallado del ahorro obtenido con la malla propuesta.....	102
Tabla 23: Tiempos de perforación por taladro.	105
Tabla 24: Tiempos de perforación por taladro.	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la mina.	25
Figura 2: Uso de Cimbras Rampa (-) 440.	36
Figura 3: Esquema de voladura en túneles.	39
Figura 4: Corte de secciones.	41
Figura 5: Resultados de las voladuras para diferentes distancia de barrenos cargados a los vacíos y diámetros de estos	42
Figura 6: Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca.....	47
Figura 7: Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca.....	51
Figura 8: Esquema de los ensayos de carga puntual.	54
Figura 9: Proceso comúnmente usado para evaluar el valor del RQD de un testigo.	56
Figura 10: Diseño de perforación propuesto elaborado en Autocad Civil 3D 2017.	72
Figura 11: Esquema de diseño de investigación.	94
Figura 12: Mapa longitudinal Proyecto Rampa 440 (-)	108
Figura 13: Mapa de planta Proyecto Rampa 440 (-).....	109
Figura 14: Fotografía de las preparaciones para la prueba de carga puntual.	110
Figura 15: Fotografía las pruebas de carga puntual.	110
Figura 16: Fotografía después de haber realizado las pruebas de carga puntual.	111
Figura 17: Fotografía de la evaluación del RQD de testigos.	112
Figura 18: Fotografía del pintado de la malla propuesta, parte superior.	113
Figura 19: Fotografía del frente cargado.....	114
Figura 20: Fotografía de limpieza del frente.	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Factor de avance de los disparos realizados con la malla propuesta.....	77
Gráfico 2: Factor de carga de los disparos realizados con la malla propuesta	77
Gráfico 3: Factor de potencia de los disparos realizados con la malla propuesta.....	78
Gráfico 4: Eficiencia de los disparos realizados con la malla propuesta.	79
Gráfico 5: Tiempos de perforación proyectados.	80
Gráfico 6: Costo por disparo con la nueva malla propuesta.	81
Gráfico 7: Costo por metro de avance	81
Gráfico 8: Factor de carga de los disparos realizados con la malla propuesta.	82
Gráfico 9: Comparación de costos por metro de avance (s/m)	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	92
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables	93
Anexo 3: Concepción o elección del diseño de investigación	94
Anexo 4: Registro de datos de los disparos.....	95
Anexo 5: Análisis detallado de costos unitarios del promedio histórico.....	96
Anexo 6: Análisis detallado de costos unitarios con la malla propuesta.	99
Anexo 7: Análisis detallado del ahorro obtenido con la malla propuesta.	102
Anexo 8: Resumen de los costos por metro de avance	105
Anexo 9: Tiempos de perforación por taladro.	106
Anexo 10: Mapas proyecto rampa	108
Anexo 11: Fotografías registradas de la investigación	110

RESUMEN

La presente investigación titulada “Optimización Del Número De Taladros Mediante La Implementación De Una Malla De Perforación Y Voladura En La Rampa 440 – Mina MACDESA”, aborda el problema de optimizar la cantidad de taladros mediante la aplicación de una nueva malla de perforación en una rampa negativa, y propone como objeto optimizar la cantidad de taladros mediante el diseño de una malla de perforación y aplicarlo en el terreno. La hipótesis supone que, con este estudio, se podrá optimizar la operación de perforación y voladura al disminuir el número de taladros con el que se venía trabajando desde la construcción de esta importante labor.

El tipo de investigación es experimental con enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental, ya que, en una primera fase de la investigación, se evaluará los disparos registrados históricamente sin ser modificados, luego se diseñará y aplicará una malla de perforación en disparos seleccionados de forma no aleatoria para contrastar los resultados. El desarrollo se basó, en primera instancia, en un estudio geomecánico para determinar la calidad del terreno, luego se aplicó algoritmos matemáticos para el diseño de una malla de 4.0m x 4.00m.

Tras la aplicación del diseño, se obtuvieron resultados favorables, comprobando la hipótesis planteada. El número de taladros se redujo de 60 taladros a 56 taladros, lo cual optimiza factores operacionales de perforación y voladura, y costos operativos.

Se concluye que, con la implementación de la malla propuesta, se logró una reducción de 4 taladros; el factor de avance disminuyó de 23.15 kg/ml a 20,53 kg/ml; el factor de carga disminuyó de 1.31 kg/m³ a 1.15 kg/m³; y el factor de potencia disminuyó de 0.49 kg/tn a 0.43 kg/tn.

Finalmente, en cuanto al costo total en voladura, se logró optimizar el costo por disparo de s/. 2,903.55 soles a s/. 2,802.17 soles, lo cual representa un ahorro de s/. 101.4 soles y se proyecta un ahorro de s/. 38,337.86 soles al año.

ABSTRACT

The present research entitled "Optimization of the number of holes through the implementation of a drilling and blasting mesh in Ramp 440 - MACDESA Mine", addresses the problem of optimizing the number of holes by applying a new drilling mesh in a negative ramp, and proposes as an object: to optimize the number of holes by designing a drilling mesh and applying it to the ground. The hypothesis assumes that with this study it will be possible to optimize the drilling and blasting operation by reducing the number of drills with which it has been working since the construction of this important work.

The type of research is experimental with a quantitative approach and a quasi-experimental design, since in a first phase of the research, the historically recorded shots will be evaluated without being modified, then a perforation mesh will be designed and applied in non-randomly selected shots to contrast the results. The development was based in the first instance on a geomechanical study to determine the quality of the terrain, then mathematical algorithms were applied to design a 4.0m x 4.00m mesh.

After applying the design, favorable results were obtained, verifying the hypothesis raised. The number of drills was reduced from 60 drills to 56 drills, which optimizes drill and blast operational factors and operating costs.

It is concluded that with the implementation of the proposed mesh, a reduction of 4 holes was achieved; the advance factor decreased from 23.15 kg / ml to 20.53 kg / ml, the load factor decreased from 1.31 kg / m³ to 1.15 kg / m³ and the power factor decreased from 0.49 kg / tn to 0.43 kg / tn.

Finally, regarding the total blasting cost, it was possible to optimize the firing cost of s / 2,903.55 soles to s / 2,802.17 soles which represents a saving of s / 101.4 soles and a saving of s / 38,337.86 soles per year.

INTRODUCCIÓN

El tema abordado en este trabajo de investigación es el diseño de malla de perforación y voladura para una rampa negativa; esta investigación tiene como título “Optimización Del Número De Taladros Mediante La Implementación De Una Malla De Perforación Y Voladura En La Rampa negativa 440 – Mina MACDESA”. Está situado a medio kilómetro del Centro Poblado menor Cuatro Horas y pertenece a la región Arequipa. El desarrollo de la misma hace uso de fórmulas matemáticas para diseñar una malla de perforación y voladura, analizando la viabilidad económica en el futuro inmediato. La reducción de costos en aceros de perforación y explosivos, el aumento de la eficiencia de voladura y la reducción en tiempos de perforación fueron las aristas desarrolladas dentro de este trabajo de investigación.

El desarrollo de este trabajo de investigación se divide en cuatro capítulos detallados a continuación:

CAPÍTULO I: Este capítulo es el Planteamiento del Estudio, dentro de este apartado se tiene como objetivo presentar una visión general del problema y definir los objetivos que recaen en la aplicación de un diseño de malla estándar para optimización en costos y tiempos en la operación de perforación y voladura convencional en la rampa negativa 440. Asimismo, se definen las hipótesis y las variables de la investigación.

CAPÍTULO II: Marco Teórico, en este capítulo se proporciona la información más importante, la cual sentará las bases científicas tanto en teoría como en trabajos de investigación antecedentes afines al tema tratado.

CAPÍTULO III: Dentro de la Metodología, se precisa el método de investigación científica, la población, la muestra y las técnicas o instrumentos de recolección de datos.

CAPÍTULO IV: En este capítulo, Resultados y Discusión, se detallan los cálculos y los resultados obtenidos para la evaluación geomecánica, resultados de la optimización del número de taladros, eficiencia y ahorro en el costo por metro disparado. Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – Unidad 4 Horas, se encuentra en una etapa crucial para la continuación y profundización de la mina; los problemas que actualmente enfrenta son principalmente de desarrollo, ya que no cuenta con el abastecimiento de energía eléctrica para la disposición de más winches de izaje y ventiladoras.

La profundización de una rampa, más allá de aumentar los volúmenes de extracción, proporcionará una mejor ventilación, ya que, además de la evaluación de los recursos minerales, es la medida más conveniente que se va realizando desde enero del año 2019 hasta el día de hoy. Es por esta razón que la construcción de la Rampa es la solución más adecuada y óptima para el futuro de la mina.

El avance ejecutado durante más de medio kilómetro se ha realizado casi en su totalidad de forma convencional y actualmente no se cuenta con un estándar de malla de perforación para este frente; los disparos han sido medianamente eficientes y la cantidad de taladros en promedio ha sido elevada; esto representa un consumo excesivo en explosivos, aceros de perforación y mano de obra.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Problema General

- ¿Se podrá optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación y voladura para la construcción de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Realizando una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA ayudará en la optimización de la cantidad de taladros?
- ¿Se podrá aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura?
- ¿Se podrá disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación para la construcción de la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa 440 - en la mina MACDESA para el diseño de la malla de perforación y voladura.
- b. Aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura.
- c. Disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. – MACDESA es una organización minera que se encuentra a medio kilómetro del Centro Poblado menor Cuatro Horas (Arequipa), fundado a raíz de la intensa actividad minera en la zona. Este poblado alberga a socios, trabajadores y a sus respectivas familias. MACDESA desde sus inicios ha proporcionado a la comunidad servicios básicos como luz eléctrica, suministro de agua y servicios de salud a través de la enfermería de la empresa que está a disposición de cualquier persona. Del mismo modo, la organización apoya la educación de los hijos de los trabajadores y socios de la escuela local mediante la contratación de profesores. Los 329 socios y 91 trabajadores de la empresa se benefician de las actividades responsables de MACDESA y contribuyen con su trabajo e ideas al desarrollo sostenible de su actividad minera y su entorno.

Sin embargo, la mina se enfrenta a un problema operacional; es decir, cada vez las zonas de producción se encuentran alejadas en cota y distancia longitudinal, y necesita profundizar. En este sentido, la construcción de la rampa representa la mejor opción para poder evacuar el mineral producido de los diferentes tajos; asimismo, la comunicación con los piques representa una solución en cuanto a ventilación se refiere. La construcción de la misma debe realizarse ahorrando costos en voladura, ya que representa la mayor inversión de una labor subterránea. He ahí la razón por la cual el diseño de una malla de perforación para esta labor.

1.3.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Este trabajo no tiene un alcance de justificación social significativo, ya que se enfoca en temas académicos y económicos.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

El presente trabajo de investigación aportará en lo que respecta a la aplicación operativa de cómo un modelo matemático de diseño de malla de perforación es aplicado de forma exitosa logrando los resultados esperados.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Haciendo uso de modelos matemáticos, se logrará optimizar económicamente en gran medida el costo de disparo por metro avanzado.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Con la implementación de una malla de perforación y voladura, se logrará disminuir la cantidad de taladros en La Rampa 440 (-) Mina MACDESA.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a.** La caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA brindará información importante para el diseño de la malla.
- b.** Con la implementación de la malla de perforación, aumentará la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA.
- c.** Con la implementación de la malla de perforación, se optimizará costos en voladura en la Rampa (-) 440- mina MACDESA.

1.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables que se han de tener en cuenta son las siguientes:

1.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

X1: Malla de Perforación y Voladura

1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Y1: Costos de Perforación y Voladura

Y2: Eficiencia de Voladura

1.6. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

MATRIZ DE CONSISTENCIA.			
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	OBJETIVOS.	HIPOTESIS GENERAL.	VARIABLES.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Se podrá optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación y voladura para la construcción de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA? 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación para la construcción de la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Con la implementación de una malla de perforación y voladura, se logrará disminuir la cantidad de taladros en La Rampa 440 (-) Mina MACDESA. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ X1: Malla de Perforación y Voladura. <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Y1: Costos de Perforación y Voladura. ➤ Y2: Eficiencia de Voladura
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Realizando una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA ayudará en la optimización de la cantidad de taladros? ➤ ¿Se podrá aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura? ➤ ¿Se podrá disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura? 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa 440 - en la mina MACDESA para el diseño de la malla de perforación y voladura. ➤ Aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura. ➤ Disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA brindará información importante para el diseño de la malla. ➤ Con la implementación de la malla de perforación, aumentará la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA. ➤ Con la implementación de la malla de perforación, se optimizará costos en voladura en la Rampa (-) 440- mina MACDESA. 	

1.7. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

1.7.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA RMR

Es una clasificación de un macizo rocoso 'in situ'. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones, y consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating) independiente de la estructura. Nos permite saber cuán competente es el macizo rocoso en estudio para el diseño de la malla de perforación.

Indicadores

- Número de taladros
- Factor de Avance (Kg / ml)
- Factor de Carga (Kg/m³)
- Factor de Potencia (Kg/tn)

1.7.2. MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Es la distribución de los taladros que se perforan en un frente, el cual debe cumplir con un diseño simétrico en ubicación, inclinación, dirección y profundidad. Una vez perforado el frente, se realiza la carga explosiva de los taladros a disparar; cada taladro cargado debe tener la cantidad calculada de explosivo para luego realizar la voladura con un respectivo tiempo de retardo.

Indicadores

- Número de taladros
- Factor de Avance (Kg / ml)
- Factor de Carga (Kg/m³)
- Factor de Potencia (Kg/tn)

1.7.3. COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Es el valor económico de dicha operación unitaria necesaria para mantener el proyecto en funcionamiento. Los valores se representarán con la moneda nacional, nuevos soles.

Indicadores

- S/metro de avance

1.7.4. TIEMPO DE PERFORACIÓN

Es un conjunto de tiempos que influyen en la perforación de un frente, tales como: tiempo de percusión, traslape y barrido.

Indicadores

- hr/frente

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las investigaciones que anteceden respecto al presente trabajo son las siguientes:

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Zúñiga Torres, Pablo Dimas: (2015), “Diseño De Tronaduras Y Su Impacto En El Costo Mina De Compañía Minera Cerro Negro”. Este trabajo de investigación realizó cambios en la malla de perforación para luego analizar los resultados de los disparos a través de la granulometría y el análisis vibracional a través de un software, se pudo observar que se mejoró el factor de carga, conclusión que se obtiene de la disminución de 2 (US\$/t Mineral) del costo global de P&T. Asimismo, el impacto del costo de P&T en el costo mina bajó en un 3,8 %. Sin embargo, esta disminución no se vio reflejada en el costo total mina (aproximadamente 22 [US\$/t]), ya que esta cifra se encuentra fuertemente dominada por los costos de carguío y transporte (>50%), y también por problemas que impidieron alcanzar la producción y movimiento de estéril programadas durante los meses del estudio. (1)

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Pino Chili, Rony Ronald: (2019), “Optimización De Avance Lineal Con Nuevo Diseño De Malla En El Frente De La Galería San Jorge En La Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A – Arequipa”. En este trabajo de investigación, se muestra que se desea optimizar el avance lineal de una labor, la cual tiene una longitud proyectada de 350 metros lineales y una sección de 3.00 m x 2.70 m. Antes de realizar el trabajo de investigación, se tenía un avance lineal de 130 metros con un promedio de 1.30 metros por cada disparo realizado y un factor de carga de 1.22 kg/m³. La meta propuesta del estudio de investigación fue incrementar el avance lineal en un 10 %. (2)

“Con la malla de perforación anterior, el avance lineal ha sido de 1,30 metros y con el nuevo diseño de malla de perforación, el tipo y la carga explosiva adecuada, se ha optimizado el avance lineal en 1,40 metros, con una diferencia de 0,10 metros, con un total de 32 taladros perforados”. (2)

Chipana Tito, Rudy Milton: (2015), “Diseño De Perforación Y Voladura Para Reducción De Costos En El Frente De La Galería Profreso De La Contrata Minera Cavilquis- Corporación Minera Ananea S.A.”. El objetivo en esta tesis fue determinar el diseño de malla de perforación y la carga explosiva adecuada para reducir los costos en la ejecución de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis- Corporación Minera Ananea S.A. (3)

“La operación de perforación y voladura ha causado a la suma de altos costos en perforación a US\$ 98,48 por disparo, con una distribución de explosivo de 28,35 kg, el costo de los accesorios de voladura y dinamitas sumaban a US\$ 196,42 en voladura sumados los costos de perforación y voladura son US\$ 294,90. Después de haber diseñado la malla, se comprobó que, efectivamente, hubo una optimización en costos de perforación y voladura; se redujo a US\$ 235,64 por disparo haciendo una diferencia de US\$ 59,26.” (3)

Barriga Reynoso, Augusto Hernán: (2015), “Diseño E Implementación De Malla De Perforación Para Optimizar La Voladura En La Mina San Genaro De La Cía. Minera Castrovirreyna”. En esta tesis, también se diseñó una malla de perforación con la diferencia que tomó en cuenta áreas de influencia y los parámetros del

explosivo (densidad, velocidad, presión de detonación, y dimensiones del explosivo) y parámetros de roca (resistencia de la roca o minera y RQD). Principalmente, se usaron para calcular el burden y espaciamiento para la perforación con Jumbo. Con la nueva malla, se logró un avance con un 95% y se disminuyó el costo de perforación y voladura en un 12.65%. Es decir, se demostró que el diseño de malla de perforación y voladura controlada aplicando un modelo matemático de áreas de influencia optimiza la efectividad del disparo, lo cual se traduce en una mayor rentabilidad para la empresa minera. (4)

Barzola Ceras, Fredy: (2019), “Optimización De Los Estándares De Perforación Y Voladura En La Reducción De Costos Operativos En El Crucero XC 10654-nw (Gal 10602-n), Empresa Especializada Mincotrail S.R.L. - Minera Aurífera Retamas S.A. – 2018”. En esta tesis, se buscó saber en qué medida influía la optimización de estándares en perforación y voladura en la reducción de costos operativos en un crucero de la mina Retamas. Mediante la aplicación del modelo matemático de Holmberg, se logró una mejor distribución de taladros, lo cual influyó en la reducción de tres taladros, de un total de 41 se pasó a 38 taladros, mejoró el rendimiento por hombre guardia con un promedio de 0.55 m/Hgd. reduciendo del Costo unitario total de Mina de 871.93 S/.m a 756.31 S/.m; es decir, una reducción del 13.26% en comparación con los resultados obtenidos antes de haber realizado el estudio. (5)

Se puede observar que la mejora continua de una malla de perforación es fundamental para poder lograr la optimización y reducción de los costos en perforación y voladura. (5)

Luciano Lazaro, Cristian Antonio: (2019), “Diseño De La Malla De Perforación Y Voladura, Aplicando El Método Holmberg Para Optimizar Costos En La Construcción De La Rampa (+) 995 De La Cia AC.Agregados S.A.C.-2018”. En esta tesis, al igual que los trabajos de investigación presentados, también se logró optimizar los costos de avance de una rampa positiva. Se redujo el costo operativo de 232,80 US\$/hora a 225.32 US\$/hora, ahorrando 7.49 US\$/hora; además, se demostró que sí se puede involucrar la variable geomecánica (RMR, GSI O RQD) en las ecuaciones de diseño de mallas de perforación y voladura. El diseño de malla de perforación, como podemos ver, significa la alternativa más viable a corto tiempo

que se puede implementar como opción de mejora en cualquier frente de avance.
(6)

2.2. GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA CUATRO DE ENERO S.A.

2.2.1. UBICACIÓN

Situada en el distrito de Cháparra, provincia de Caravelí y departamento de Arequipa, la Minera Aurífera Cuatro de Enero tiene como área de investigación la zona catastral 18-S, hoja 32-O, banda L, el cual presenta aproximadamente las siguientes coordenadas UTM y geográficas. (7)

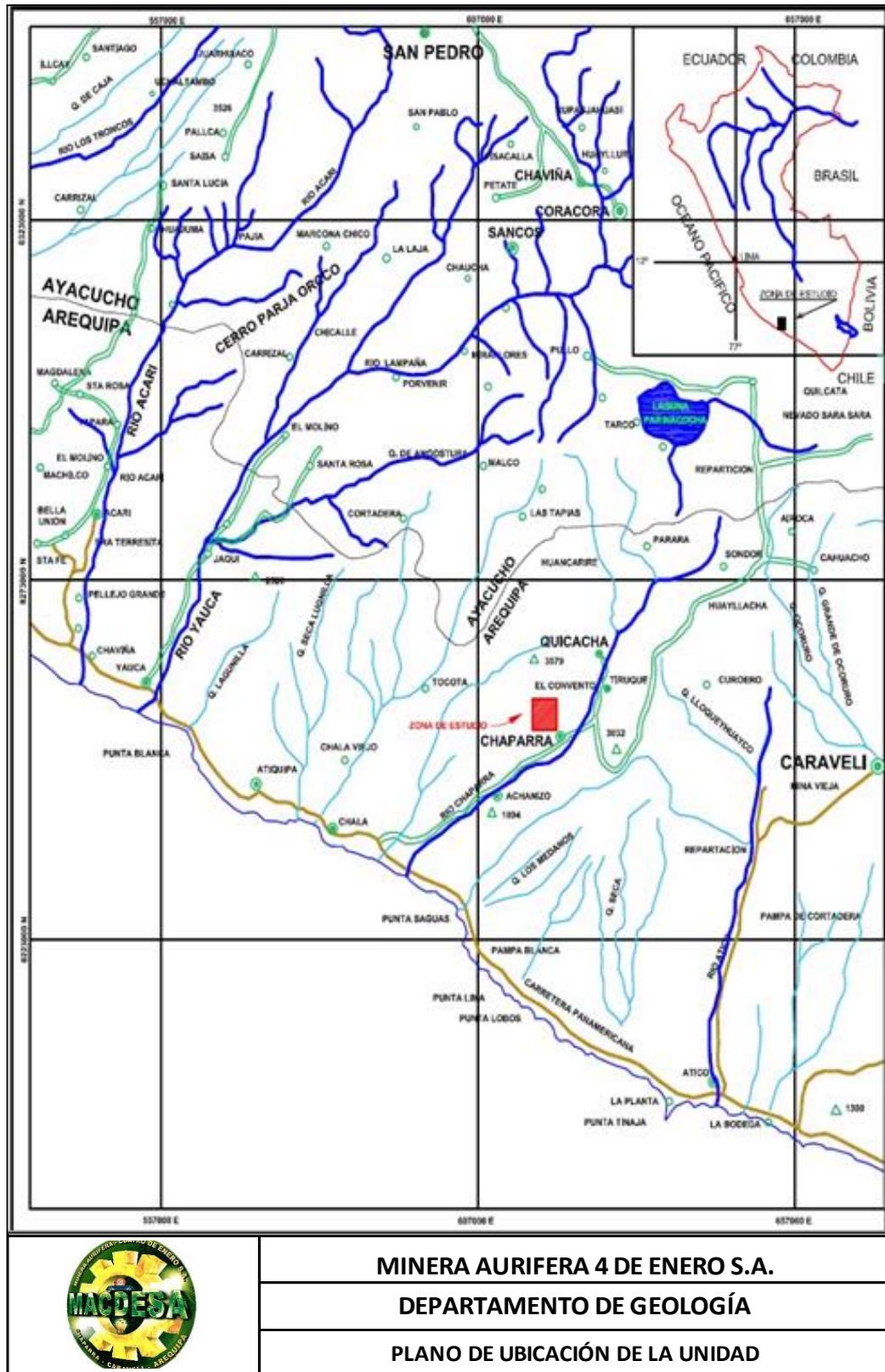
Coordenadas UTM:

- Norte: 8 263 000
- Este: 618 500

Coordenadas geográficas:

- Latitud Sur: 15° 42' 00"
- Longitud Oeste: 73° 53' 30"
- Altitud 600 m.s.n.m. a 1 970 m.s.n.m.

Figura 1: Mapa de ubicación de la mina.



Fuente: Departamento de geología de la Mina MACDESA.

2.2.2. ACCESIBILIDAD

a. Vía Terrestre:

Lima – Chala – Cháparra – Mina 4 Horas (Vehículo).

b. Vía Aérea:

Lima – Arequipa (Avión).

Arequipa – Chala – Cháparra – Mina 4 Horas (Vehículo).

c. Vía Marítima:

Lima – Marcona, Puerto San Nicolás – *Luego por vía terrestre.*

2.2.3. MARCO GEOLÓGICO

2.2.3.1. Geología Regional

“La geología regional compone rocas metamórficas, intrusivas, sedimentarias y volcánicas, cuyas edades abarcan desde el Paleozoico Inferior hasta el Cuaternario.” (7)

Las rocas más antiguas de la región la constituyen los metasedimentos y la secuencia anfibolita-gnéisica del Precámbrico. Sobre estas, en discordancia angular, se emplazan las rocas sedimentarias del Mesozoico y las secuencias marino-continetales del Terciario. Instruyendo a las anteriores, están las rocas ígneas intrusivas del Batolito de la Costa. Cubriendo toda la secuencia estratigráfica, están las unidades de rocas volcánicas lávicas y tufáceas del Terciario y Cuaternario. (7)

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa se constituyen de granodioritas, cuarzo monzonitas, tonalitas y dioritas. Las rocas están constituidas por plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico, los minerales accesorios que predominan son la hornblenda y biotita, en menor cantidad se tiene epidota, magnetita y pirita. Son de textura equigranular, de formas euhedrales, con matriz microcristalina de cuarzo-plagioclasa-feldespatos. (7)

Rocas intrusivas.

Los afloramientos de Diques y Vetas son encajonados por rocas intrusivas; las mayores exposiciones de rocas intrusivas se encuentran en los cuadrángulos de Jaquí y Cháparra. Tenemos intrusivos (Mesozoicos - Cenozoicos) denominados intrusivos andinos; estos comprenden rocas plutónicas y rocas Hipabisales. (8)

a. Batolito de la Costa.

“Esta unidad aflora ampliamente en la región, siendo de naturaleza granodiorítica, sus afloramientos se encuentran en los cerros Estrella, Puruja, y Cruz de Oro.” (8)

“La roca en superficie intemperizada tiene un color gris a gris claro de grano medio a grueso y está constituido por: Cuarzo, feldespato y abundante contenido de ferromagnesianos esencialmente hornblenda en forma de prismas alargados, biotita en forma tabular y piroxenos, también la presencia de xenolitos redondeados de grano fino con diámetro de 5 cm. a 50 cm. y la presencia de diques pegmatíticos, y diques de cuarzo, estas características son las que diferencian a la superunidad Tiabaya de otra.” (8)

b. Complejo Bella Unión

“La denominación fue dada J. Caldas 1978, al describir un enorme volumen de rocas sub volcánicas (Hipabisales), que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí) intruyen a la formación Guaneros del Cretáceo Inferior.” (8)

“Regionalmente aflora en la parte Este y Oeste de la zona de estudio y ocupa una faja continua e intermedia del cuadrángulo de Cháparra, con un alineamiento NW-SE y se encuentra limitado por grandes lineamientos estructurales que probablemente controlaron su emplazamiento, también intruye a formaciones del Jurásico.” (8)

“Litológicamente el complejo Bella Unión es variado predominando rocas del tipo brecha de intrusión de naturaleza andesítica y dacítica, con

grandes bloques angulosos y sub-angulosos, desarrollados por el emplazamiento del cuerpo intrusivo, y que por erosión diferencial exhiben una morfología cavernosa, principalmente en los terrenos de fuerte pendiente, este tipo de roca a su vez se encuentra intruido por innumerables plutones y diques de andesitas porfiríticas con grandes fenocristales en matrices afaníticas intensamente piritizadas. Finalmente, el conjunto de estas rocas se encuentra cruzada por diques andesíticos o dacíticos, en muchos casos formando verdaderos enjambres.” (8)

Depósitos clásticos recientes

Tenemos depósitos aluviales localizados en las grandes quebradas como las de Yauca, Chala, Cháparra, Lampalla y Atíco; están constituidas por conglomerados alternados con capas de arcilla y arena. (8)

Los depósitos fluviales constituyen el lecho de los actuales ríos y están formados por gravas y arenas. (8)

Dentro de los depósitos de escombros tenemos los coluviales acumulados en las laderas de los cerros y que se han originado por la acción de la gravedad, así como también aquellos que han tenido lugar por efectos de los huaycos y por ende las lluvias. (8)

“Depósitos eólicos se encuentran conformados por arena localizados en los cerros de arena, pampa de Huaranguillo, Alalo, Medanal, cerros los Medanos, y el cerro Andenes, estas acumulaciones se encuentran desarrolladas desde el nivel del mar hasta los 1400 m.s.n.m. en el cerro Andenes y 2000 m.s.n.m. en la pampa Medanal.” (8)

2.2.3.2. Geología Local

“El área de estudio, se tiene una ocurrencia de rocas intrusivas pertenecientes a la Super Unidad Tiabaya, correspondiente al Batolito Costanero, predominando rocas intrusivas de naturaleza plutónica y diques hipabisales que cortan a estas rocas; estos diques son de gran importancia en el aspecto económico de la zona, puesto que directa o indirectamente están relacionadas con la génesis y tipo de mineralización del Yacimiento Cuatro Horas.” (7)

Rocas intrusivas.

Las rocas aflorantes en la zona son granodioritas pertenecientes a la Super Unidad Tiabaya, además se tiene material aluvial del Cuaternario reciente cubriendo los lechos de las quebradas circundantes a la zona de estudio. Es decir, en la conformación geológica local de la zona en estudio, se constituye de rocas ígneas e hipabisales. Las edades varían desde el cretáceo superior hasta el terciario más moderno. (7)

a. Granodiorita

“Es la de mayor distribución en la zona de estudio. La granodiorita presenta un color blanco rosáceo a gris oscuro por el mayor contenido de minerales ferromagnesianos, y ocurre generalmente en forma homogénea, con moderado fracturamiento; la roca es de grano medio, tiene una textura holocristalina, fanerítica, siendo la plagioclasa el mineral dominante seguido de la ortosa y cuarzo. Como minerales característicos presenta biotita y hornblenda, teniendo en cuenta las proporciones de plagioclasa y ortosa, podemos distinguir localmente gradaciones a tonalita. En algunos sectores, la granodiorita se encuentra englobando xenolitos de diorita. Su composición macroscópicamente es la siguiente:”
(7)

Plagioclasa	45%
Ortosa	10%
Cuarzo	20%
Ferromagnesianos	20%
<u>Otros</u>	<u>5%</u>
	100%

Esta roca es la que hospeda a la mayoría de las vetas que ocurren en el Yacimiento Cuatro Horas. Su edad de emplazamiento, según dataciones radiométricas, corresponde al Cretáceo superior – Terciario inferior. (7)

b. Diques Andesíticos

“Se presentan desde pocos cm hasta 1.5 m de potencia, longitudes de más de 50 m, con un rumbo predominante de NW, paralela a la veta, su color es gris verdoso con textura afanítica, alteración clorítica, en los contactos con la granodiorita se observa una agilización.” (7)

“Estos diques tienen una relación directa con la mineralización de oro, ya que han servido como conductos de las soluciones hidrotermales; estos se encuentran acompañando a las estructuras mineralizadas.” (7)

c. Unidades Superiores

“En la zona de estudio afloran cuerpos producto de la alta presión y temperatura como son la Dacita Porfirítica, que probablemente se correlacione con la dacita de Molles un cuerpo Hipabisal que aflora en dirección NW con respecto a la zona de estudio, con el cual se cree que se emplazó la mineralización, esta brecha de intrusión en el área de estudio se puede observar de grandes a pequeñas dimensiones, presenta una matriz afanítica de color verde grisáceo, su textura es porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y hornblendas bien desarrollados, sus afloramientos son generalmente en las cumbres de los cerros y sus dimensiones son variables: van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho, como es el caso del afloramiento de un gran cuerpo Dacítico que es cortado por un cuerpo mineralizado de 2 a 3 m. de potencia compuesta de cuarzo, óxido, limonita, patinas de cobre, también presenta diseminación de pirita gris, presenta una relación con el rumbo general de la veta cuatro horas N 80° W y N 85° W.” (8)

d. Diques de cuarzo

“Estos están presentes en todas las rocas intrusivas, van de cuarzo hialino a blanco lechoso, con potencias variables de pocos centímetros a 1 metro, y longitudes de más de 20 m. En algunos casos, se hallan mineralizados y son de rendimiento económico, se encuentran mayormente cortando a las granodioritas.” (7)

2.2.3.3. Geología Estructural

“Las estructuras están netamente relacionadas a la tectónica andina, producto de la subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Estas estructuras mineralizadas de oro están netamente ligadas a la provincia aurífera que se da desde Ocoña a Palpa, generalmente relacionadas a un ambiente de deposición de sistemas de fallas y fracturamientos producto de la deformación regional.” (9)

a. Sistema de Fallas y Vetas

En esta particular zona hay afloramientos de diques andesíticos oscuros del complejo Bella Unión que datan del Cretáceo inferior. (9)

“Hay presencia de un gran número de diques Andesíticos con fenocristales de Plagioclasas, en algunas partes silicificados, con dirección N 70° W, N 80° W, E – W, tal es el caso que estos diques relacionados con la mineralización, ya que actuaron como conductores de la mineralización; a lo largo del proceso de afloramiento la mineralización se presenta paralelamente a los diques, las vetas presentes de esta manera tienen una dirección de N 60° W, N 80° W, en el lado oeste de la veta Cuatro Horas encontramos diques andesíticos silicificados con dirección N 20° W.” (9)

“Asimismo, se evidencia cuerpos de (dacita porfírica) con textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda muy cristalizados de 2 a 5 mm, la cual tiene relación con un cuerpo hipabisal denominado la Dacita de Molles, el cual aflora en el cuadrángulo de Acarí. Probablemente, las pulsaciones del emplazamiento de la Dacita de

Molles trajo la mineralización, en la zona de estudio se le ha denominado a este cuerpo como una Dacita Porfírica y presenta varios cuerpos, que van desde 50 metros de largo por 40 metros de ancho a grandes dimensiones de 400 metros de largo por 250 metros de ancho, el de mayor dimensión se encuentra cortado por una veta cuyo rumbo es N 80° W, el cual se correlaciona con el rumbo general de la veta Cuatro Horas N 60° W, N 70° W, actualmente la distancia promedio para alcanzar el cuerpo es de 400 metros aproximadamente, el afloramiento de veta que está cortando el cuerpo Hipabisal tiene estructura cavernosa y una composición de Cuarzo, hematita, óxido, y disseminaciones de pirita gris, con una coloración en superficie rojo parduzco, la alteración predominante es la argilización con la caolinita y otras partes epidotización en forma de halos y venillas.” (9)

“La veta Cuatro Horas conserva un rumbo que varía de N 70° W a N 80° W y un buzamiento irregular de 35° NE, 45° NE, cortado por fallas del tipo gravitacional con rumbos N 20°W, N 30°W que distorsiona el rumbo general de la veta, la estructura presenta una potencia irregular de 0.15 a 0.30 metros es tipo rosario.” (9)

“Dentro de las labores, la veta Cuatro Horas presenta una potencia de 0.15 a 2.00 metros en tipo rosario, presentando ramales, caballos, y simoides, se encuentra asociada a fallas postmineral que distorsionan la continuidad de la veta y el rumbo general de la misma que varía de E – W a N 80° W y buzamientos irregulares NE y SW por presencia de fallas del tipo “echelon”, las bolsonadas o clavos mineralizados que se presentan tienen dimensiones desde 1 a 2 metros de largo y un ancho promedio de 0.20 a 1.50 metros, con leyes promedios de 0.5 Onz / TM a 2.0 Onz / TM. Se evidencia diques andesíticos gris verdosos cortados por la veta principal Cuatro Horas estos diques tienen dirección N 70° W, N 77° W, con 65° NE, 68 °NE de buzamiento.” (9)

b. Fallas Pre-mineral

“La formación de estas fallas son resultado de fuerzas compresionales, dieron origen a la mineralización, los diques y los cuerpos hipabisales después de haberse producido la cristalización del cuerpo intrusivo, es la característica de la veta Cuatro Horas, veta Milagrosa, veta Sonia, veta Paralela, veta Inocentes, y la veta de Cobre.” (9)

c. Fallas Pos-mineral

“Son compuestas por fallas de rumbo, transversales y gravitacionales a las vetas, las fallas de rumbo tienen rumbos E – W y N 88° W, en algunas estructuras mineralizadas, este tipo de fallas debilitan el macizo en la construcción subterránea, las fallas transversales con dirección N 08°W, N 10°W, ocasionan desplazamientos locales de escasos metros, inclusive desarrollando una falla escalonada, esto solo es observado en interior mina, las fallas gravitacionales con rumbo N 30°W, y con una inclinación vertical a sub vertical presentes son de gran interés ya que desplaza a la estructura mineralizada de 10 a 30 metros.” (9)

2.2.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA

“El yacimiento de Cuatro Horas pertenece a una zona aurífera comprendida entre Nazca y Ocoña, por esta razón es común ver muchas mineras pequeñas en la zona, además por sus vetas de buena potencia y longitud es rentable la explotación de la misma. El yacimiento es del tipo filoneano, emplazado en el Batolito de la Costa, en la zona de estudio afloran vetas paralelas entre sí, las estructuras mineralizadas tienen rumbos E – W y N 80 W con buzamientos de 30° NE, 45° NE y con una potencia de 0.10 m a 2.0 m. Las vetas de Cuatro Horas y Milagrosa son las vetas más representativas de la descripción antes mencionada.” (9)

El yacimiento aurífero de Cuatro Horas

“En la zona mencionada, se presenta un sistema de vetas paralelas con similar rumbo N 60° W, N 80° W y con buzamientos variables 33° NE, 45° NE, la roca encajonante es granodiorítico de la súper unidad Tiabaya, la cual ha sido intruida

por numerosos diques hipabisales andesíticos, la alteración en el contacto con la roca encajonante y la estructura mineralizada es débil, pero se diferencia sericitización, silicificación, cloritización, calcita, y gran cantidad de óxidos de fierro.” (9)

“Las fracturas pre-existentes están rellenas de cuarzo lechoso, hematita, limonita, calcita, yeso en bajo porcentaje, presentando una estructura tipo cavernoso.” (9)

“Las principales vetas son la veta Cuatro Horas tienen potencias entre 0.1 m y 0.6 m con una ley promedio de 1 a 2 onzas/TM, la veta Milagrosa en exploración con una potencia promedio de 0.5 a 2 m. y una ley promedio de 0.3 a 0.6 onzas/TM.” (9)

Generalidades Veta Nancy

“La veta Nancy es una estructura de tipo filoneano, epitermal de baja sulfuración de Au, Ag, los clavo mineralizados tienen rumbos N-W con buzamientos que van de 33° a 45° al NE; la mineralización está relacionada a las estructuras del fallamiento y fracturamiento, actividad ocurrida antes y después de la mineralización provocando en las vetas variaciones en su potencia y en el contenido de minerales de mena y ganga. El ancho de la veta varía entre 0.10 a 0.60 metros y una ley promedio de 14.17 gr Au/TM.” (9)

“La veta se encuentra emplazada en roca intrusiva granodiorita, de acuerdo al zoneamiento se encuentra en una zona intermedia, es decir entrando a la zona de sulfuros, y su relleno mineralógico tiene un ensamble de cuarzo pirita – calcopirita y oro. Y en tramos esporádicos con presencia de galena.” (9)

La veta es delgada y por tramos se ensancha con un ensamble de cuarzo hialino a gris y pirita. En la cubicación de reservas al 30 de junio del 2018 la veta Nancy tiene 18,913 TM con una ley de 14.17 g Au/TM, y un potencial de 20,462.40 TM.” (9)

Minerales de Mena

“Sabemos que el oro es un elemento estable, no reacciona fácilmente con otro elemento, esta es la principal razón de por qué se presenta en forma macroscópica oro nativo (charpas) que se da en las oquedades del cuarzo y también en la hematita, el oro microscópico o fino se manifiesta comúnmente en la limonita.” (9)

“Por otra parte, sabemos que el cuarzo está asociado al oro, ya que la pirita por acción meteórica del agua ha generado cavidades donde el oro se depositó en forma nativa; es decir, formó una estructura Boxwork o criadero, en donde el oro se deposita, tal es así que se ha encontrado mayores leyes en oro nativo en este tipo de cuarzo oqueroso. Las mejores leyes están netamente ligadas a la zona de intersección de falla y veta encontrándose oro nativo con dimensiones que pueden llegar hasta los 2 cm de diámetro.” (9)

Minerales de Ganga

Presencia de minerales característicos de la zona de óxidos.

En la zona óxidos cuarzo (SiO₂) lechoso y blanco, hematina (Fe₂O₃), limonita (FeO (OH) · nH₂O), calcita (CaCO₃) gris oscura y pirita como cobre secundario. (9)

2.2.5. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

2.2.5.1. Corte y relleno ascendente

El método de explotación empleado en la mina Macdesa es Corte y Relleno Ascendente Convencional

ya que las vetas presentes tienen un buzamiento de 40°-50°, el sostenimiento de puntales con plantilla de madera o cuadros de madera y el relleno se realiza con material detrítico (desmonte). Este tipo de método se caracteriza por tener bloques de 40 metros, los cuales se delimitan por niveles o subniveles (avance horizontal), piques chimeneas (avance vertical). En los avances, utilizamos la técnica del circado, el cual consiste en seleccionar disparar solo la parte mineralizada con valor económico (veta).

La explotación propiamente dicha se realiza a través de los tajos o bloques ya definidos, se extrae el mineral del techo y el desmonte se utiliza como piso o plataforma para continuar con el tajeo, se aperturan tolvas- caminos cada 20m que sirven como echaderos. Éste método de minado es selectivo y se evita la sobrerotura principalmente en los tajos para controlar en ancho de minado y problemas estructurales como

fracturamiento, diaclasamiento o fallas paralelas a la estructura mineralizada.

a. Sostenimiento Con Cimbras

Figura 2: Uso de Cimbras Rampa (-) 440.



Fuente: Departamento de geología de la Mina MACDESA.

Sostenimiento del tipo pasivo o soporte; es decir, es un sostenimiento que espera a la acción roca; las cimbras se usan generalmente en labores permanentes, ya que tiene la ventaja de que este sistema continúa proporcionando soporte después de que hayan ocurrido deformaciones importantes. En la Rampa (-) 440 mina Macdesa se usan las del tipo baúl de perfil "H", modelo 6H20 (3 piezas), distanciados a 1.5 m hasta llegar a roca firme.

Sostenimiento Activo

Es el sostenimiento cuya función es actuar de forma continua en contra de la presión del macizo rocoso. En la mina se usan pernos de anclaje, Split set, etc.

Cabe mencionar que en la Rampa 440 (-) se usan pernos de anclaje de forma sistemática.

2.2.6. PERFORACIÓN Y VOLADURA

En la empresa se realiza la perforación con equipos manuales Jackleg de la marca Boart Longyear, modelo S250 de 90 psi y consumo de aire de 156 cfm. Para la mayoría de los frentes de la mina no se cuenta con una malla de perforación estándar, es a criterio del maestro perforista y la supervisión del ingeniero jefe de guardia con compañía de los capataces. En cuanto al arranque en paralelo y sus variantes como corte quemado y/o “cacho de toro”. En cuanto al carguío se emplea tanto Emulnor 1000, 3000 y 5000 de la empresa FAMESA como Emulex de 65, 80 y 100, cabe mencionar que la mina es netamente convencional, y poco a poco se va estandarizando en sus procesos; en cuanto al carguío una regla práctica que sigue en la mina es colocar la cantidad de cartuchos de explosivo con referencia al número de pies perforados en cada taladro, lo cual se aproxima a la cantidad de carga adecuada; sin embargo, es una práctica que debe mejorar con estándares más exactos.

2.2.6.1. Ciclo de minado de la rampa 440

El ciclo de minado en la Rampa 440 tiene en cuenta los requerimientos de agua, aire y equipos de limpieza, siguiendo el siguiente orden: Ventilación-Regado-Limpieza-Desatado-Sostenimiento-Perforación-Voladura-Disparo.

La sección es de 4,0 m × 4,0 m y gradiente de -12 %, se emplea un método combinado tanto el sistema convencional y el mecanizado, debido a que la perforación se realizará con 02 máquinas perforadora Jack leg SECO 250, la limpieza se efectúa con un scoop, modelo Sanvick EJC 145 de 4 yd³.

Una cuadrilla de trabajo está conformada por el siguiente personal:

- 02 Maestros perforistas y cimbreros
- 02 Ayudantes perforistas
- 01 Operador de Scoop

2.3. BASES TEÓRICAS

Las voladuras en túneles y galerías se caracterizan por no existir, inicialmente, ninguna superficie libre de salida salvo el propio frente de ataque. El método Holmberg se empleará como referencia para el cálculo y diseño de la malla. (10)

- Cuele es la sección de corte
- Contracuele son los taladros de ayuda al arranque.
- Destroza es la sección comúnmente llamados Cuadradores
- Contorno incluye taladros de contorno
- Zapatara incluye los taladros del Arrastre (10)

Figura 3: Esquema de voladura en túneles.



Fuente: LOPEZ JIMENO, C., LOPEZ JIMENO, E., PERNIA LLLERA, J.M. y ORTIZ DE URBINA, F.P., 1975. Manual de perforación y voladura de rocas.

2.3.1. FÓRMULAS MATEMÁTICAS

2.3.1.1. Avance Por Disparo

La longitud del barreno limita el avance del disparo; se debe tener como máximo una desviación del 2% en los taladros y el avance promedio será producto de un factor estimado del 95%. (11)

$$I = 0.95 * L$$

Donde:

L = Longitud del taladro (metros)

I = Avance por disparo (metros)

Para la todas las secciones del frente del túnel, la profundidad de los taladros se puede estimar con la siguiente fórmula.

$$L = 0.15 + 34.1 * D_1 - 39.4 * D_1^2$$

Donde:

L = Profundidad del taladro (m.)

D_1 = Diámetro del taladro de alivio (metros), siempre que se cumpla a $0,05 \leq D_2 \leq 0,25$ m; si los avances son inferiores a 95%, la excavación resultará económicamente muy costosa. (10)

Cuando se utilizan arranques con varios taladros vacíos en lugar de uno solo entonces la ecuación anterior sigue siendo válida si: (10)

$$D_2 = D_1 * \sqrt{n}$$

Donde:

D_1 = Diámetro del taladro de alivio (metros)

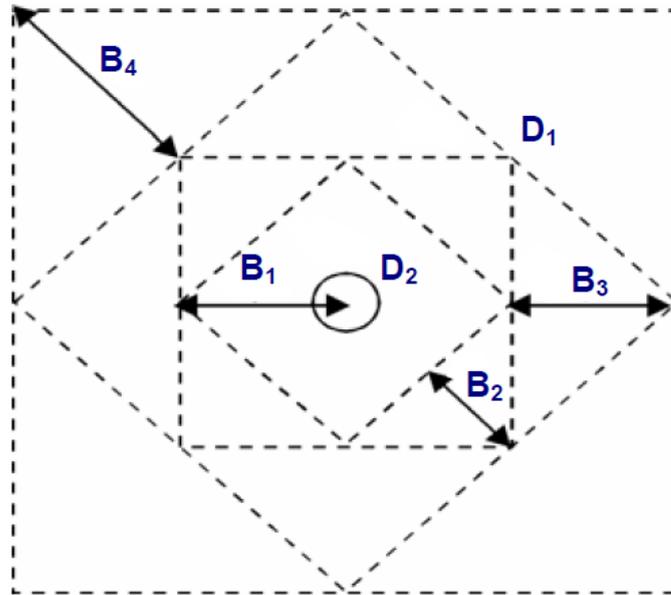
n = Número de taladros vacíos en el arranque.

D_2 = Diámetro del taladro alivio equivalente (metros).

2.3.1.2. Arranque de Cuatro Secciones

La distancia entre el taladro central vacío y los taladros de la primera sección no debe exceder de "1,7 D_2 " para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca; las condiciones de fragmentación varían mucho, dependiendo del tipo de explosivo, características de la roca y distancia entre el taladro cargado y taladro el vacío. (11)

Figura 4: Corte de secciones.



Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

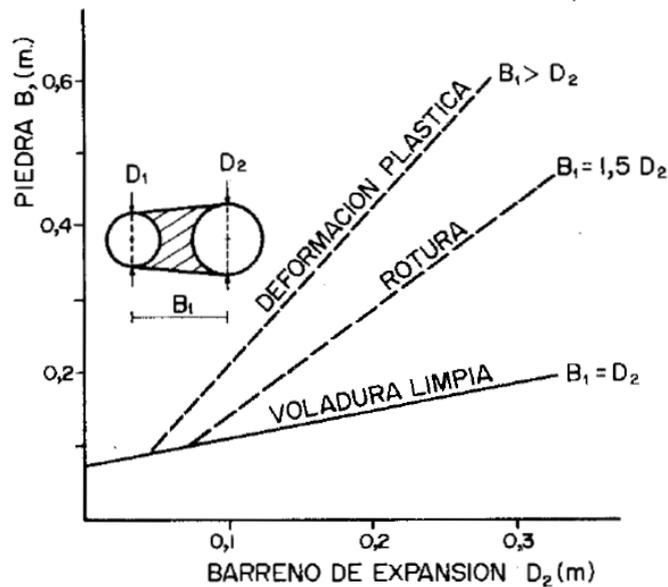
“Una regla práctica para determinar el número de secciones es que la longitud del lado de la última sección B sea igual o mayor que la raíz cuadrada del avance. En la tabla se muestra qué valor tendrá el Burden en relación a lado de la sección.” (11)

Tabla 1: Fórmulas para determinar el valor del Burden

Sección del corte	Valor de Burden	Lado de la Sección
Primera	$B_1 = 1.5 * D_2$	$B_1 * \sqrt{2}$
Segunda	$B_2 = B_1 * \sqrt{2}$	$1.5 * B_2 * \sqrt{2}$
Tercera	$B_3 = 1.5 * B_2 * \sqrt{2}$	$1.5 * B_3 * \sqrt{2}$
Cuarta	$B_4 = 1.5 * B_3 * \sqrt{2}$	$1.5 * B_4 * \sqrt{2}$

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

Figura 5: Resultados de las voladuras para diferentes distancia de barrenos cargados a los vacíos y diámetros de estos



Fuente: LOPEZ JIMENO, C., LOPEZ JIMENO, E., PERNIA LLLERA, J.M. y ORTIZ DE URBINA, F.P., 1975. Manual de Perforación y Voladuras de Rocas. Madrid: s.n. ISBN 84-505-7007-7.

En la figura N° 04, se puede ver que para un burden mayor al doble del taladro de alivio más próximo (cara libre) el ángulo de salida es demasiado pequeño, se produce una deformación plástica de la roca entre los dos taladros. Si el burden es inferior al diámetro y la concentración de carga muy elevada que producirá la sinterización de la roca fragmentada: el arranque fallará y por consiguiente será un disparo perdido. Por eso se recomienda que los burdenes se calculen sobre la base $B_1 = 1,5 * D_2$. (10)

2.3.1.3. Número de Taladros

La distancia entre el taladro central vacío y los taladros de la primera sección no debe exceder de "1,7D₂" para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca; las condiciones de fragmentación varían mucho, dependiendo del tipo de explosivo, características de la roca y distancia entre el taladro cargado y taladro el vacío. (11)

Se puede calcular el número de taladros en forma aproximada mediante la siguiente fórmula empírica: (Exsa)

$$N^{\circ} Tal = \left(\frac{P}{D_t}\right) + (C * S)$$

Donde:

P= Circunferencia o perímetro de la sección del túnel, en m, que se obtiene con la fórmula:

$$P = 4 * (\sqrt{A * H})$$

Dt = Distancia entre taladros (m).

C = Coeficiente o factor de roca

S = Sección de la galería (m^2)

Relación de la dureza de la roca con la distancia ente los taladros:

Tabla 2: Distancia calculada entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.

Dureza de Roca	Distancia entre Taladros (m)
Roca dura	0.50 a 0.55
Roca intermedia	0.60 a 0.65
Roca suave o friable	0.70 a 0.75

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

Coeficiente estimado según la dureza de la roca:

Tabla 3: Coeficiente calculado entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.

Dureza de Roca	Coeficiente de Roca (m)
Roca dura	2.0
Roca intermedia	1.5
Roca suave o friable	1.0

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

2.3.1.4. Volumen y Tonelaje

Para hallar el volumen y el tonelaje, utilizamos las siguientes fórmulas.
(12)

Para el volumen:

$$V = A * H * I$$

Para el tonelaje:

$$Ton = V * \rho$$

Donde:

V = Volumen (m^3)

A = Ancho (m)

H = Altura (m)

l = Largo (m)

ρ = Densidad de la roca (kg/m^3) (12)

2.3.1.5. Cálculo de Espaciamiento de la corona

En cuanto al espaciamiento (en metros) en la corona, se toma como regla práctica la utilizada en el Manual de EXSA, en la cual estima la distancia de dos pies por cada pulgada del diámetro broca. A partir de esta regla usamos la siguiente fórmula: (11)

$$E = D * K$$

Donde:

K = Factor ≈ 0.036

D = Diámetro de la broca (en milímetros)

2.3.1.6. Cálculo del espaciamiento en los Hastiales

Para el cálculo de espaciamiento de los taladrados de los hastiales, usamos la siguiente fórmula: (12)

$$E = \frac{\text{Longitud del hastial}}{N - 1}$$

Donde:

N = Número de Taladros en los hastiales (12)

2.3.1.7. Cálculo de espaciamento en el Arrastre

$$E = \frac{\text{Ancho} - 2 * 0.1}{N - 1}$$

Donde:

N = Número de Taladros en el arrastre. (12)

2.3.1.8. Cálculo de la potencia relativa por peso

$$E = \frac{5Q_3}{6Q_{30}} + \frac{1}{6} * \frac{V}{V_0}$$

Donde:

S = Potencia relativa por peso respecto a la dinamita LBF

Q_3 = Calor de explosión de explosivo a usarse (Mj/kg)

Q_{30} = Calor de explosión de la dinamita LFD= 5.00 (Mj/kg)

V_0 = Volumen de gases liberados por la dinamita LBF (0.850 m³/kg) a STP

NOTA: Cuando la potencia por peso es expresada relativa al ANFO, se debe calcular en primer lugar la potencia por peso relativa a la dinamita LBF y luego dividir este valor por la potencia por peso del ANFO relativa al LBF (0.84). (12)

2.3.1.9. Cálculo de concentración de Carga

En cuanto al espaciamento (en metros) en la corona se toma como regla práctica la utilizada en el Manual de EXSA, en la cual estima la distancia. (11)

$$q_1 = 55 * d * \left(\frac{V}{D_2}\right)^{\frac{3}{2}} * \frac{\left(V - \frac{D_2}{2}\right) * \left(\frac{C}{0.4}\right)}{S_{anf0}}$$

Donde:

q_1 = Concentración de Carga (kg/m)

V = Burden (m)

D = Diámetro del taladro de producción (m)

D_2 = Diámetro Equivalente

ANFO = Potencia por peso relativo al ANFO

$C = 1.5 \text{ Kg/m}^3$

2.3.2. BASE TEÓRICA EXPLOSIVOS

Las siguientes definiciones son consideradas útiles en la tecnología de explosivos.

(11)

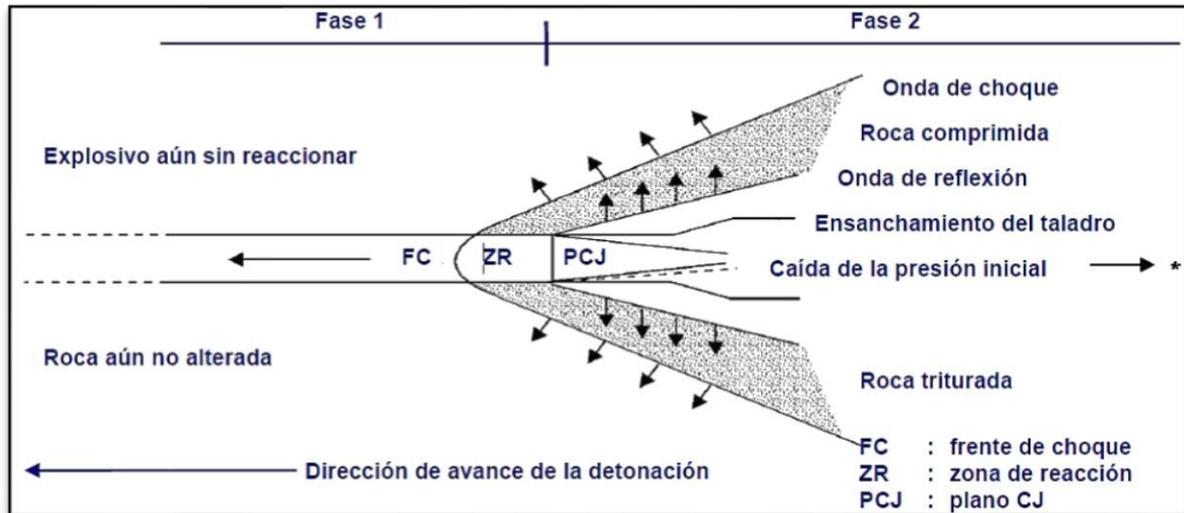
Combustión: De una sustancia condensada, es una reacción que se da en las partículas de un material. Se mantiene por la alta temperatura de los productos gaseosos. (11)

Detonación: Es una reacción que está asociada con la onda de choque. La reacción química se da inicio por la alta temperatura que se da por la compresión a causa de la onda de choque. Generalmente, los productos de la reacción al principio tienen la densidad más alta que la sustancia sin reacción. (13)

Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca (13)

Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca

Figura 6: Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca



Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

Fase 1: Por la onda de choque; impacto sobre las paredes del taladro y transferencia de la onda a la roca circundante, como fuerzas de compresión – tensión, primero y como transmisión de onda sísmica al final. (11)

Fase 2: Ensanchamiento del taladro por la tensión de los gases en expansión, hasta la rotura y posterior desplazamiento de la roca triturada. (11)

Potencia Explosiva. Se puede definir la potencia explosiva como la capacidad que posee el explosivo para quebrantar y proyectar la roca. En realidad, se trata de la energía del mismo aprovechada en la voladura. Esta característica depende fundamentalmente de la composición de explosivo, pudiendo optimizarse con la adecuada técnica de voladura. (13)

Potencia Relativa. La Energía Relativa por unidad de peso y de volumen es un procedimiento teórico, basado en el valor energético químico del explosivo y especialmente indicado para aquellos que son insensibles al detonador. En este caso, la potencia se puede expresar con los siguientes parámetros: (13)

- AWS: Energía absoluta por unidad de peso (cal/g)
- ABS: Energía absoluta por unidad de volumen (cal/cm³)

A partir de estos valores, se obtiene la Energía Relativa por unidad de Peso (RWS) y por unidad de volumen (RBS) respecto al ANFO (producto al que se le da el valor 100) que vienen determinados por las relaciones: (13)

$$RWS = \frac{AWS}{AWS_{anfo}} * 100$$

$$RBS = \frac{ABS}{ABS_{anfo}} * 100$$

Por último, si estas relaciones se establecen respecto al Trabajo Útil (que es la parte de la energía que se aprovecha hasta llegar a una presión de menos de 200 atm, valor bajo el cual se considera que ya no se produce trabajo contra roca), estos son: (13)

$$REWS = \frac{AEWS}{AEWS_{anfo}} * 100$$

$$REBS = \frac{AEBS}{AEBS_{anfo}} * 100$$

Donde:

- AEWS trabajo útil absoluto por unidad de peso del explosivo caracterizado. (13)
- AEBS son el trabajo útil absoluto por unidad de volumen del explosivo caracterizado. (13)

“AEWS_{Anfo} y AEBS_{Anfo} son el trabajo útil absoluto por unidad de peso y de volumen respectivamente del Anfo. Este último valor es el que más se aproxima al poder energético del explosivo en el barreno”. (13)

Velocidad de detonación. La detonación de una columna continua de explosivo provocará la transformación del explosivo en un gran volumen de gases a elevada temperatura y presión. La velocidad a la que se produce esta transformación se denomina velocidad de detonación, siendo su unidad de medida metros por segundo (m/s). Es importante distinguir entre la velocidad de detonación (de la reacción química) y de la onda de choque (transmisión física). (13)

La velocidad de detonación es una característica a tener en cuenta en la elección del explosivo. Se optará por explosivos que detonan lentamente, dando lugar a que su energía se desarrolle de forma progresiva, cuando se vuelen rocas blandas o se requiera una fragmentación gruesa, mientras que se debe escoger explosivos

dotados de elevada velocidad de detonación cuando se pretendan fragmentaciones más intensas en rocas duras. (13)

Explosivos. Son sustancias químicas con un cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Esta reacción, de tipo oxidación-reducción, es inducida térmicamente por los llamados “puntos calientes”, se conoce con el nombre de detonación y origina gases a muy alta presión y temperatura, los cuales generan a su vez una onda de compresión que recorre el medio circundante. (13)

Explosivos iniciadores (o primarios). Son aquellos que, debido a la debilidad de sus enlaces, resultan altamente sensibles e inestables. Una pequeña cantidad de estas sustancias es ya sensible a la ignición (pequeña masa crítica). (13)

“Se utilizan en la fabricación de elementos iniciadores (detonadores). Entre este tipo de sustancias cabe mencionar el fulminato de mercurio y la azida de plomo. Ambos se caracterizan por la debilidad de sus enlaces químicos O-N, O-Hg-O y N-Pb.” (13)

“Otro elemento a reseñar es el trinitrorresorcinato de plomo. Este producto se utiliza en combinación de los anteriores para aumentar su sensibilidad. Reduce la higroscopicidad del fulminatoque, por absorción de agua, pierde sensibilidad a la llama.” (13)

Explosivos secundarios. Son sustancias explosivas para cuya detonación se requiere, en comparación con las anteriores, una mayor cantidad de explosivo y un mayor impulso energético. Se utilizan como carga base de los detonadores, como cebos para iniciar explosivos de baja sensibilidad y también, en mayor o menor proporción, forman parte de la composición de muchos explosivos comerciales. (13)

Explosivos emulsiones. Son explosivos de máxima seguridad y potencia, pueden ser utilizados en barrenos con agua. Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH_4NO_3 o de NaNO_3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua). Se trata, por tanto, de explosivos compuestos básicamente por nitrato amónico o nitrato sódico con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de gasoil y menores cantidades (1 – 2 %) de otros productos, entre los que se encuentran: (13)

- Agentes emulsificantes (oleato o estearato de sodio)
- Ceras para aumentar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.

Algunos fabricantes incorporan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad. (13)

El área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado y que tiene las siguientes características: (13)

- Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

2.3.3. PERFORACIÓN GENERALIDADES

Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes. Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. (13)

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- Percusión, con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo. Ejemplo, el proporcionado por los martillos neumáticos pequeños y rompepavimentos. (13)
- Percusión/rotación, con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, tracdrills, jumbos hidráulicos. (13)

- Rotación con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe), como el producido por las perforadoras diamantinas para exploración. (13)
- Fusión (jet piercing) mediante un dardo de llama que funde roca y mineral extremadamente duro como la taconita (hierro), método aplicado en algunos yacimientos de hierro de Norteamérica. (13)

Perforación con martillo en cabeza: “Son perforadoras cuyo martillo está diseñado para trabajar mediante aire a 7 - 8 bar de presión máxima. Como consecuencia, y al objeto de disponer de una energía de impacto suficiente, el área de trabajo del pistón ha de ser grande (téngase en cuenta que la energía de impacto viene dada por el producto de tres factores: presión efectiva, área y carrera del pistón). El perfil longitudinal del pistón tiene por tanto forma de T, tal y como se puede apreciar en la figura 7.” (13)

“El martillo en cabeza incorpora también el mecanismo de rotación que a su vez puede ser independiente o no del de percusión en función de los tamaños y diseños. El empuje lo proporciona el motor de avance (neumático) que a su vez acciona una cadena a la que va enganchado el martillo y que de esta forma desliza sobre un bastidor denominado “corredera” o “deslizadera”. El conjunto generalmente queda montado sobre un chasis que sirve de portador para el resto de elementos que proporcionan todos los movimientos de posicionamiento y traslación. La fuente de energía primaria para la percusión es el aire comprimido que a su vez es suministrado por un compresor incorporado en el equipo de perforación.” (13)

Figura 7: Efectos del Proceso de Detonación de un explosivo confinado en un taladro de voladura de roca



Fuente: BERNAOLA ALONSO, J., CASTILLA GÓMEZ, J. y HERRERA HERBERT, J., 2013. *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid

2.3.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

El propósito de la clasificación es proporcionar un índice numérico que nos indica la calidad del macizo rocoso, para luego recomendar el sostenimiento adecuado. Es importante mencionar que se debe realizar un seguimiento durante la excavación, ya que los índices de calidad de macizos rocosos no son exactos, y por lo tanto necesitan un monitoreo que nos permita asegurar la estabilidad de la excavación; para esto, podemos combinar algunos de los métodos que se mencionan a continuación. (14)

En la actualidad, los procedimientos para realizar el diseño estable de una cavidad subterránea o de una cantera, se circunscriben principalmente a los métodos analíticos, geológicos y geomecánicos. (14)

Analíticos: Utilizan programas de ordenador; son complejos y costosos.

Geológicos: Muy utilizados; son de carácter cualitativo, pero necesitan otros complementos.

Geomecánicos: Son los más utilizados; económicos, rápidos y de fácil comprensión.

El objetivo de las clasificaciones geomecánicas es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder predecir de alguna manera el comportamiento del macizo frente a la excavación programada, el tipo de sostenimiento a usar, y obtener de manera aproximada (empírica) el rango de variación de propiedades geotécnicas del macizo rocoso como son el ángulo de fricción interna y la cohesión. (14)

Clasificación de Bieniawski (RMR): El sistema de clasificación geomecánica RMR, fue desarrollado por Bieniawski durante 1972 y 1973.

Los datos obtenidos en terreno y laboratorio se introducen en la siguiente tabla: (14)

Tabla 4: Sistema RMR según Bieniawski.

SISTEMA DE RMR (Según Bieniawski 1989).									
A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES									
Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia del material de la roca intacta	Índice de resistencia bajo carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango es preferible un ensayo de compresión simple		
		Resistencia a la compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD Calidad del testigo de perforación		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	8	3		
3	Espaciado entre discontinuidades		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades (Ver E)		Superficies muy rugosas	Superficies ligeramente rugosas	Superficies ligeramente rugosas	Superficies pulidas o relleno de falla < 5mm de espesor o separación 1-5mm	Relleno de falla suave > 5mm de espesor o separación > 5mm		
			Discontinuas No hay separación Paredes intactas	Separación <1mm Paredes ligeramente meteorizadas	Separación <1mm Paredes altamente meteorizadas	separación > 5mm	Continuas		
Puntuación		30	25	20	10	0			
5	Agua subterránea	Afluencia por 10 m de longitud del túnel (l/m)	Ninguna	<10	10-25	25-125	>125		
		(Presión de agua en las juntas) / (σ principal mayor)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	Condiciones generales		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
B. AJUSTE DE LA PUNTUACIÓN PARA LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (Ver F)									
Orientaciones de rumbo y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable			
Puntuaciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-			
C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS A PARTIR DE LA PUNTUACIÓN TOTAL									
Valoración		100←81	80←61	60←41	40←21	<21			
Categoría		I	II	III	IV	V			
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala			

Fuente: OSINERGMIN, 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Primera ed. LIMA

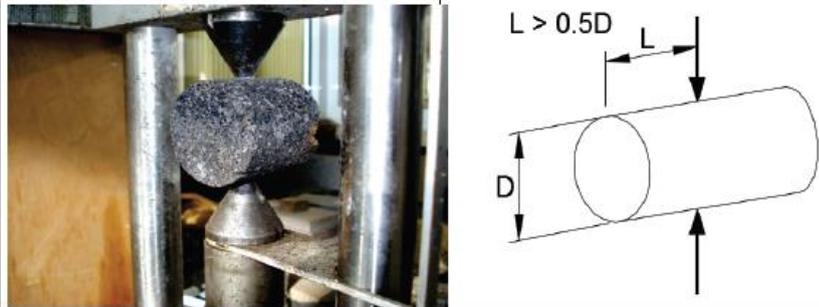
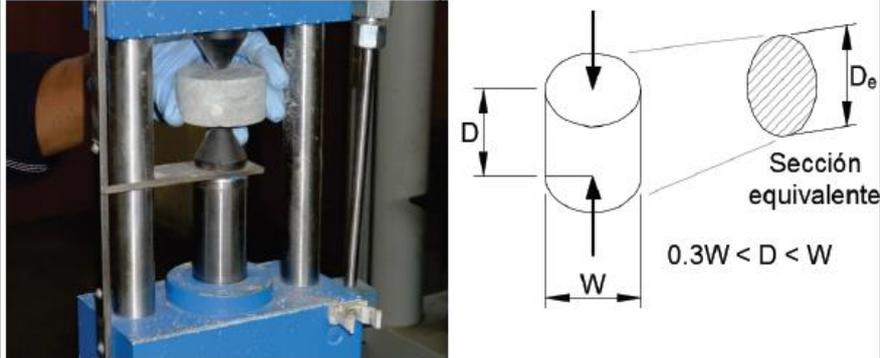
Consiste en calificar el macizo rocoso a través de los siguientes parámetros.

a. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca:

“En mecánica de rocas e ingeniería geológica, los ensayos de carga puntual determinan el índice I_s (50) en testigos de roca que requieren de poca preparación

y que pueden tener formas regulares e irregulares. El índice es multiplicado por un factor de conversión para estimar el valor de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de la roca intacta. Diversos autores (e.g. Becker et al. 1997, Brooke 1993, Gunsallus & Kullhawy 1984, Hawkins 1998, Thuro 1996) han establecido que el factor de conversión de $I_s(50)$ a UCS depende del tipo de roca ensayada. Debido a que los valores en los reportes varían entre 10 a 50 aproximadamente, un factor único no puede ser aplicable en todos los tipos de roca.” (14)

Figura 8: Esquema de los ensayos de carga puntual.

TIPO DE ENSAYO	
Ensayo diametral	
Ensayo axial	

Fuente: SINERGMIN, 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Primera ed. LIMA

Ensayo diametral: Las muestras de forma cilíndrica apropiadas para este ensayo son las que tienen relación longitud/diámetro mayor que 1 ($W/D > 1$). (14)

Ensayo axial: Las muestras cilíndricas utilizadas en este ensayo deben cumplir con la relación longitud/diámetro de 0.3 a 1. ($0.3 < D/W < 1$) (14)

El esfuerzo de carga puntual (I_s) está dado por:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

Donde D_e es el diámetro equivalente, el cual es igual a:

Ensayo diametral:

$$D_e^2 = D^2$$

Ensayo axial o de bloques irregulares:

$$D_e^2 = 4WD/\pi$$

" I_s es una función de D_e , por lo que se debe aplicar una corrección para obtener un valor único de esfuerzo para una muestra de roca. El valor corregido, denominado $I_s(50)$ corresponde al valor de I_s medido en un ensayo diametral con diámetro $D = 50$ mm. La corrección es:" (14)

$$I_s = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} * \left(\frac{P}{D_e^2}\right)$$

b. Índice de calidad de la Roca (RQD):

"El índice de calidad de roca, conocido como RQD (Deere, 1964), es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso." (14)

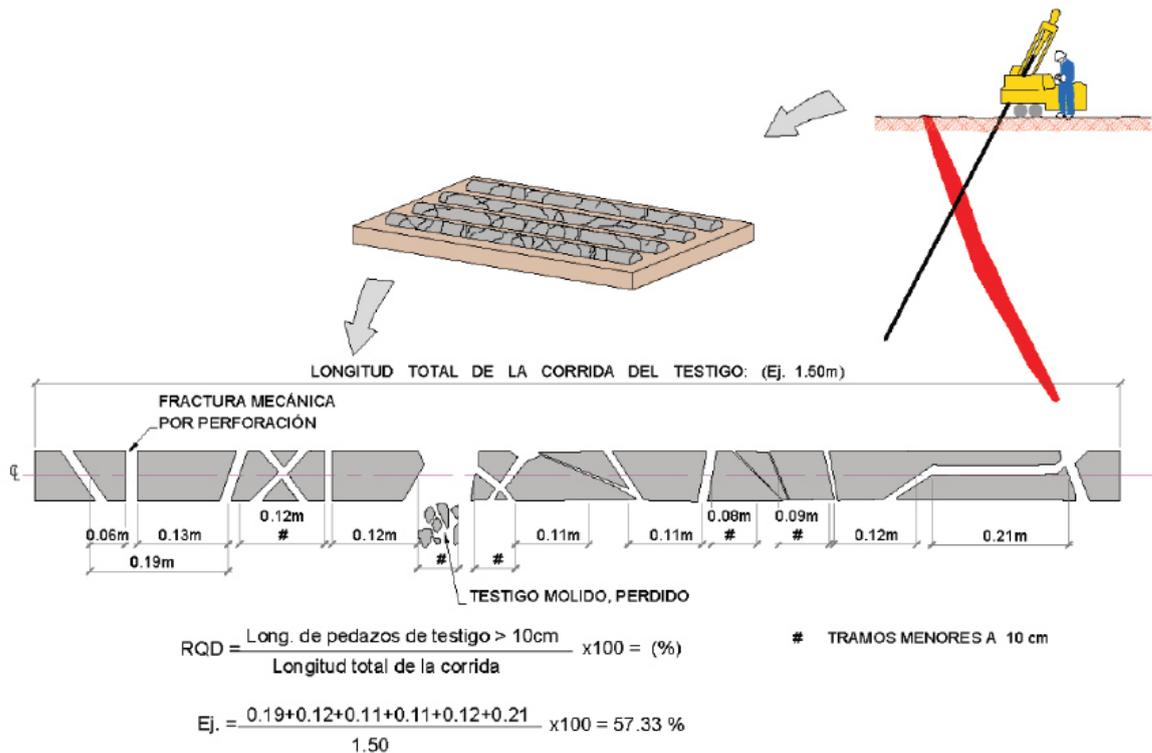
El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). La interpretación del valor del RQD se muestra en la Tabla N° 04.

El sistema se basa en medir la frecuencia del número de fracturas naturales presentes en el macizo rocoso, en la dirección que se mide. Si la frecuencia de fracturas aumenta, la valoración del RQD disminuye. (14)

"El RDQ es la relación expresada como un porcentaje de la suma de todas las partes de longitudes mayores a 10 cm dividido por la longitud total de la corrida de perforación. El RQD se mide normalmente para cada corrida de perforación.

Comúnmente, se utiliza testigos de perforación BQ y NQ (diámetros de 47.6 mm y 50.5 mm respectivamente).” (14)

Figura 9: Proceso comúnmente usado para evaluar el valor del RQD de un testigo.



Fuente: Australian Centre for Geomechanics, ACG. (2003). *Management of Rockall Risks in Underground Metalliferous Mines*. (Y. Potvin, & P. Nedin, Edits.) Camberra, Victoria, Australia: Minerals Council of Australia.

- c. **Espaciado entre discontinuidades.** Tiene una valoración como máximo de 20 puntos y nos indica qué tan separada están las juntas de familia principal de diaclasas de roca. (14)
- d. **Condición de las discontinuidades.** Es el parámetro más influyente, ya que tiene una valoración máxima de 30 puntos. Nos indica el estado de las diaclasas, cuán descompuestas se presentan. Se divide en 5 parámetros: Persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta. (14)
- e. **Condición de infiltraciones de agua.** Nos indica si hay presencia de agua en el terreno, tiene una puntuación máxima de 15 puntos. (14).

- f. **Orientación de las discontinuidades.** Este parámetro tiene una valoración negativa, entre 0 (muy favorable) y -12 (muy desfavorable) puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable. (14)

2.3.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Accesorios de Voladura:** Son un conjunto de suministros explosivos necesarios para iniciar una voladura; comprenden a los fulminantes o detonadores, mecha de seguridad y mecha rápida, conectadores, retardadores, cordones detonantes, cables, explosores e instrumentos de control como ohmnímetros y otros. (11)
- **Atacado:** Es usado en la parte sin carga superior del taladro y consiste de arena seca, detrito o similares. El propósito del atacado es, por ejemplo, evitar que al momento de la detonación los gases se dirijan hacia arriba arrastrando partículas de roca alrededor del collar (boca) del taladro. (15)
- **Arranque:** Son taladros perforados y cargados antes que los demás para ser chispeado y que puede generar cara libre en el frente de la Galería Progreso. (3)
- **Broca:** Extremidad cortante de un taladro, generalmente hecha de un material muy duro, como diamante industrial o carburo de tungsteno. (15)
- **Cara libre:** Se llama cara libre de labor a una zona o roca que se quiere volar, a cada uno de los lados que están en contacto con el aire, según un cubo imaginario tomado para comparación. (15)
- **Cordón detonante:** Es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión. (15)
- **Detonador:** Es todo dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, al que normalmente se le conoce con el nombre de fulminante. Pueden ser eléctricos o no, instantáneos o con retardo. El término detonador no incluye al cordón detonante. (15)

- **Diámetro del taladro:** Es el diámetro del agujero que se va a perforar, y que tiene forma de cilindro alargado. (15)
- **Fulminante común:** Es una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro, secundario, de alto poder explosivo. (15)
- **Longitud del taladro:** Es el largo del hueco perforado, el mismo que por una causa de la inclinación y la sobre perforación, será más largo que la altura del banco. (15)
- **Malla:** Diseño geométrico donde se distribuyen los taladros de una voladura. (11)
- **Mecha rápida:** Es un accesorio (cordón flexible) que contiene dos alambres, uno de fierro y el otro de cobre; uno de los cuales está envuelto en toda su longitud por una masa pirotécnica especial, y ambos a la vez están cubiertos por un plástico impermeable. (15)
- **Mecánica de las rocas:** Estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, que incluye condiciones de tensión alrededor de las galerías y la capacidad de las rocas, y de las estructuras subterráneas de soportar estas tensiones. (15)
- **Perforación:** Es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos, o blast hole. (10)
- **Perforadora Neumática (Jackleg):** Equipos convencionales, livianas rotopercutivas, son accionadas con energía neumática, esta energía transmite desde la perforadora a la roca a través de una barra que termina en el inserto de carburo que es el encargado de triturar. (11)
- **Proceso de voladura:** Es un conjunto de tareas que comprende el traslado del explosivo y accesorios de los polvorines al lugar del disparo, las disposiciones preventivas antes del carguío, el carguío de los explosivos, la conexión de los taladros cargados, la verificación de las medidas de seguridad, la autorización y el encendido del disparo. (15)
- **Techo:** Techo o bóveda de una galería subterránea. (15)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolla a través de un enfoque cuantitativo, ya que refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación; en este caso deseamos medir y estimar los datos más importantes de los disparos realizados con una nueva malla de perforación diseñada con algoritmos y fórmulas matemáticas. (16)

Asimismo, se enfatiza en la aplicación del método científico como única vía de búsqueda de verdad.

3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del mismo será realizado dentro del área de operaciones mineras, costos y productividad de la Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A. La implementación de una nueva malla de perforación para la rampa negativa 440, abarca controles especialmente del área de costos y productividad, y la aplicación de campo, en el área operaciones mina.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de esta tesis es aplicada, ya que supone un cambio a partir de conocimientos adquiridos para mejorar un proceso. La información obtenida de esta

investigación debe ser aplicable en cualquier lugar con características afines al contexto presentado.

3.2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño es cuasi experimental, ya que, en una primera fase de la investigación, se evaluará los disparos registrados históricamente sin ser modificados, luego se diseñará y aplicará una malla de perforación en disparos seleccionados de forma no aleatoria. De esta manera, se analizará los resultados del pre test y post test para comprobar la hipótesis inicialmente planteada. (16)

Diseño cuasi experimental. Un solo grupo de pre test y post test (Hernandez y col. 2014).

$$GE = O1 \times O2$$

Donde:

GE: Grupo Experimental

O1: Pre test

X : Implementación de una malla de perforación para La Rampa 440 en la Mina MACDESA

O2: Post test

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población de esta investigación son todos los disparos registrados en La Rampa 440 (-) desde el inicio de su construcción.

3.3.2. MUESTRA

Se ha seleccionado como muestra diez disparos realizados de manera convencional realizados en La Rampa 440 (-).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Caracterización y análisis del macizo rocoso a través del logueo geológico, pruebas de compresión en el laboratorio de mecánica de rocas.
- Análisis de reportes de voladura de la base de datos y los reportes de los disparos con la malla implementada, a partir de ello se evaluará el costo unitario y su diferencia: número de taladros, explosivos y accesorios utilizados, avance lineal, etc.

3.4.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Softwares: Microsoft Excel 2010, Autocad Civil 2017
- Ábacos
- Tablas estadísticas
- Ensayos de carga puntual

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR SEGÚN BIENIAWSKI

4.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL

Tabla 5: Resultados del ensayo de Compresión Simple Uniaxial.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE UNIAXIAL				
MUESTRA	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	σ KN	σ Mpa
M ₁	36.6	26	9.56	8.38
M ₂	36.5	25	7.83	6.86
M ₃	36.5	26	12.57	11.02

	σ KN	σ MPa
Esfuerzo Promedio	9.98	8.75

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD

Tabla 6: Logeo de metros de profundidad de testigos BQ, Zona rampa

LOGEO DE 72.5 metros de profundidad de TESTIGOS BQ (36.4 mm), Zona rampa														
N° de caja	CORRIDA SUPERIOR (metros)	CORRIDA INFERIOR (metros)	DIFERENCIA DE LONGITUD	LONGITUD DE PARTES > 10cm								Σ de partes > 10 cm	RQD	PONDERACIÓN
				18	24	-	-	-	-	-	-			
59	166.35	165.25	1.10	18	24	-	-	-	-	-	-	0.42	38%	0.420
59	167.15	166.35	0.80	80	-	-	-	-	-	-	-	0.80	100%	0.800
59	167.75	167.15	0.60	22	16	-	-	-	-	-	-	0.38	63%	0.380
60	169.00	167.75	1.25	19	20	12	19	10	-	-	-	0.80	64%	0.800

60	170.50	169.00	1.50	18	11	18	14	11	-	-	-	0.72	48%	0.720
61	172.00	170.50	1.50	17	28	20	30	17	-	-	-	1.12	75%	1.120
61	173.50	172.00	1.50	16	53	36	15	-	-	-	-	1.20	80%	1.200
62	174.90	173.50	1.40	26	16	22	14	13	31	-	-	1.22	87%	1.220
62	176.50	174.90	1.60	11	18	19	15	11	11	-	-	0.85	53%	0.850
63	177.90	176.50	1.40	20	13	22	-	-	-	-	-	0.55	39%	0.550
63	179.50	177.90	1.60	22	22	12	21	34	13	-	-	1.24	78%	1.240
64	181.00	179.50	1.50	32	27	15	13	15	15	16	17	1.50	100%	1.500
64	182.35	181.00	1.35	12	26	22	12	-	-	-	-	0.72	53%	0.720
65	183.95	182.35	1.60	13	17	18	12	29	-	-	-	0.89	56%	0.890
65	185.50	183.95	1.55	12	24	27	12	42	-	-	-	1.17	75%	1.170
66	187.00	185.50	1.50	28	20	12	17	36	-	-	-	1.13	75%	1.130
66	188.50	187.00	1.50	13	32	15	40	53	-	-	-	1.53	102%	1.530
67	190.00	188.50	1.50	18	24	38	17	12	-	-	-	1.09	73%	1.090
67	191.50	190.00	1.50	34	51	11	13	33	-	-	-	1.42	95%	1.420
68	192.90	191.50	1.40	20	40	32	26	12	-	-	-	1.30	93%	1.300
68	194.40	192.90	1.50	47	44	11	12	-	-	-	-	1.14	76%	1.140
69	196.00	194.40	1.60	18	27	36	20	27	-	-	-	1.28	80%	1.280
69	196.85	196.00	0.85	19	-	-	-	-	-	-	-	0.19	22%	0.190
70	198.45	196.85	1.60	42	13	22	16	18	-	-	-	1.11	69%	1.110
70	200.05	198.45	1.60	13	45	13	28	17	29	-	-	1.45	91%	1.450
71	201.65	200.05	1.60	29	15	29	11	33	15	15	-	1.47	92%	1.470
71	203.25	201.65	1.60	34	22	37	21	33	-	-	-	1.47	92%	1.470
72	204.85	203.25	1.60	50	60	50	-	-	-	-	-	1.60	100%	1.600
73	206.45	204.85	1.60	59	60	35	-	-	-	-	-	1.54	96%	1.540
73	208.85	206.45	2.40	19	44	14	20	33	11	14	-	1.55	65%	1.550
74	209.50	208.05	1.45	31	40	17	17	40	-	-	-	1.45	100%	1.450
74	210.95	209.55	1.40	10	12	14	15	13	59	-	-	1.23	88%	1.230
75	212.50	210.95	1.55	15	12	41	57	-	-	-	-	1.25	81%	1.250
75	214.00	212.50	1.50	38	39	21	28	21	-	-	-	1.47	98%	1.470
76	215.10	214.00	1.10	33	57	20	-	-	-	-	-	1.10	100%	1.100
76	216.60	215.10	1.50	18	33	60	21	-	-	-	-	1.32	88%	1.320
77	218.20	216.60	1.60	54	56	26	15	-	-	-	-	1.51	94%	1.510
77	219.80	218.20	1.60	14	18	58	40	-	-	-	-	1.30	81%	1.300
78	221.40	219.80	1.60	34	31	19	58	15	-	-	-	1.57	98%	1.570
78	223.00	221.40	1.60	20	34	24	58	22	-	-	-	1.58	99%	1.580
79	224.50	223.00	1.50	56	58	36	-	-	-	-	-	1.50	100%	1.500
79	225.50	224.50	1.00	10	11	13	34	-	-	-	-	0.68	68%	0.680
80	227.10	225.50	1.60	14	15	18	12	32	39	11	-	1.41	88%	1.410
80	228.00	227.10	0.90	60	13	11	-	-	-	-	-	0.84	93%	0.840
81	230.25	228.00	2.25	60	68	37	40	19	-	-	-	2.24	100%	2.240
81	231.80	230.25	1.55	21	18	42	60	-	-	-	-	1.41	91%	1.410
82	232.90	231.80	1.10	20	30	23	-	-	-	-	-	0.73	66%	0.725

82	234.10	232.90	1.20	13	17	14	15	18	14	-	-	0.90	75%	0.895	
83	235.60	234.10	1.50	18	11	18	17	13	21	19	26	1.43	95%	1.430	
83	237.30	235.60	1.70	59	11	38	16	12	20	-	-	1.56	92%	1.560	
84	238.90	237.30	1.60	38	42	12	20	16	-	-	-	1.28	80%	1.280	
			Sub total									74.40			
												Sub total	60.6		
													RQD PONDERADO	81%	

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA RQD

Tabla 7: Aplicación del sistema RMR según Bieniawski: Tramo 825-875m.

Cia. Minera MACDESA.

MAPEO GEOMECÁNICO

E.E LOS MAGNIFICOS

LUGAR : MINA MACDESA - AREQUIPA

POR : Ing. Miguel Ángel Dávila Candiotti

LABOR : RAMPA (-) 440

FECHA : 11/10/2019

TRAMO : 825 - 875 m

VALORIZACIÓN DEL MACIZO RAMPA (-) 440 (R.M.R)									
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES						VALORACIÓN	
RESISTENCIA CARGA PUNTAL		>10 MPa (15)	X 4-10 MPa (12)	2-4 MPa (7)	1-2 MPa (5)	<1MPa (0)	1	12	
RQD (%)		90-100 (20)	X 75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	17	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	X 0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X 1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4	
	APERTURA	Cerrada (6)	X <0.1mm apert (5)	0.1- 1.0mm (4)	1- 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	5	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	X Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)	X Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm(1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	X Mod.Alterad (3)	Muy Alterada.(2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRÁNEA		X Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =								75	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100-81	80-61	60-41	40-26	25-0			
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Aplicación del sistema RMR según Bieniawski: Tramo 875-925m.

MAPEO GEOMECÁNICO

LUGAR : MINA MACDESA - AREQUIPA **POR :** Ing. Miguel Ángel Dávila Candiotti

LABOR : RAMPA (-) 440 **FECHA :** 11/10/2019

TRAMO : 875 - 925 m

Cia. Minera MACDESA.
E.E. LOS MAGNIFICOS

VALORIZACIÓN DEL MACIZO RAMPA (-) 440 (R.M.R)										
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES							VALORACIÓN		
RESISTENCIA CARGA PUNTAL	>10 MPa (15)	X	4-10 MPa (12)		2-4 MPa (7)		1-2 MPa (5)	<1MPa (0)	1	12
RQD (%)	90-100 (20)	X	75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)	<25 (3)	2	17
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)		0,6-2 (15)	X	0,2-0,6 (10)		0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)		3-10mm (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	APERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert (5)	X	0.1-1.0mm (4)	1- 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	X	Duro < 5mm (4)		Duro>5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4
	ALTERACIÓN	Sana (6)		Lig. Alterada. (5)	X	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRÁNEA	X	Seco (15)		Humeda (10)		Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =									72	
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100-81	80-61		60-41		40-26		25-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA		

Fuente: Elaboración propia

4.2. DISEÑO DE MALLA 4.0M X 4.0M

Datos de Campo

- Ancho: 4.0 metros.
- Alto: 4.0 metros.
- Longitud del Barreno: 8.0 pies.
- Diámetro de Broca: 38 mm.
- Densidad: 2.7 g/cm³

Diámetro del Taladro Equivalente

$$D_2 = D_1 * \sqrt{n}$$

$$D_2 = 0.038 * \sqrt{4}$$

$$D_2 = 0.076 \text{ m}$$

Profundidad de los taladros a perforarse por el algoritmo de Holmberg

$$L = 0.15 + 34.1 * D_1 - 39.4 * D_1^2$$

$$L = 0.15 + 34.1 * 0.076 - 39.4 * 0.076^2$$

$$L = 2.51 \text{ m}$$

Avance Efectivo por Disparo

$$I = 0.95 * L$$

$$I = 0.95 * 2.51$$

$$I = 2.38$$

Cálculo del Burden 1

$$B_1 = 1.5 * D_2$$

$$B_1 = 1.5 * 0.076$$

$$B_1 = 0.11 \text{ m}$$

Cálculo de Burden 2

$$B_2 = B_1 * \sqrt{2}$$

$$B_2 = 0.11 * \sqrt{2}$$

$$B_2 = 0.16 \text{ m}$$

Cálculo de Burden 3

$$B_3 = 1.5 * B_2 * \sqrt{2}$$

$$B_3 = 1.5 * 0.16 * \sqrt{2}$$

$$B_3 = 0.34 \text{ m}$$

Cálculo de Burden 4

$$B_4 = 1.5 * B_3 * \sqrt{2}$$

$$B_4 = 1.5 * 0.34 * \sqrt{2}$$

$$B_4 = 0.72 \text{ m}$$

Espaciamiento Calculado Para los Taladros de la Corona

$$E = K * D$$

$$E = 15 * 0.038$$

$$E = 0.57 \text{ m}$$

Espaciamiento Calculado Para los Taladros de los Hastiales

$$E = \frac{\text{Longitud del hastial}}{N-1}$$

$$E = \frac{3.4}{5-1}$$

$$E = 0.85 \text{ m}$$

Espaciamiento Calculado Para los Taladros del Arrastre

$$E = \frac{\text{Ancho} - 2 * 0.1}{N - 1}$$

$$E = \frac{4 - 2 * 0.1}{6 - 1}$$

$$E = 0.76 \text{ m}$$

Cálculo del Perímetro de la Sección

Perímetro = Base + Hastiales + Longitud de Arco

$$P = 4 \text{ m} + 2 * 3.32 \text{ m} + 4.3025 \text{ m}$$

$$P = 14.94 \approx 15 \text{ m}$$

Cálculo de la Cantidad de Taladros

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \left(\frac{P}{D_t} \right) + (C * S)$$

$$N^{\circ} \text{ Tal} = \left(\frac{15}{0.52} \right) + (1.8 * 15)$$

$$N^{\circ} \text{ Tal} = 55.85 \approx 56 \text{ tal}$$

Cálculo de la Potencia Relativa por Peso

$$PRP = \frac{5Q_3}{6Q_{30}} + \frac{1}{6} * \frac{V}{V_0}$$

La potencia por peso de la emulsión (Emulex 80) de la marca EXSA relativa al LBF es:

$$PRP_{LBF} = \frac{5 * 4.18}{6 * 5} + \frac{1}{6} * \frac{0.94}{0.85}$$

$$PRP_{LBF} = 0.88$$

La potencia por peso de la emulsión (Emulex 80) de la marca EXSA relativa al ANFO es:

$$\frac{PRP_{LBF}}{PRP_{ANFO}} = \frac{0.88}{0.84}$$

$$\frac{PRP_{LBF}}{PRP_{ANFO}} = 1.05$$

Cálculo de la Concentración de Carga

$$q_1 = 55 * d * \left(\frac{V}{D_2}\right)^{\frac{3}{2}} * \frac{\left(V - \frac{D_2}{2}\right) * \left(\frac{C}{0.4}\right)}{S_{anf0}}$$

$$q_1 = 55 * 0.038 * \left(\frac{0.11}{0.076}\right)^{\frac{3}{2}} * \frac{\left(0.11 - \frac{0.076}{2}\right) * \left(\frac{0.4}{0.4}\right)}{1}$$

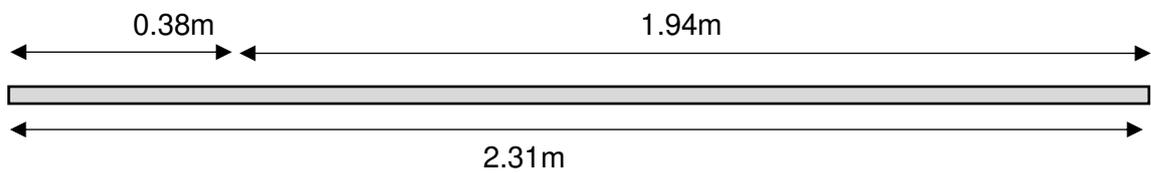
$$q_1 = 0.29 \text{ kg/m}$$

El taco calculado a partir del diámetro de los taladros de producción será el siguiente:

$$Taco = 10 * d$$

$$Taco = 10 * 0.038$$

$$Taco = 0.38 \text{ m}$$



$$q_1 = 0.29 \text{ kg/m} * 1.94 \text{ m/tal}$$

$q_1 = 0.563 \text{ kg/tal}$, este valor la carga promedio por taladro que se empleará.

Número de cartuchos por taladro:

$$N = \frac{0.563 \text{ kg/tal}}{0.113 \text{ kg/cart.}}$$

$$N = 5 \text{ cartuchos}$$

4.3. INDICADORES Y DISTRIBUCIÓN DE VOLADURA CALCULADOS

Tabla 9 : Datos proyectados de la malla.

DATOS RAMPA (-) 440		
Sección	4.00 x 4.00	m ²
Tipo de Roca	DURA	
RMR	75-72	Buena
Ø Tal. Producción	38	mm
Ø Tal. Alivio	38	mm
Long. Barreno	8	pies
Long. De Perforación Efectiva	2.31	m
Avance proyectado	2.2	m
Eficiencia de Voladura (calculado)	95.65	%
Volumen Roto (calculado)	35.2	m ³
Peso específico	2.7	ton/m ³
Tonelaje Roto proyectado	95.04	tm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Indicadores de la malla

INDICADORES DE VOLADURA RAMPA (-) 440		
Taladros Perforados	56	taladros
Taladros Cargados	52	taladros
Cartuchos por Taladro	7.25	cart/tal
kg de explosivo por Taladro	0.8193	kg/tal
kg de explosivo por Disparo	45.878	kg/disp
Factor de Avance	20.854	kg/ml
Factor de Carga	1.4508	kg/m ³
Factor de Potencia	0.5373	kg/ton

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Distribución de carga calculada con la nueva malla

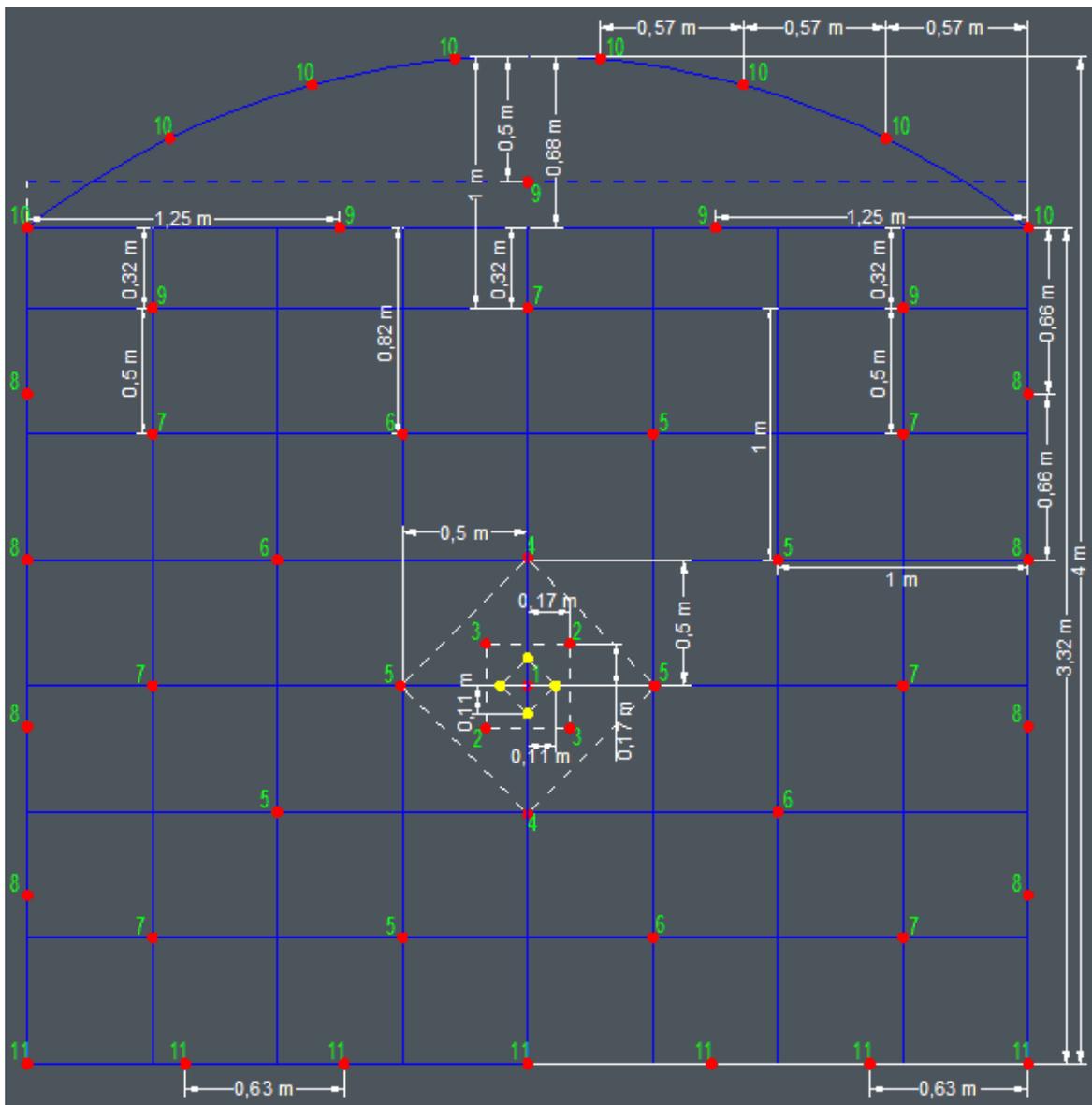
DISTRIBUCIÓN DE CARGA DE LOS TALADROS			
POSICIÓN DE TALADROS	# TALADROS	NÚMERO DE CARTUCHOS	TOTAL CARTUCHOS
ARRANQUE			
Taladros de alivio	4		
Arranque	AR0	10	10
1ra Ayuda del Arranque	AR1	9	36
2da Ayuda del Arranque	AR2	9	36
CUADRADORES			
1er Cuadrante	CU1	8	64
2do Cuadrante	CU2	8	56

3do Cuadrante	CU3	8	8	64
CORONA				
Ayuda Corona	CO1	5	7	35
Contorno Corona	CO2	8	7	56
ARRASTRE				
Taladros del Arrastre	TR	7	7	49
Total de Taladros		56	TOTAL	406

Fuente: Elaboración propia

4.4. DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN PROPUESTA

Figura 10: Diseño de perforación propuesto elaborado en Autocad Civil 3D 2017.



Fuente: Elaboración Propia.

4.5. DISPAROS APLICADOS CON LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PROPUESTA

A continuación, se presenta el registro de los disparos en campo aplicando la nueva malla propuesta, la tabla también muestra la columna “Disparo histórico”, el cual detalla los indicadores promedio reales precedentes a la investigación.

Tabla 12: Datos obtenidos después de haber aplicado la malla propuesta

DÍA	DISPARO HISTÓRICO	07-oct	15-oct	16-oct	17-oct	18-oct	21-oct	22-oct	23-oct	25-oct	25-oct
TURNO		Noche	Día	Noche							
Nro taladros	60	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
N° Tal. Cargados	56	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Long barreno (pies)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ancho (m)	4.18	4.08	4.24	4.26	4.25	4.27	4.22	4.2	4.15	4.27	4.22
Altura (m)	4.22	4.13	4.22	4.27	4.2	4.3	4.26	4.18	4.25	4.23	4.15
Avance (m)	2.15	2.09	2.18	2.22	2.18	2.23	2.16	2.15	2.17	2.20	2.11
Carmex (7 PIES)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
EXANELES	56	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Pentacor	22	22	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Emulex 80 (1"x8")	454	397	406	406	406	406	406	406	406	406	406
Eficiencia perf (%)	85%	86%	89%	91%	89%	91%	89%	88%	89%	90%	87%
Rotura (m³)	36.63	35.22	39.01	40.38	38.91	40.95	38.83	37.75	38.27	39.74	36.95
TM	98.90	95.09	105.32	109.03	105.07	110.55	104.84	101.91	103.34	107.29	99.77
Eficiencia vol (%)	88%	86%	89%	91%	89%	91%	89%	88%	89%	90%	87%
Kg expl / disp	49.73	43.51	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50
F.P. (Kg / tn)	0.5	0.46	0.42	0.41	0.42	0.4	0.42	0.44	0.43	0.41	0.45
F. C. (kg / m³)	1.36	1.24	1.14	1.1	1.14	1.09	1.15	1.18	1.16	1.12	1.2
F. A. (kg / ml)	23.14	20.82	20.42	20.05	20.42	19.96	20.61	20.7	20.51	20.23	21.1
Kg expl / tal	0.88	0.84	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86

Fuente: Elaboración propia

4.6. RESUMEN COSTOS UNITARIOS

El siguiente cuadro nos muestra el resumen del análisis de los costos unitarios, el cual describe cuánto era el costo unitario por ítem antes de implementar la malla y la diferencia con la malla propuesta. Se puede observar qué malla propuesta trabaja con el promedio de avance **2.17 m** obtenido a través de los **10 disparos** realizados para el presente trabajo de investigación. El análisis detallado de cada precio unitario se desarrolla en el Anexo N 09°.

Tabla 13: Análisis de costos unitarios y ahorro por ítem.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS SIN MALLA ESTÁNDAR Y CON MALLA ESTÁNDAR

MINA : MACDESA			
PARTIDA : RAMPA 4 X4			
UNIDAD : Cuatro horas			
UBICACIÓN : 04 horas - Caravelí - Arequipa			
FECHA : OCTUBRE 2019			
LIMPIEZA : SCOOPTRAM 4 Yd3			
AVANCE PROMEDIO HISTÓRICO	2.15 metros		
AVANCE PROMEDIO NUEVA MALLA	2.17 metros		
	PROM. HISTÓRICO	NUEVA MALLA	AHORRO
DESCRIPCIÓN	COSTO Disp. S/	COSTO Disp. S/	
1. MANO DE OBRA:			
AYUDANTE PERFORISTA	S/. 160.00	S/. 160.00	S/. 0.00
SCOOPERO	S/. 120.00	S/. 120.00	S/. 0.00
PERFORISTA	S/. 192.00	S/. 192.00	S/. 0.00
Sub Total Costo Mano de Obra / disparo	S/. 472.00	S/. 472.00	S/. 0.00
2. ACEROS DE PERFORACIÓN			
Barras cónicas de 8 pies	S/. 32.49	S/. 30.33	S/. 2.17
Barras cónicas de 6 pies	S/. 25.55	S/. 23.85	S/. 1.70
Barras cónicas de 4 pies	S/. 38.81	S/. 36.22	S/. 2.59
Brocas de 41 mm	S/. 28.43	S/. 26.54	S/. 1.90
Brocas de 38 mm	S/. 11.30	S/. 10.55	S/. 0.75
Brocas de 36 mm	S/. 9.92	S/. 9.26	S/. 0.66
Sub Total Costo Aceros de Perf. / disparo	S/. 146.51	S/. 136.74	S/. 9.77
3. PERFORACIÓN Y ACCESORIOS			
Perforadora Neumática Jackle + Repuestos	S/. 176.35	S/. 164.60	S/. 11.76
Manguera de 1/2" (por dos equipos)	S/. 3.30	S/. 3.30	S/. 0.00
Manguera de 1" (por dos equipos)	S/. 5.72	S/. 5.72	S/. 0.00
Aceite torcola 100 (por dos equipos)	S/. 9.35	S/. 9.35	S/. 0.00
Sub Total Costo Jackleg y Acc./ disparo	S/. 194.72	S/. 182.97	S/. 11.76
4. EPPs			

Casco tipo sombrero incluido porta lámpara	S/. 0.37	S/. 0.37	S/. 0.00
Respirador	S/. 1.94	S/. 1.94	S/. 0.00
Lentes de Seguridad	S/. 0.52	S/. 0.52	S/. 0.00
Barbiquejo	S/. 0.16	S/. 0.16	S/. 0.00
Guantes de cuero	S/. 4.19	S/. 4.19	S/. 0.00
Guantes de neoprene / hycron	S/. 4.97	S/. 4.97	S/. 0.00
Mamelucos con Cinta Reflectiva	S/. 1.14	S/. 1.14	S/. 0.00
Cartuchos 3M - polvo	S/. 6.84	S/. 6.84	S/. 0.00
Cartuchos 3M 6003 - antigas	S/. 2.49	S/. 2.49	S/. 0.00
Botas de jebe	S/. 1.92	S/. 1.92	S/. 0.00
Tapón de oídos	S/. 0.35	S/. 0.35	S/. 0.00
Pantalón de jebe	S/. 1.86	S/. 1.86	S/. 0.00
Saco de jebe	S/. 1.86	S/. 1.86	S/. 0.00
Correa portalámparas	S/. 0.34	S/. 0.34	S/. 0.00
Lámpara de batería	S/. 1.81	S/. 1.81	S/. 0.00
Tafílete	S/. 0.23	S/. 0.23	S/. 0.00
Sub Total Costo EPPs / disparo	S/. 31.00	S/. 31.00	S/. 0.00
5. MATERIALES			
Combo de 12 libras	S/. 0.50	S/. 0.50	S/. 0.00
Combo de 8 libras	S/. 0.48	S/. 0.48	S/. 0.00
Barretilla de 4' y/o 6'	S/. 1.76	S/. 1.76	S/. 0.00
Cucharilla de 6'	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Llave Stilson de "14"	S/. 1.07	S/. 1.07	S/. 0.00
Llave Stilson de "18"	S/. 1.32	S/. 1.32	S/. 0.00
Punzón para Cebo	S/. 0.14	S/. 0.14	S/. 0.00
Atacadores 7/8" x 6'	S/. 3.96	S/. 3.96	S/. 0.00
Alambre Nro 16	S/. 1.05	S/. 1.05	S/. 0.00
SPRAY	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
PICO	S/. 0.43	S/. 0.43	S/. 0.00
PALA MINERA	S/. 0.39	S/. 0.39	S/. 0.00
Carretilla minera	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Llanta para Carretilla	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Saca barrenos	S/. 0.23	S/. 0.23	S/. 0.00
Plataforma de Perforación	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Gas	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Soplete	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Barretilla de Aluminio de 3.0m	S/. 0.88	S/. 0.88	S/. 0.00
Sub Total Costo Materiales / disparo	S/. 12.21	S/. 12.21	S/. 0.00
6. MAQUINARIA			
Scooptram 4 yd3	S/. 686.70	S/. 686.70	S/. 0.00
Sub Total Costo Maquinaria / disparo	S/. 686.70	S/. 686.70	S/. 0.00
7. EXPLOSIVOS/ACCESORIOS			
Emulsión E-80 (1X8")	S/. 308.35	S/. 275.28	S/. 33.07
Exsaneles	S/. 280.00	S/. 260.00	S/. 20.00

Pentacord	S/. 12.98	S/. 11.92	S/. 1.06
Carmex 7 pies (unidad)	S/. 5.02	S/. 5.02	S/. 0.00
Mecha Rápida (mt)	S/. 1.46	S/. 1.46	S/. 0.00
Sub Total Costo Expl. Y Acc. / disparo	S/. 607.81	S/. 553.68	S/. 54.13
8. VENTILACIÓN			
Manga de Ventilación 24"	S/. 14.43	S/. 14.43	S/. 0.00
Accesorio Manga Ventilación 24"	S/. 1.44	S/. 1.44	S/. 0.00
Sub Total Costo Ventilación / disparo	S/. 15.87	S/. 15.87	S/. 0.00
SUB TOTAL COSTO DIRECTO	S/. 2,166.83	S/. 2,091.18	S/. 75.65
IMPREVISTOS (%10.00)	S/. 216.68	S/. 209.12	S/. 7.57
UTILIDAD (%10.00%)	S/. 238.35	S/. 230.03	S/. 8.32
GASTOS GENERALES (%13.00)	S/. 281.69	S/. 271.85	S/. 9.83
COSTO TOTAL / DISPARO	S/. 2,903.55	S/. 2,802.17	S/. 101.4
COSTO S/ml	S/. 1,350.49	S/. 1,291.32	S/. 59.16

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico De Voladura.

4.7. ANÁLISIS DE INDICADORES Y RESUMEN DE TABLAS

4.7.1. FACTORES OPERACIONALES

En los gráficos siguientes veremos que los factores de avance, carga y potencia obtenidos a través de los disparos realizados en campo se encuentran por debajo de los promedios históricos. Cabe mencionar que, para un tipo de roca difícil, no debemos superar el factor de avance y el factor de carga recomendados: **24.0 kg/ml** (para un frente de **16 m²**, como el nuestro) y **1.5 kg/m³** recomendados como estándar. (11)

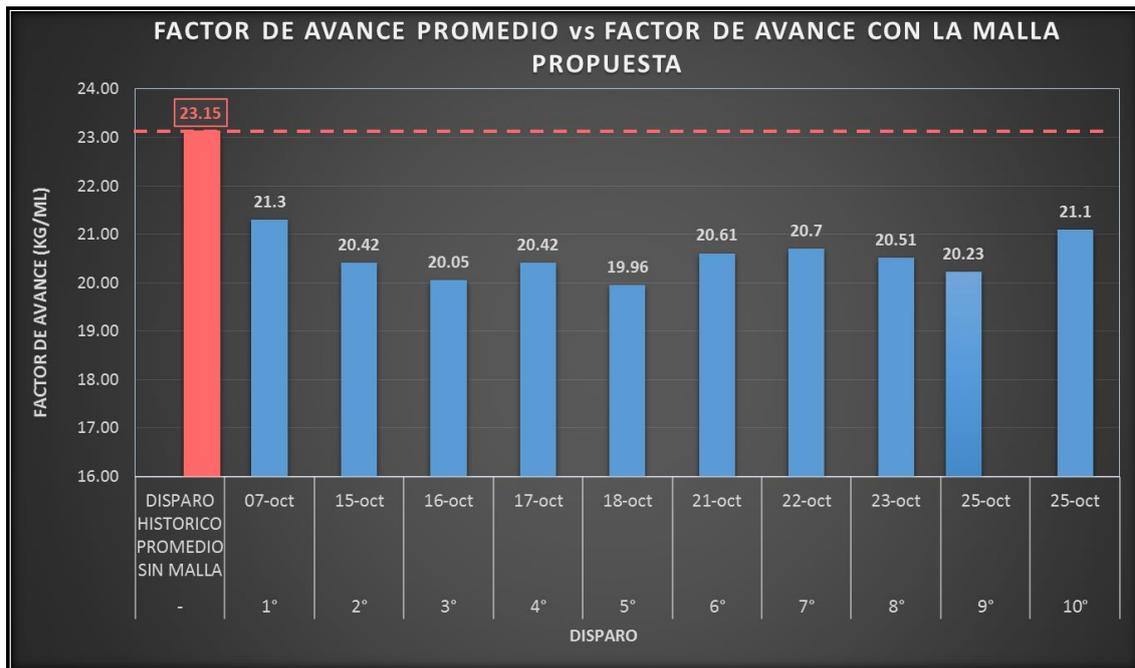
Tabla 14: Factores de voladura de acuerdo al tipo de roca.

Tipo de roca	Factor (kg/m ³)
Muy difíciles	1,5 a 1,8
Difíciles	1,3 a 1,5
Fáciles	1,1 a 1,3
Muy fáciles	1,0 a 1,2

Fuente: EXSA, 2019. Manual práctico de voladura.

Gráfico 1: Factor de avance de los disparos realizados con la malla propuesta.

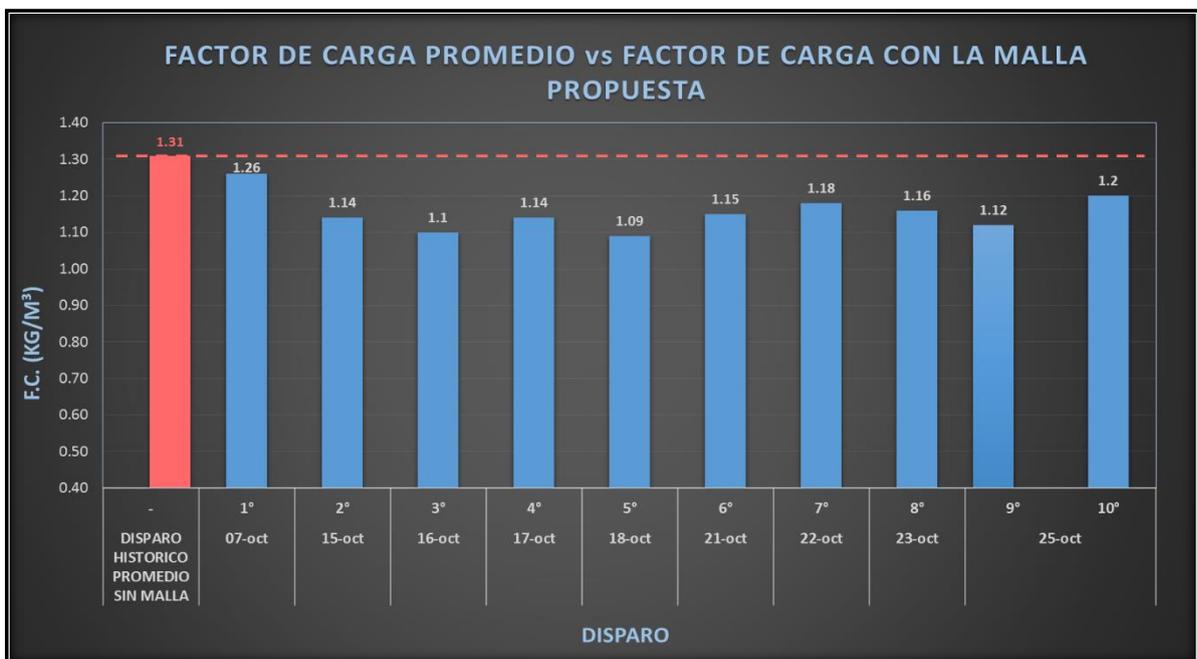
a. Factor de Avance



Fuente: Elaboración propia

b. Factor de Carga

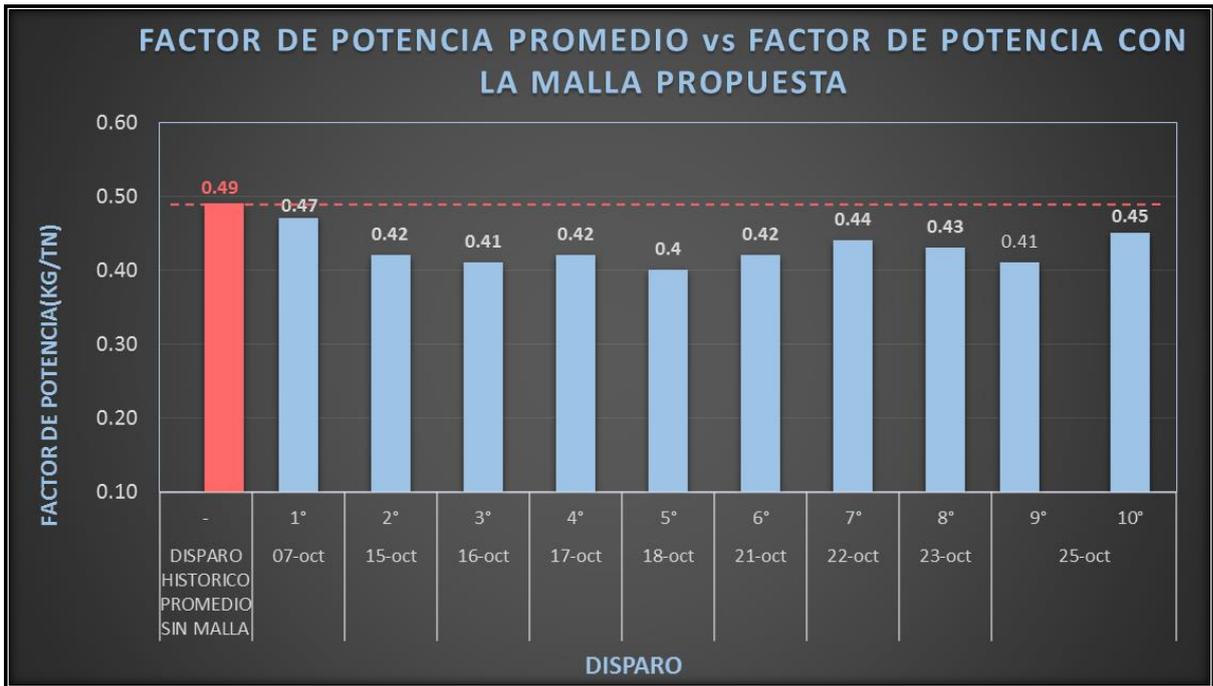
Gráfico 2: Factor de carga de los disparos realizados con la malla propuesta



Fuente: Elaboración propia.

c. Factor de Potencia

Gráfico 3: Factor de potencia de los disparos realizados con la malla propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

d. Eficiencia de Voladura

A continuación, en el siguiente gráfico, se muestra las eficiencias de voladuras obtenidas con la implementación de la nueva malla de perforación y voladura. Como se puede apreciar en el disparo **número 1° y el disparo 10°** se obtuvieron eficiencias del **86% y 87% respectivamente**. Si bien solo hubo dos disparos que estuvieron por debajo del promedio histórico de **eficiencias 88%**, el resultado supone que influyeron factores netamente de ejecución, ya que los demás disparos se mantuvieron por encima del promedio.

Gráfico 4: Eficiencia de los disparos realizados con la malla propuesta.



Fuente: Elaboración propia

4.7.2. TIEMPOS DE PERFORACIÓN

En el siguiente gráfico, se muestra el tiempo de perforación en horas por disparo. Como podemos observar hay una diferencia de **0.28 horas** entre el tiempo promedio de un disparo histórico y los tiempos de los disparos realizados con la nueva malla. Esta diferencia es resultado de que con la nueva malla de perforación se realiza **2 taladros menos** por cada perforista en el frente. Los tiempos registrados de perforación se muestran en el Anexo N° 3.

Gráfico 5: Tiempos de perforación proyectados.

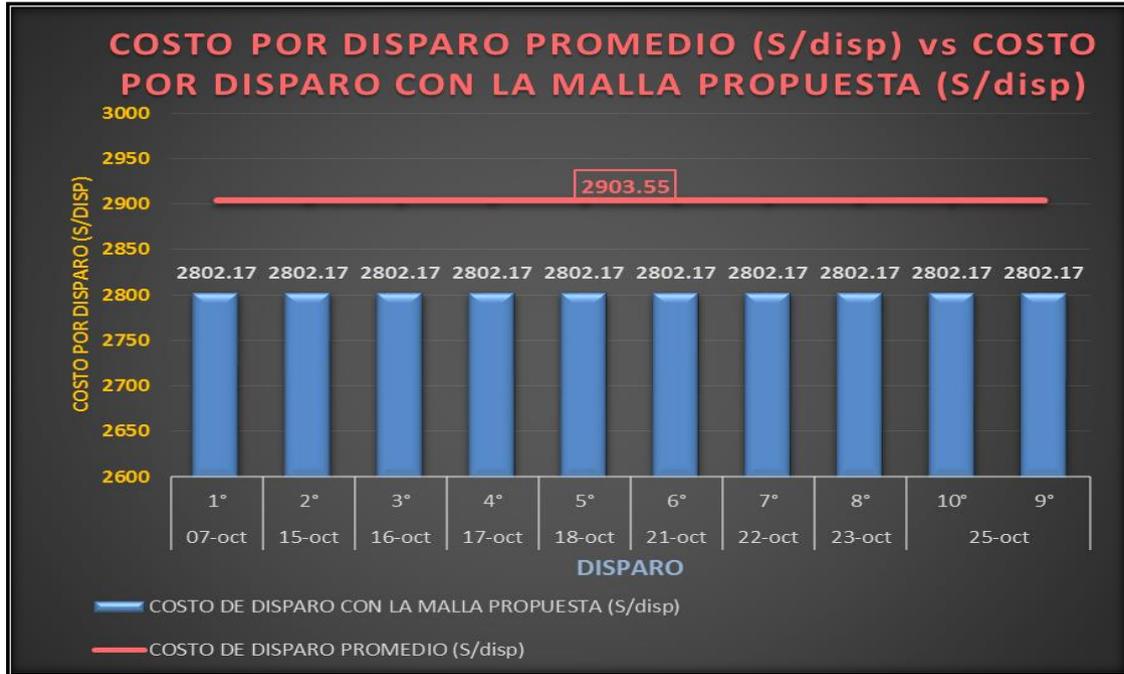


Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. COSTOS OPERACIONALES

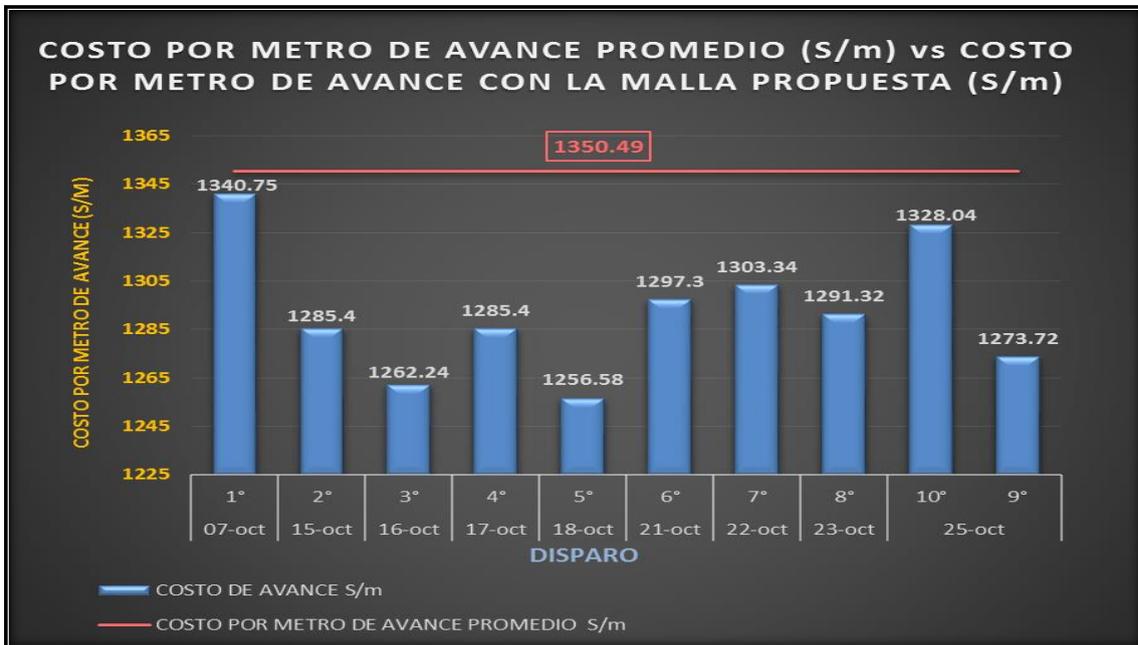
En los siguientes gráficos, se puede observar que el costo de voladura por disparo ha disminuido en **s/. 101.48 soles**; en cuanto a los valores de costo por metro disparado se constata que también ha disminuido en **s/. 59.16** en promedio con los disparos realizados.

Gráfico 6: Costo por disparo con la nueva malla propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: Costo por metro de avance



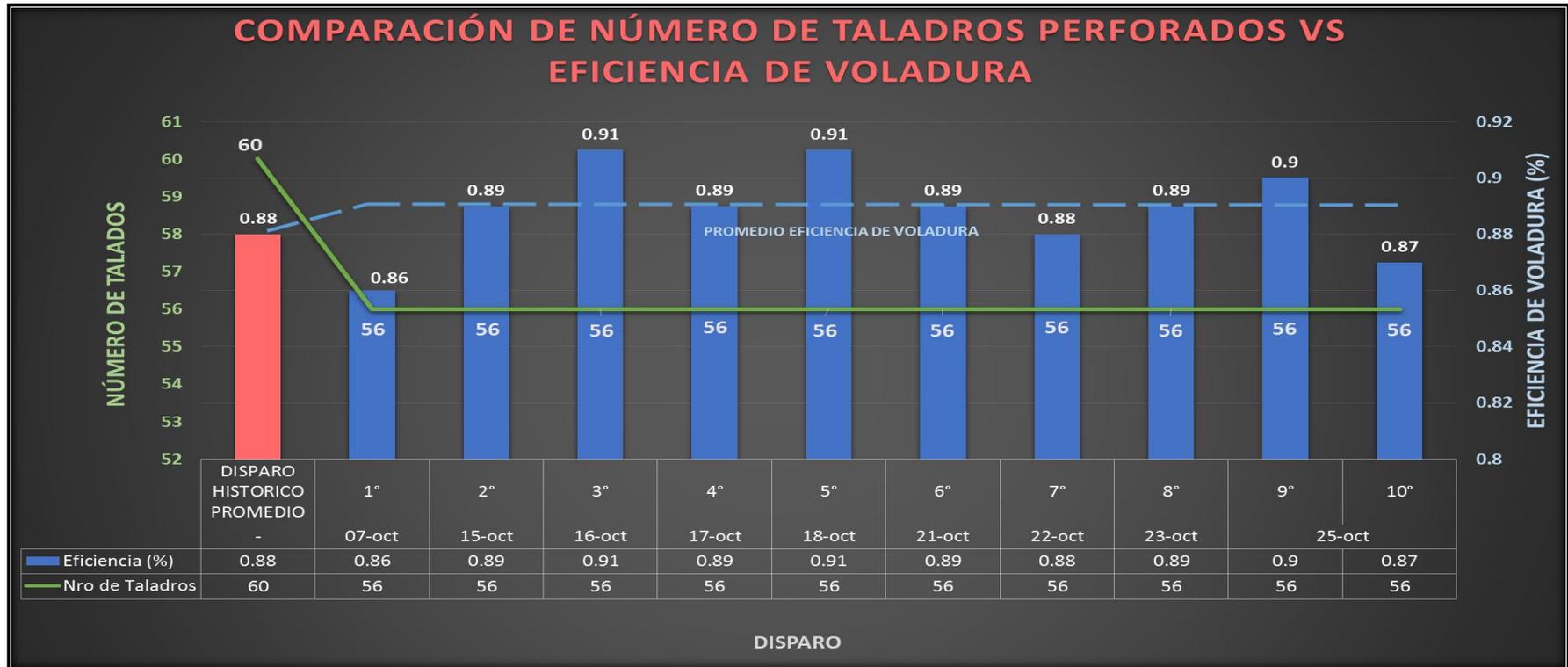
Fuente: Elaboración propia

4.7.4. CUADROS COMPARATIVOS

a. Comparación de Factores Operacionales

Como podemos observar, en los 10 disparos realizados, el número de taladros disminuyó en 4 unidades; asimismo, la eficiencia de voladura es un factor que ha mejorado, aumentando en 1 %. Se puede observar que el primer disparo con la nueva malla presentó la eficiencia más baja lo cual es resultado por factores de mano de obra, ya que este se normaliza en los siguientes disparos.

Gráfico 8: Factor de carga de los disparos realizados con la malla propuesta.

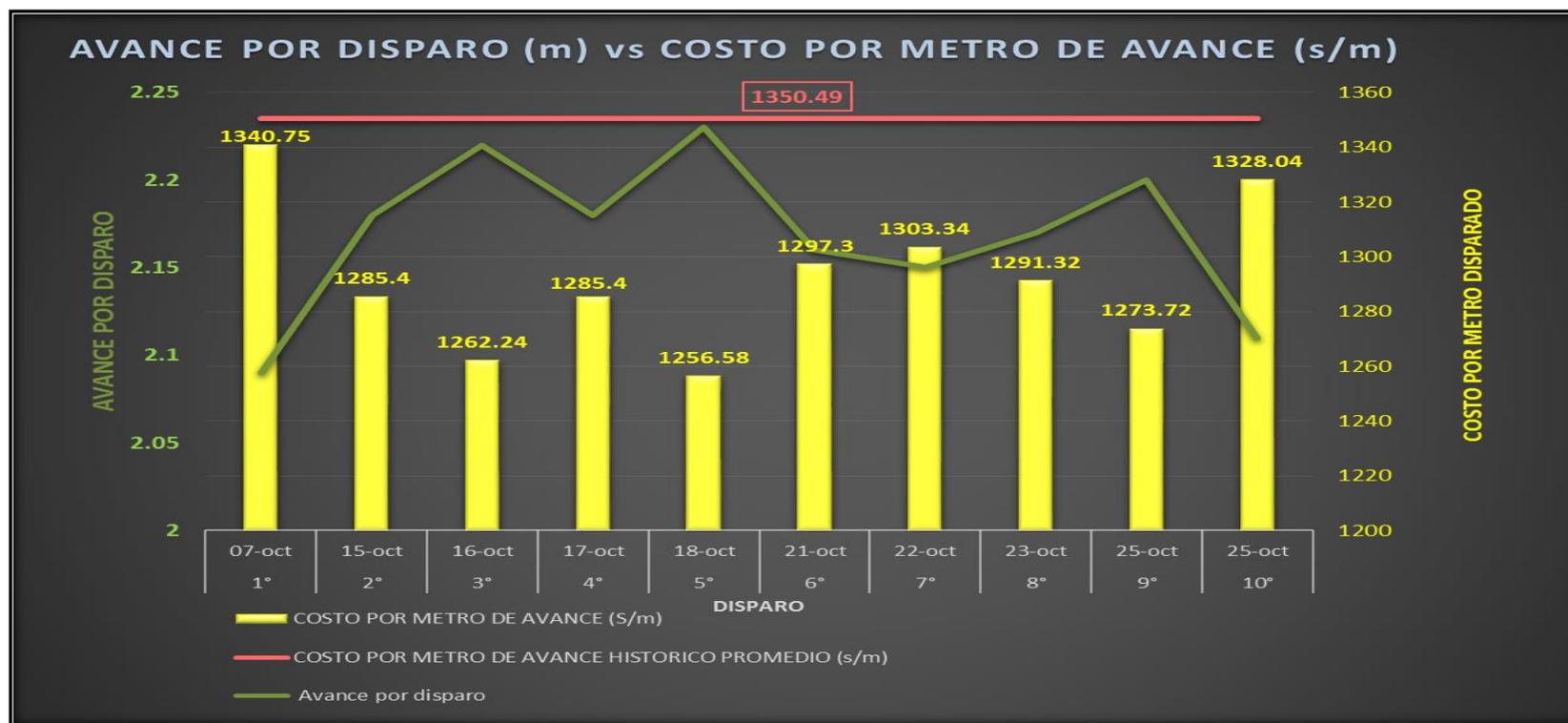


Fuente: Elaboración propia.

b. Comparación de Costos Por Avance

En el siguiente gráfico, se compara los metros avance por disparo y el costo por metro de avance. Podemos observar que el costo por metro disparado no supera al costo promedio histórico. Además, el costo por metro de avance ha disminuido considerablemente y el promedio del costo por metro de avance con el nuevo diseño es de s/. 1292.41 lo que significa que se ahorra s/. 58.08 en cada metro avanzado con la implementación de la nueva malla.

Gráfico 9: Comparación de costos por metro de avance (s/m)



Fuente: Elaboración propia.

4.8. AHORRO Y PROYECCIONES

4.8.1. AHORRO EN ACEROS DE PERFORACIÓN

A continuación, el cuadro muestra el ahorro obtenido y su proyección considerando un 90% de efectividad para este último. Se logró un ahorro proyectado de **s/. 527.44 soles** al mes y un ahorro de **s/. 6,329.23 soles** al año.

Tabla 15: Ahorro y proyección del costo en aceros de perforación

DESCRIPCIÓN	PROM. HISTÓRICO	NUEVA MALLA	AHORRO		
	COSTO Disp. S/	COSTO Disp. S/	S/. Disp	S/. Mes	S/. Año
ACEROS DE PERFORACIÓN				Proyección	Proyección
Barras cónicas de 8 pies	S/. 32.49	S/. 30.33	S/. 2.17	S/. 116.97	S/. 1,403.67
Barras cónicas de 6 pies	S/. 25.55	S/. 23.85	S/. 1.70	S/. 91.99	S/. 1,103.93
Barras cónicas de 4 pies	S/. 38.81	S/. 36.22	S/. 2.59	S/. 139.71	S/. 1,676.53
Brocas de 41 mm	S/. 28.43	S/. 26.54	S/. 1.90	S/. 102.35	S/. 1,228.21
Brocas de 38 mm	S/. 11.30	S/. 10.55	S/. 0.75	S/. 40.70	S/. 488.35
Brocas de 36 mm	S/. 9.92	S/. 9.26	S/. 0.66	S/. 35.71	S/. 428.54
Sub Total Costo Aceros de Perf. / disparo	S/. 146.51	S/. 136.74	S/. 9.77	S/. 527.44	S/. 6,329.23

Fuente: Elaboración propia.

4.8.2. AHORRO EN PERFORACIÓN Y ACCESORIOS

El siguiente cuadro muestra el ahorro obtenido en perforación y accesorios de perforación considerando 90% de efectividad para su proyección. Se obtiene un ahorro proyectado de **S/. 634.87 soles** al mes y **S/. 7,618.41 soles** al año.

Tabla 16: Ahorro y proyección del costo en perforación y accesorios.

DESCRIPCIÓN	PROM. HISTÓRICO	NUEVA MALLA	S/. Disp	AHORRO	
	COSTO Disp. S/	COSTO Disp. S/		S/. Mes	S/. Año
PERFORACIÓN Y ACCESORIOS				Proyección	Proyección
Perforadora Jackleg + Rep	S/. 176.35	S/. 164.60	S/. 11.76	S/. 634.87	S/. 7,618.41
Manguera de 1/2" (por dos equipos)	S/. 3.30	S/. 3.30	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Manguera de 1" (por dos equipos)	S/. 5.72	S/. 5.72	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Aceite torcola 100 (por dos equipos)	S/. 9.35	S/. 9.35	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Sub Total Costo Jackleg y Acc./ disparo	S/. 194.72	S/. 182.97	S/. 11.76	S/. 634.87	S/. 7,618.41

Fuente: Elaboración propia.

4.8.3. AHORRO EN EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA

A continuación, se muestra el ahorro obtenido y su proyección considerando un 90% de efectividad en explosivos y accesorios de voladura. Se obtiene un ahorro proyectado de **S/. 2,922.95 soles** al mes y **S/. 35,075.38soles** al año.

Tabla 17: Ahorro y proyección en explosivos y accesorios de voladura.

DESCRIPCIÓN	PROM. HISTÓRICO	NUEVA MALLA	AHORRO		
	COSTO Disp. S/	COSTO Disp. S/	S/. Disp	S/. Mes	S/. Año
EXPLOSIVOS/ACCESORIOS				Proyección	Proyección
Emulsión E-80 (1X8")	S/. 308.35	S/. 275.28	S/. 33.07	S/. 1,785.60	S/. 21,427.20
Exsaneles	S/. 280.00	S/. 260.00	S/. 20.00	S/. 1,080.00	S/. 12,960.00
Pentacord	S/. 12.98	S/. 11.92	S/. 1.06	S/. 57.35	S/. 688.18
Carmex 7 pies (unidad)	S/. 5.02	S/. 5.02	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Mecha Rápida (mt)	S/. 1.46	S/. 1.46	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Sub Total Costo Expl. Y Acc. / disparo	S/. 607.81	S/. 553.68	S/. 54.13	S/. 2,922.95	S/. 35,075.38

Fuente: Elaboración propia.

4.8.4. AHORRO Y PROYECCIÓN TOTAL.

A continuación, se muestra la tabla resumen del ahorro total por disparo. El cual se proyecta considerando una efectividad de 90% por mes. De esta manera, se observa que con la implementación de la malla de perforación obtenemos un ahorro de **s/. 101.4** soles por disparo. En cuanto a las proyecciones espera un ahorro de **s/. 3,194.82 soles al mes** y un ahorro total de **s/. 38,337.86** soles al año.

Tabla 18: Ahorro y proyecciones totales por disparo.

DESCRIPCIÓN	PROM. HISTÓRICO	NUEVA MALLA	AHORRO		
	COSTO Disp. S/	COSTO Disp. S/	S/. Disp	S/. Mes	S/. Año
AHORRO TOTAL EN VOLADURA				Proyección	Proyección
SUB TOTAL COSTO DIRECTO	S/. 2,166.83	S/. 2,091.18	S/. 75.65	S/. 4,085.25	S/. 49,023.01
IMPREVISTOS (%10.00)	S/. 216.68	S/. 209.12	S/. 7.57	S/. 408.53	S/. 4,902.30
UTILIDAD (%10.00%)	S/. 238.35	S/. 230.03	S/. 8.32	S/. 449.38	S/. 5,392.53
GASTOS GENERALES (%13.00)	S/. 281.69	S/. 271.85	S/. 9.83	S/. 531.08	S/. 6,372.99
COSTO TOTAL / DISPARO	S/. 2,903.55	S/. 2,802.17	S/. 101.4	S/. 5,474.24	S/. 65,690.83
COSTO S/ml	S/. 1,350.49	S/. 1,291.32	S/. 59.16	S/. 3,194.82	S/. 38,337.86

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Con la implementación de la malla de perforación como estándar, se logró disminuir **4 taladros** del promedio histórico ejecutado normalmente. Esta disminución es la causa principal de la optimización en gastos de perforación, voladura, y tiempos de ejecución.
2. El promedio de eficiencias de voladura en los disparos realizados fue de **89%**, lo cual mejora en **1%** del promedio **88%** con el que se estaba trabajando antes de la implementación de la malla de perforación y voladura.
3. Con la implementación de la malla de perforación, se logró optimizar los factores operativos en perforación y voladura. El factor de avance disminuyó de 23.15 kg/ml a **20,53 kg/ml**, el factor de carga disminuyó de 1.31 kg/m³ a **1.15 kg/m³** y, por último, el factor de potencia disminuyó de 0.49 kg/tn a **0.43 kg/tn**.
4. La implementación de la nueva malla de perforación reduce el tiempo de perforación de un frente de 4.29 hr/frente a **4.01 hr/frente** con respecto al tiempo promedio estándar con el que se venía trabajando.
5. En cuanto al costo total en voladura, se logró optimizar el costo de disparo de s/. 2,903.55 soles a s/. **2,802.17 soles** lo cual representa un ahorro de s/. **101.4 soles** y se proyecta un ahorro de s/. **38,337.86 soles** al año.
6. Finalmente, se puede concluir que de acuerdo a la evaluación geomecánica del macizo rocoso, el **RMR obtenido es 73.5** en promedio, lo cual significa que es roca dura de **tipo II**. Esta información es vital para el diseño y aplicación de modelos matemáticos ya que nos permite controlar la operación del proyecto de forma segura y eficiente.

RECOMENDACIONES

1. La supervisión en la ejecución de avance en la Rampa 440 (-) es fundamental, ya que solo así se garantiza que se siga obteniendo los resultados presentados en esta tesis.
2. Con el fin de obtener datos actualizados del macizo rocoso y garantizar un buen resultado en el avance, se recomienda realizar mapeos geomecánicos de forma permanente, ya que, si el tipo de roca cambiara el diseño necesitará las correcciones pertinentes para su ejecución.
3. Se recomienda mantener la simetría, paralelismo, y el colocado de tacos para asegurar que el disparo mantenga o mejore la eficiencia obtenida en el presente trabajo de investigación.
4. Se recomienda capacitar constantemente al personal para garantizar la seguridad y eficiencia en la ejecución del avance.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ZÚÑIGA TORRES, Pablo Dimas. Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de compañía minera Cerro Negro. Universidad de Chile. Santiago de Chile, 2015. Tesis.
2. PINO CHILI, Rony Ronald. Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la Minera Aurífera Cuatro De Enero S.A. – Arequipa. Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano Puno. Puno, 2019. Tesis.
3. CHIPANA TITO, Rudy Milton. Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería progreso de la contrata minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A. Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, 2015. Tesis.
4. BARRIGA REYNOSO, Augusto Hernan. Diseño e implementación de malla de perforación para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la Cia. Minera Castrovirreyna. Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, 2015. Tesis.
5. BARZOLA CERAS, Fredy. Optimización de los estándares de perforación y voladura en la reducción de costos operativos en el cruce xc 10654-NW (Gal 10602-N), empresa especializada Mincotral S.R.L. - Minera Aurífera Retamas S.A. – 2018. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Continental. Huancayo : Facultad de Ingeniería, 2019. Tesis.
6. LUCIANO LAZARO, Cristian Antonio. Diseño de la malla de perforación y voladura, aplicando el método Holmberg para optimizar costos en la construcción de la Rampa (+) 995 de la Cia. Ac. Agregados S.A.C. – 2018. Facultad de Ingeniería, Geología y Metalurgia, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, 2019. Tesis.
7. Minera Aurífera Cuatro De Enero SA. Informe geológico veta Nancy. Departamento de Geología, MACDESA. Chaparra, 2019.
8. Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Chaparra. OLCHAUSKI LOMPARTE, Enrique; INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO. 34, Lima : INGEMMET, 1980, Serie A. Carta Geológica Nacional, Vol. 1.
9. COILA TICONA, Jovino Elliott. Evaluación económica y financiera para determinar la rentabilidad de la explotación aurífera de la minera Cuatro De Enero S.A. - Arequipa. Facultad de Ingeniería de Minas , Universidad Nacional del Altiplano. Puno, 2016. Tesis.
10. LOPEZ JIMENO, Carlos, y otros. Manual de perforación y voladuras de rocas. Madrid : Instituto Geológico y Minero de España, 1975. 8450570077.
11. EXSA. Manual práctico de voladura. 5ta Edición. Lima, 2019.

12. PERSSON, Per-Anders, LEE, Jaimin y HOLMBERG, Roger. Rock blasting and explosives engineering. 1st Edition. New Mexico, 1993.
13. BERNAOLA ALONSO, José, CASTILLA GÓMEZ, Jorge y HERRERA HERBERT, Juan. Perforación y voladura de rocas en minería. [ed.] Juan HERRERA HERBERT y Jorge CASTILLA GÓMEZ. Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía Universidad Politécnica de Madrid, 2013. 21848.
14. OSINERGMIN. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Lima : Organismo Supervisor De La Inversión En Energía Y Minería - OSINERGMIN, 2017. 201705838.
15. ESTUDIOS MINEROS DEL PERU S.A.C. Manual de minería. Lima.
16. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Metodología de la investigación. sexta. España : MCGRAW-HILL, 2014. 9781456223960.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA.			
PROBLEMA DE INVESTIGACION.	OBJETIVOS.	HIPÓTESIS GENERAL.	VARIABLES.
<ul style="list-style-type: none"> ¿Se podrá optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación y voladura para la construcción de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA? 	<ul style="list-style-type: none"> Optimizar la cantidad de taladros mediante la implementación de una malla de perforación para la construcción de la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA. 	<ul style="list-style-type: none"> Con la implementación de una malla de perforación y voladura, se logrará disminuir la cantidad de taladros en La Rampa 440 (-) Mina MACDESA. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> X1: Malla de Perforación y Voladura.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Realizando una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA ayudará en la optimización de la cantidad de taladros? 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar una caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa 440 - en la mina MACDESA para el diseño de la malla de perforación y voladura. 	<ul style="list-style-type: none"> La caracterización geomecánica de Bieniawski del macizo rocoso de la Rampa (-) 440 - mina MACDESA brindará información importante para el diseño de la malla. 	<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Y1: Costos de Perforación y Voladura. Y2: Eficiencia de Voladura
<ul style="list-style-type: none"> ¿Se podrá aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura? 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - en la mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura. 	<ul style="list-style-type: none"> Con la implementación de la malla de perforación, aumentará la eficiencia de voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA. 	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Se podrá disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura? 	<ul style="list-style-type: none"> Disminuir costos en voladura en la Rampa (-) 440 - mina MACDESA con la implementación de la malla de perforación y voladura. 	<ul style="list-style-type: none"> Con la implementación de la malla de perforación, se optimizará costos en voladura en la Rampa (-) 440- mina MACDESA. 	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

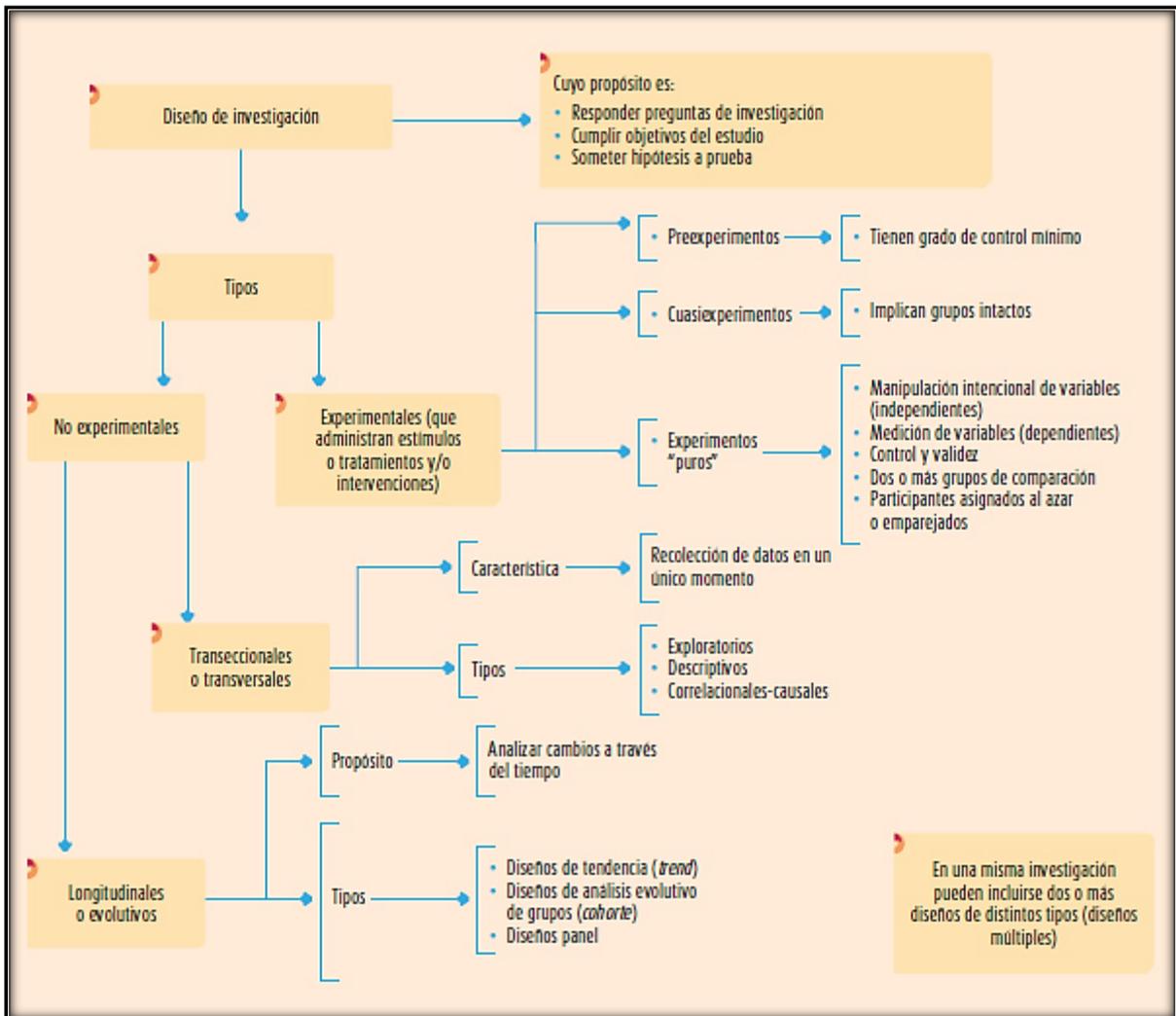
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
VI: Malla de Perforación y Voladura.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación Geomecánica del macizo rocoso. 	<ul style="list-style-type: none"> RMR RQD 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo del macizo rocoso (I, II, III, IV, V) Porcentaje
	<ul style="list-style-type: none"> Malla de Perforación 	<ul style="list-style-type: none"> Burden y espaciamiento Número de taladros Eficiencia de perforación 	<ul style="list-style-type: none"> mm (milímetros) Valor numérico (%) Porcentaje
	<ul style="list-style-type: none"> Carga de explosivos 	<ul style="list-style-type: none"> Factor de carga 	<ul style="list-style-type: none"> Kg/m³ (kg de explosivo por metro cubico)
VD1: Costos de Perforación y Voladura.	<ul style="list-style-type: none"> Costo por disparo. 	<ul style="list-style-type: none"> Avance 	<ul style="list-style-type: none"> S/m (soles por metro de avance)
VD2: Eficiencia de Voladura.	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de voladura 	<ul style="list-style-type: none"> Avance, volumen roto. 	<ul style="list-style-type: none"> (%) Porcentaje

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: CONCEPCIÓN O ELECCIÓN DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se muestra el **esquema** base para elegir el diseño y tipo de investigación. De acuerdo al organizador, se puede observar que el tipo y diseño fue Experimental y Cuasi experimental.

Figura 11: Esquema de diseño de investigación.



Fuente: HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. y FERNANDEZ COLLADO, CARLOS. BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2014. *Metodología de la investigación*. Sexta edic. España. ISBN 9781456223960.

ANEXO 4: REGISTRO DE DATOS DE LOS DISPAROS

El siguiente cuadro muestra los registros de perforación y voladura desde el primer disparo hasta el décimo disparo. Las filas sombreadas de celeste representan los disparos realizados con la nueva malla de perforación.

Tabla 19: Registro de datos de los disparos realizados en el inicio de las pruebas.

DIA	TURNO	Nro taladros	Long barreno	Ancho (m)	Altura (m)	Avance (m)	N° Tal. Cargados	Carmex (7 PIES)	EXANEL °1	EXANEL °2	EXANEL °3	EXANEL °4	EXANEL °5	EXANEL °6	EXANEL °7	EXANEL °8	EXANEL °9	EXANEL °10	EXANEL °11	EXANEL °12	EXANEL °13	EXANEL °14	EXANEL °15	EXANEL °16	Pentacor	Emulex 80	Eficiencia perf (%)	Rotura (m³)	TM	Eficiencia vol (%)	Kg expl / disp	F.P. (Kg / m)	F. C. (kg / m³)	F. A. (Kg / ml)	Kg expl / tal
07-oct	Noche	56	8	4.08	4.13	2.09	52	2	1	2	2	2	2	2	4	4	7	8	5	8	7			22	397	86%	35.22	95.09	86%	43.51	0.46	1.24	20.82	0.84	
08-oct	Día	62	8	4.14	4.19	2.12	56	2	3	4	4			5	5	4	5	5	5	8			22	448	87%	36.77	99.29	87%	49.10	0.49	1.34	23.17	0.88		
08-oct	Noche	64	8	4.28	4.3	2.20	58	2	3	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	5	6	23	464	90%	40.49	109.32	90%	50.85	0.47	1.26	23.12	0.88	
09-oct	Día	60	8	4.08	4.22	2.10	57	2				4	4	4	4		7	5	5	8			22	456	86%	36.16	97.62	86%	49.98	0.51	1.38	23.8	0.88		
09-oct	Noche	57	8	4.21	4.17	2.00	56	2		4	4	4	4	4	4	4	4	4		4	4	6	6	20	448	82%	35.11	94.80	82%	49.10	0.52	1.4	24.55	0.88	
14-oct	Día	57	8	4.22	4.16	2.09	54	2			4	4	4	4	5	5	8	8				8	8	20	432	86%	36.69	99.06	86%	47.35	0.48	1.29	22.66	0.88	
15-oct	Día	57	8	4.23	4.26	2.10	57	2			4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	23	456	86%	37.84	102.17	86%	49.98	0.49	1.32	23.8	0.88	
15-oct	Noche	56	8	4.24	4.22	2.18	52	2	1	2	2	2	2	2	4	4	7	8	5	8			7	20	406	89%	39.01	105.32	89%	44.50	0.42	1.14	20.42	0.86	
16-oct	Día	58	8	4.23	4.25	2.09	56	2			4	4	4	4	2	4	4	5	5	5	5	7	7	21	448	86%	37.57	101.45	86%	49.10	0.48	1.31	23.5	0.88	
16-oct	Noche	56	8	4.26	4.27	2.22	52	2		1		2	2	2	2	4	4	7	8	5	8			20	406	91%	40.38	109.03	91%	44.50	0.41	1.1	20.05	0.86	
17-oct	Día	57	8	4.17	4.28	2.09	60	2			4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	23	480	86%	37.30	100.71	86%	52.61	0.52	1.41	25.18	0.88	
17-oct	Noche	56	8	4.25	4.2	2.18	52	2	1	2	2	2	2		4	4	7	8	5	8			7	20	406	89%	38.91	105.07	89%	44.50	0.42	1.14	20.42	0.86	
18-oct	Día	57	8	4.21	4.17	2.00	58	2			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7	7	22	464	82%	35.11	94.80	82%	50.85	0.54	1.45	25.43	0.88
18-oct	Noche	56	8	4.27	4.3	2.23	52	2	1	2	2	2	2		4	4	7	8	5	8			7	20	406	91%	40.95	110.55	91%	44.50	0.4	1.09	19.96	0.86	
19-oct	Día	62	8	4.12	4.2	2.09	56	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	8		21	448	86%	36.17	97.65	86%	49.10	0.5	1.36	23.5	0.88	
19-oct	Noche	57	8	4.23	4.18	2.00	55	2		2	2			4	4	4	4	4	4	6	8	8		21	440	82%	35.36	95.48	82%	48.22	0.51	1.36	24.11	0.88	
20-oct	Día	64	8	4.15	4.26	2.10	58	2	3		4	4	4	4	4	4	5	5	5	6		4	6	22	464	86%	37.13	100.24	86%	50.85	0.51	1.37	24.22	0.88	
20-oct	Noche	57	8	4.22	4.21	2.00	55	2		2		2	4	4	4	4	4	4	4	6	7	10		22	440	82%	35.53	95.94	82%	48.22	0.5	1.36	24.11	0.88	
21-oct	Día	57	8	4.31	4.22	2.00	56	2		3		3	4	4	4	4	4	4	4	4	9	9		23	448	82%	36.38	98.22	82%	49.10	0.5	1.35	24.55	0.88	
21-oct	Noche	56	8	4.22	4.26	2.16	52	2	1	2	2	2	2		4	4	7	8	5	8			7	20	406	89%	38.83	104.84	89%	44.50	0.42	1.15	20.61	0.86	
22-oct	Día	62	8	4.21	4.12	2.03	56	2			4	4	4	4	4	5	5	5	5	7		3	2	23	448	83%	35.21	95.07	83%	49.10	0.52	1.39	24.19	0.88	
22-oct	Noche	56	8	4.2	4.18	2.15	52	2	1	2	2	2	2		4	4	7	8	5	8			7	20	406	88%	37.75	101.91	88%	44.50	0.44	1.18	20.7	0.86	
23-oct	Día	66	8	4.23	4.33	2.15	60	2			2	2	5	5	5	5	5	5	8	#	8			23	480	88%	39.38	106.32	88%	52.61	0.49	1.34	24.47	0.88	
23-oct	Noche	56	8	4.15	4.25	2.17	52	2		1		2	2	2	2	4	4	7	8	5	8			20	406	89%	38.27	103.34	89%	44.50	0.43	1.16	20.51	0.86	
24-oct	Noche	63	8	4.25	4.21	2.04	57	2			2	2	4	4	4	4	3	6	6	9	9	4		22	456	84%	36.50	98.55	84%	49.98	0.51	1.37	24.5	0.88	
24-oct	Día	61	8	4.13	4.19	2.00	56	2			4	4	4	5	5	4	5	5					10	22	448	82%	34.61	93.45	82%	49.10	0.53	1.42	24.55	0.88	
25-oct	Día	56	8	4.27	4.23	2.20	52	2	1	2	2	2	2		4	4	7	8	5	8			7	20	406	90%	39.74	107.29	90%	44.50	0.41	1.12	20.23	0.86	
25-oct	Noche	56	8	4.22	4.15	2.11	52	2	1		2	2	2	2	2	4	4	7	8	5	8			20	406	87%	36.95	99.77	87%	44.50	0.45	1.2	21.1	0.86	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5: ANÁLISIS DETALLADO DE COSTOS UNITARIOS DEL PROMEDIO HISTÓRICO

Tabla 20: Análisis detallado de costos unitarios del promedio histórico

ANÁLISIS COSTO UNITARIO RAMPA 4X4 (SIN LA NUEVA MALLA)

MINA : MACDESA	AVANCE / DISPARO	2.15 metros
PARTIDA : RAMPA 4 X4	SECCIÓN	4x 4
UNIDAD : Cuatro horas	DENSIDAD	2.7
UBICACIÓN : 04 horas - Caraveli - Arequipa	N° DE TAL PERFORADOS	60 Tal
FECHA : OCTUBRE 2019	N° DE TAL CARGADOS	56 Tal
LIMPIEZA : SCOOPTRAM 4 Yd3	LONGITUD TALADRO	8 Pies
FACTOR DE SOBREROTURA		35 %

DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA	Und.	Cant.	P. U. Trabajador	COSTO TOTAL S/	COSTO / mp S/	Sub Total	COSTO /m
1.- MANO DE OBRA:								219.53
AYUDANTE PERFORISTA	2.00	hr -hr	10.50	7.62	160.00	148.84		
SCOOPERO	1.00	hr -hr	10.50	11.43	120.00	55.81		
PERFORISTA	2.00	hr -hr	10.50	9.14	192.00	178.60		
							472.00	
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	Vida útil pies	P. U. MATERIAL	COSTO S/. / PP	COSTO Disp. S/	SUB TOTAL	COSTO /m
2.- ACEROS DE PERFORACIÓN								68.14
Barras cónicas de 8 pies	pp	2.00	1300.00	352.00	0.27	32.49		
Barras cónicas de 6 pies	pp	2.00	1390.00	296.00	0.21	25.55		
Barras cónicas de 4 pies	pp	4.00	1410.00	228.00	0.16	38.81		
Brocas de 41 mm	pp	4.00	650.00	77.00	0.12	28.43		
Brocas de 38 mm	pp	2.00	690.00	65.00	0.09	11.30		
Brocas de 36 mm	pp	2.00	750.00	62.00	0.08	9.92	146.51	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	Vida Útil	S/PP	S/Disp	SUB TOTAL	COSTO /m
3.- PERFORACIÓN Y ACCESORIOS								90.57
Perforadora Neumatica Jackle + Repuestos	PP	480.00	22044	120000.00	0.37	176.35		
Manguera de 1/2" (por dos equipos)	m	60.00	8.25	150.00	0.06	3.30		
Manguera de 1" (por dos equipos)	m	60.00	14.30	150.00	0.10	5.72		
Aceite torcola 100 (por dos equipos)	gln	0.50	37.40	1.00	18.70	9.35	194.72	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO EPP / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
4.- EPP								14.42
Casco tipo sombrero incluido porta lámpara	Unid	5.00	40.085	540.00	0.37	2.15		
Respirador	Pza	5.00	69.700	180.00	1.94	2.15		
Lentes de Seguridad	Pza	5.00	9.322	90.00	0.52	2.15		
Barbiquejo	Pza	5.00	1.305	40.00	0.16	2.15		
Guantes de cuero	Par	5.00	12.585	15.00	4.19	2.15		
Guantes de neoprene / hycron	Par	4.00	22.385	18.00	4.97	2.15		
Mamelucos con Cinta Reflectiva	Pza	4.00	51.271	180.00	1.14	2.15		
Cartuchos 3M - polvo	Pza	5.00	20.508	15.00	6.84	2.15		
Cartuchos 3M 6003 - antigas	Par	5.00	29.831	60.00	2.49	2.15		
Botas de jebe	Par	5.00	68.983	180.00	1.92	2.15		
Tapón de oídos	Pza	5.00	1.397	20.00	0.35	2.15		
Pantalón de jebe	Pza	4.00	55.930	120.00	1.86	2.15		
Saco de jebe	Pza	4.00	55.930	120.00	1.86	2.15		
Correa portalámparas	Pza	5.00	24.620	360.00	0.34	2.15		
Lámpara de batería	Unid	5.00	195.800	540.00	1.81	2.15		
Tafílete	Pza	5.00	16.775	360.00	0.23	2.15	31.00	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO MAT. / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
5.- Materiales								5.68
Combo de 12 libras	Unid.	1	87.6	175	0.50	2.15		
Combo de 8 libras	Unid.	1	84.8	175	0.48	2.15		
Barretilla de 4' y/o 6'	Unid.	2	66	75	1.76	2.15		
Cucharilla de 6'	Unid.	0	12.75	75	0.00	2.15		
Llave Stilson de "14"	Pza	1	187	175	1.07	2.15		
Llave Stilson de "18"	Pza	1	231	175	1.32	2.15		
Punzón para Cebo	Unid.	1	16.87	120	0.14	2.15		
Atacadores 7/8" x 6'	Unid.	3	13.2	10	3.96	2.15		
Alambre Nro 16	Kg.	1	4.19	4	1.05	2.15		
SPRAY	Gal.	0	8	10	0.00	2.15		
PICO	Unid.	1	38.7	90	0.43	2.15		
PALA MINERA	Unid.	2	23.3	60	0.39	2.15		
Carretilla minera	Unid.	0	0	180	0.00	2.15		
Llanta para Carretilla	Unid.	0	0.00	90	0.00	2.15		
Saca barrenos	Unid.	1	42	180	0.23	2.15		
Plataforma de Perforación	Unid.	1	0	120	0.00	2.15		

Gas	Bal	0	0	30	0.00	2.15	
Soplete	Pza	0	0	500	0.00	2.15	
Barretilla de Aluminio de 3.0m	Unid.	2	66	75	0.88	2.15	12.21

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	Costo./ Hora	Costo Equipo + 60% Repuesto	vida útil	COSTO Disp/ Guardia	SUB TOTAL	COSTO /m
6.- MAQUINARIA								319.40
Scooptram 4 yd3	hora	3	228.9				686.70	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.		COSTO / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
7.- EXPLOSIVOS/ACCESORIOS								282.70
Emulsión E-80 (1X8")	kg	49.73	6.20		308.35	2.15		
Exsaneles	Und	56.00	5.00		280.00	2.15		
Pentacord	mts	22.00	0.59		12.98	2.15		
Carmex 7 pies (unidad)	Und	2.00	2.51		5.02	2.15		
Mecha Rápida (mt)	m	1.00	1.46		1.46	2.15	607.81	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
7.- VENTILACIÓN								7.38
Manga de Ventilación 24"	m	1.55	9.31	1	14.43	2.15		
Accesorio Manga Ventilación 24"	%	1.55	10%	0.931	1.44305	2.15	15.87	

SUB TOTAL COSTO DIRECTO								2166.83
IMPREVISTOS						%	10.00	216.68
UTILIDAD						%	10.00	238.35
GASTOS GENERALES						%	13.00	281.69
COSTO TOTAL							S/	2903.55
COSTO S/ml							S/./ml	1350.49

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6: ANÁLISIS DETALLADO DE COSTOS UNITARIOS CON LA MALLA PROPUESTA.

Tabla 21: Análisis detallado de costos unitarios con la malla propuesta.

ANÁLISIS COSTO UNITARIO RAMPA 4X4 (CON LA NUEVA MALLA)

MINA : MACDESA	AVANCE / DISPARO	2.17 metros
PARTIDA : RAMPA 4 X4	SECCION	4x 4
UNIDAD : Cuatro horas	DENSIDAD	2.7
UBICACIÓN : 04 horas - Caraveli - Arequipa	N° DE TAL PERFORADOS	56 Tal
FECHA : OCTUBRE 2019	N° DE TAL CARGADOS	52 Tal
LIMPIEZA : SCOOPTRAM 4 Yd3	LONGITUD	
	TALADRO	8 Pies
FACTOR DE SOBREROTURA		35 %

DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA	Und.	Cant.	P. U. Trabajador	COSTO TOTAL S/	COSTO / mp S/	Sub Total	COSTO /m
1. MANO DE OBRA:								217.51
AYUDANTE PERFORISTA	2.00	hr -hr	10.50	7.62	160.00	147.47		
SCOOPERO	1.00	hr -hr	10.50	11.43	120.00	55.30		
PERFORISTA	2.00	hr -hr	10.50	9.14	192.00	176.96		
							472.00	
DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	Vida útil pies	P. U. MATERIAL	COSTO S./ PP	COSTO Disp. S/	SUB TOTAL	COSTO /m
2. ACEROS DE PERFORACIÓN								63.02
Barras cónicas de 8 pies	pp	2.00	1300.00	352.00	0.27	30.33		
Barras cónicas de 6 pies	pp	2.00	1390.00	296.00	0.21	23.85		
Barras cónicas de 4 pies	pp	4.00	1410.00	228.00	0.16	36.22		
Brocas de 41 mm	pp	4.00	650.00	77.00	0.12	26.54		
Brocas de 38 mm	pp	2.00	690.00	65.00	0.09	10.55		
Brocas de 36 mm	pp	2.00	750.00	62.00	0.08	9.26	136.74	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	Vida Útil	S/PP	S/Disp	SUB TOTAL	COSTO /m
3. PERFORACIÓN Y ACCESORIOS								84.32
Perforadora Neumática Jackle + Repuestos	PP	448.00	22044	120000.00	0.37	164.60		
Manguera de 1/2" (por dos equipos)	m	60.00	8.25	150.00	0.06	3.30		
Manguera de 1" (por dos equipos)	m	60.00	14.30	150.00	0.10	5.72		
Aceite torcola 100 (por dos equipos)	gln	0.50	37.40	1.00	18.70	9.35	182.97	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO EPP / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
4.- EPP								14.29
Casco tipo sombrero incluido porta lámpara	Unid	5.00	40.085	540.00	0.37	2.17		
Respirador	Pza	5.00	69.700	180.00	1.94	2.17		
Lentes de Seguridad	Pza	5.00	9.322	90.00	0.52	2.17		
Barbiquejo	Pza	5.00	1.305	40.00	0.16	2.17		
Guantes de cuero	Par	5.00	12.585	15.00	4.19	2.17		
Guantes de neoprene / hycron	Par	4.00	22.385	18.00	4.97	2.17		
Mamelucos con Cinta Reflectiva	Pza	4.00	51.271	180.00	1.14	2.17		
Cartuchos 3M - polvo	Pza	5.00	20.508	15.00	6.84	2.17		
Cartuchos 3M 6003 - antigas	Par	5.00	29.831	60.00	2.49	2.17		
Botas de jebe	Par	5.00	68.983	180.00	1.92	2.17		
Tapón de oídos	Pza	5.00	1.397	20.00	0.35	2.17		
Pantalón de jebe	Pza	4.00	55.930	120.00	1.86	2.17		
Saco de jebe	Pza	4.00	55.930	120.00	1.86	2.17		
Correa portalámparas	Pza	5.00	24.620	360.00	0.34	2.17		
Lampara de batería	Unid	5.00	195.800	540.00	1.81	2.17		
Tafilete	Pza	5.00	16.775	360.00	0.23	2.17	31.00	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO MAT. / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
5.- Materiales								5.63
Combo de 12 libras	Unid.	1	87.6	175	0.50	2.17		
Combo de 8 libras	Unid.	1	84.8	175	0.48	2.17		
Barretilla de 4' y/o 6'	Unid.	2	66	75	1.76	2.17		
Cucharilla de 6'	Unid.	0	12.75	75	0.00	2.17		
Llave Stilson de "14"	Pza	1	187	175	1.07	2.17		
Llave Stilson de "18"	Pza	1	231	175	1.32	2.17		
Punzón para Cebo	Unid.	1	16.87	120	0.14	2.17		
Atacadores 7/8" x 6'	Unid.	3	13.2	10	3.96	2.17		
Alambre Nro 16	Kg.	1	4.19	4	1.05	2.17		
SPRAY	Gal.	0	8	10	0.00	2.17		
PICO	Unid.	1	38.7	90	0.43	2.17		
PALA MINERA	Unid.	2	23.3	60	0.39	2.17		
Carretilla minera	Unid.	0	0	180	0.00	2.17		
Llanta para Carretilla	Unid.	0	0.00	90	0.00	2.17		
Saca barrenos	Unid.	1	42	180	0.23	2.17		
Plataforma de Perforación	Unid.	1	0	120	0.00	2.17		
Gas	Bal	0	0	30	0.00	2.17		

Soplete	Pza	0	0	500	0.00	2.17	
Barretilla de Aluminio de 3.0m	Unid.	2	66	75	0.88	2.17	12.21

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	Costo./ Hora	Costo Equipo + 60% Repuesto	vida útil	COSTO Disp/ Guardia	SUB TOTAL	COSTO /m
6.- MAQUINARIA								316.45
Scooptram 4 yd3	hora	3	228.9				686.70	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.		COSTO / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
7.- EXPLOSIVOS/ACCESORIOS								255.15
Emulsión E-80 (1X8")	kg	44.40	6.20		275.28	2.17		
Exsaneles	Und	52.00	5.00		260.00	2.17		
Pentacord	mts	20.20	0.59		11.92	2.17		
Carmex 7 pies (unidad)	Und	2.00	2.51		5.02	2.17		
Mecha Rápida (mt)	m	1.00	1.46		1.46	2.17	553.68	

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT.	VIDA ÚTIL (Disp.)	COSTO / Disp.	REND.	SUB TOTAL	COSTO /m
7.- VENTILACIÓN								7.32
Manga de Ventilación 24"	m	1.55	9.31	1	14.43	2.17		
Accesorio Manga Ventilación 24"	%	1.55	10%	0.931	1.44305	2.17	15.87	

SUB TOTAL COSTO DIRECTO								2091.18
IMPREVISTOS						%	10.00	209.12
UTILIDAD						%	10.00	230.03
GASTOS GENERALES						%	13.00	271.85
COSTO TOTAL							S/	2802.17
COSTO S/ml							S/./ml	1291.32

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7: ANÁLISIS DETALLADO DEL AHORRO OBTENIDO CON LA MALLA PROPUESTA.

En la tabla se detalla el ahorro en obtenido en cada ítem con los datos obtenidos a través de los disparos realizados con la malla propuesta. Se resalta los ítems en los cuales no hubo variación en el costo.

Tabla 22: Análisis detallado del ahorro obtenido con la malla propuesta.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS SIN MALLA ESTÁNDAR Y CON MALLA ESTÁNDAR

MINA : MACDESA

PARTIDA : RAMPA 4 X4

UNIDAD : Cuatro horas

UBICACIÓN : 04 horas - Caraveli - Arequipa

FECHA : OCTUBRE 2019

LIMPIEZA : SCOOPTRAM 4 Yd3

AVANCE PROMEDIO HISTÓRICO 2.15 metros

AVANCE PROMEDIO NUEVA MALLA 2.17 metros

DESCRIPCIÓN	PROM. HISTÓRICO COSTO Disp. S/	NUEVA MALLA COSTO Disp. S/	AHORRO
1. MANO DE OBRA:			
AYUDANTE PERFORISTA	S/. 160.00	S/. 160.00	S/. 0.00
SCOOPERO	S/. 120.00	S/. 120.00	S/. 0.00
PERFORISTA	S/. 192.00	S/. 192.00	S/. 0.00
Sub Total Costo Mano de Obra / disparo	S/. 472.00	S/. 472.00	S/. 0.00
2. ACEROS DE PERFORACIÓN			
Barras cónicas de 8 pies	S/. 32.49	S/. 30.33	S/. 2.17
Barras cónicas de 6 pies	S/. 25.55	S/. 23.85	S/. 1.70
Barras cónicas de 4 pies	S/. 38.81	S/. 36.22	S/. 2.59
Brocas de 41 mm	S/. 28.43	S/. 26.54	S/. 1.90
Brocas de 38 mm	S/. 11.30	S/. 10.55	S/. 0.75
Brocas de 36 mm	S/. 9.92	S/. 9.26	S/. 0.66
Sub Total Costo Aceros de Perf. / disparo	S/. 146.51	S/. 136.74	S/. 9.77
3. PERFORACIÓN Y ACCESORIOS			
Perforadora Neumática Jackle + Repuestos	S/. 176.35	S/. 164.60	S/. 11.76

Manguera de 1/2" (por dos equipos)	S/. 3.30	S/. 3.30	S/. 0.00
Manguera de 1" (por dos equipos)	S/. 5.72	S/. 5.72	S/. 0.00
Aceite torcola 100 (por dos equipos)	S/. 9.35	S/. 9.35	S/. 0.00
Sub Total Costo Jackleg y Acc./ disparo	S/. 194.72	S/. 182.97	S/. 11.76

4. EPPs

Casco tipo sombrero incluido porta lámpara	S/. 0.37	S/. 0.37	S/. 0.00
Respirador	S/. 1.94	S/. 1.94	S/. 0.00
Lentes de Seguridad	S/. 0.52	S/. 0.52	S/. 0.00
Barbiquejo	S/. 0.16	S/. 0.16	S/. 0.00
Guantes de cuero	S/. 4.19	S/. 4.19	S/. 0.00
Guantes de neoprene / hycron	S/. 4.97	S/. 4.97	S/. 0.00
Mamelucos con Cinta Reflectiva	S/. 1.14	S/. 1.14	S/. 0.00
Cartuchos 3M - polvo	S/. 6.84	S/. 6.84	S/. 0.00
Cartuchos 3M 6003 - antigas	S/. 2.49	S/. 2.49	S/. 0.00
Botas de jebe	S/. 1.92	S/. 1.92	S/. 0.00
Tapón de oídos	S/. 0.35	S/. 0.35	S/. 0.00
Pantalón de jebe	S/. 1.86	S/. 1.86	S/. 0.00
Saco de jebe	S/. 1.86	S/. 1.86	S/. 0.00
Correa portalámparas	S/. 0.34	S/. 0.34	S/. 0.00
Lámpara de batería	S/. 1.81	S/. 1.81	S/. 0.00
Tafilete	S/. 0.23	S/. 0.23	S/. 0.00
Sub Total Costo EPPs / disparo	S/. 31.00	S/. 31.00	S/. 0.00

5. MATERIALES

Combo de 12 libras	S/. 0.50	S/. 0.50	S/. 0.00
Combo de 8 libras	S/. 0.48	S/. 0.48	S/. 0.00
Barretilla de 4' y/o 6'	S/. 1.76	S/. 1.76	S/. 0.00
Cucharilla de 6'	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Llave Stilson de "14"	S/. 1.07	S/. 1.07	S/. 0.00
Llave Stilson de "18"	S/. 1.32	S/. 1.32	S/. 0.00
Punzón para Cebo	S/. 0.14	S/. 0.14	S/. 0.00
Atacadores 7/8" x 6'	S/. 3.96	S/. 3.96	S/. 0.00
Alambre Nro 16	S/. 1.05	S/. 1.05	S/. 0.00
SPRAY	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
PICO	S/. 0.43	S/. 0.43	S/. 0.00
PALA MINERA	S/. 0.39	S/. 0.39	S/. 0.00
Carretilla minera	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Llanta para Carretilla	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Saca barrenos	S/. 0.23	S/. 0.23	S/. 0.00
Plataforma de Perforación	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Gas	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Soplete	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Barretilla de Aluminio de 3.0m	S/. 0.88	S/. 0.88	S/. 0.00

Sub Total Costo Materiales / disparo	S/. 12.21	S/. 12.21	S/. 0.00
---	------------------	------------------	-----------------

6. MAQUINARIA

Scooptram 4 yd3	S/. 686.70	S/. 686.70	S/. 0.00
-----------------	------------	------------	----------

Sub Total Costo Maquinaria / disparo	S/. 686.70	S/. 686.70	S/. 0.00
---	-------------------	-------------------	-----------------

7. EXPLOSIVOS/ACCESORIOS

Emulsión E-80 (1X8")	S/. 308.35	S/. 275.28	S/. 33.07
----------------------	------------	------------	-----------

Exsaneles	S/. 280.00	S/. 260.00	S/. 20.00
-----------	------------	------------	-----------

Pentacord	S/. 12.98	S/. 11.92	S/. 1.06
-----------	-----------	-----------	----------

Carmex 7 pies (unidad)	S/. 5.02	S/. 5.02	S/. 0.00
------------------------	----------	----------	----------

Mecha Rápida (mt)	S/. 1.46	S/. 1.46	S/. 0.00
-------------------	----------	----------	----------

Sub Total Costo Expl. Y Acc. / disparo	S/. 607.81	S/. 553.68	S/. 54.13
---	-------------------	-------------------	------------------

8. VENTILACIÓN

Manga de Ventilación 24"	S/. 14.43	S/. 14.43	S/. 0.00
--------------------------	-----------	-----------	----------

Accesorio Manga Ventilación 24"	S/. 1.44	S/. 1.44	S/. 0.00
---------------------------------	----------	----------	----------

Sub Total Costo Ventilación / disparo	S/. 15.87	S/. 15.87	S/. 0.00
--	------------------	------------------	-----------------

SUB TOTAL COSTO DIRECTO	S/. 2,166.83	S/. 2,091.18	S/. 75.65
--------------------------------	---------------------	---------------------	------------------

IMPREVISTOS (%10.00)	S/. 216.68	S/. 209.12	S/. 7.57
-----------------------------	-------------------	-------------------	-----------------

UTILIDAD (%10.00%)	S/. 238.35	S/. 230.03	S/. 8.32
---------------------------	-------------------	-------------------	-----------------

GASTOS GENERALES (%13.00)	S/. 281.69	S/. 271.85	S/. 9.83
----------------------------------	-------------------	-------------------	-----------------

COSTO TOTAL / DISPARO	S/. 2,903.55	S/. 2,802.17	S/. 101.4
------------------------------	---------------------	---------------------	------------------

COSTO S/ml	S/. 1,350.49	S/. 1,291.32	S/. 59.16
-------------------	---------------------	---------------------	------------------

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: RESUMEN DE LOS COSTOS POR METRO DE AVANCE

En la tabla se muestra el costo por disparo y costo por metro de avance de los disparos realizados con la implementación de la nueva malla de perforación y voladura.

Tabla 23: Tiempos de perforación por taladro.

	NÚMERO DE DISPARO	COSTO DE DISPARO	COSTO POR METRO DE AVANCE	AVANCE	COSTO DE DISPARO PROMEDIO HISTÓRICO	COSTO POR METRO DE AVANCE PROMEDIO HISTÓRICO	AVANCE PROMEDIO HISTÓRICO
FECHA		S/disp	S/m	m	S/disp	S/m	m
DISPARO HISTÓRICO PROMEDIO SIN MALLA	-	2903.55	1350.49	2.15	2903.55	1350.49	2.15
07-oct	1°	2802.17	1340.75	2.09	2903.55	1350.49	2.15
15-oct	2°	2802.17	1285.40	2.18	2903.55	1350.49	2.15
16-oct	3°	2802.17	1262.24	2.22	2903.55	1350.49	2.15
17-oct	4°	2802.17	1285.40	2.18	2903.55	1350.49	2.15
18-oct	5°	2802.17	1256.58	2.23	2903.55	1350.49	2.15
21-oct	6°	2802.17	1297.30	2.16	2903.55	1350.49	2.15
22-oct	7°	2802.17	1303.34	2.15	2903.55	1350.49	2.15
23-oct	8°	2802.17	1291.32	2.17	2903.55	1350.49	2.15
25-oct	9°	2802.17	1273.72	2.20	2903.55	1350.49	2.15
25-oct	10°	2802.17	1328.04	2.11	2903.55	1350.49	2.15

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 9: TIEMPOS DE PERFORACIÓN POR TALADRO.

En la siguiente tabla se muestra el registro de 45 ciclos de perforación en segundos en un taladro al azar con máquina perforadora manual JackLeg. El promedio de los ciclos registrados en segundos es 505 o su equivalencia **8.41 minutos**. Este valor es considerado para determinar el ahorro en tiempos de perforación efectiva.

Tabla 24: Tiempos de perforación por taladro.

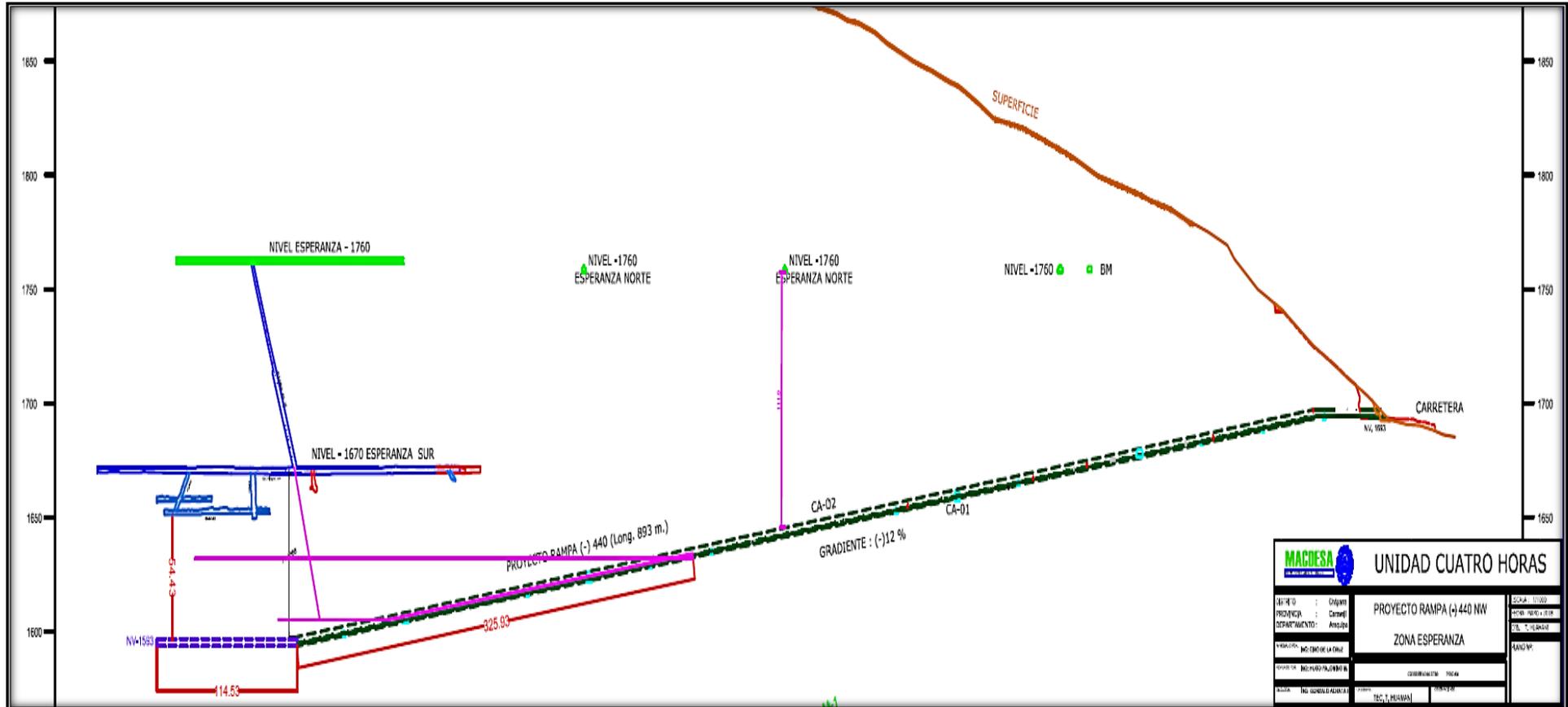
N°	ACOMODO EMBOQUILLADO	BARRENO DE 4 PIES		BARRENO DE 6 PIES		BARRENO DE 8 PIES		TOTAL
		PERFORACIÓN NETA	RETIRO	PERFORACIÓN NETA	RETIRO	PERFORACIÓN NETA	RETIRO	
01	30	148	18	101	19	113	24	453
02	16	184	34	143	30	103	18	528
03	20	162	29	133	20	109	30	503
04	22	192	32	140	25	103	22	536
05	35	183	24	115	25	114	19	515
06	35	184	31	107	20	100	26	503
07	33	195	23	141	26	106	20	544
08	26	167	32	144	19	115	20	523
09	45	206	24	140	27	92	22	556
10	24	200	33	107	21	99	21	505
11	26	172	23	102	18	96	25	462
12	23	187	29	101	30	92	17	479
13	30	206	31	104	30	102	17	520
14	29	190	34	121	28	102	26	530
15	29	192	29	129	24	116	27	546
16	18	163	34	141	27	110	22	515
17	19	166	26	141	21	108	26	507
18	30	174	28	108	29	109	23	501
19	43	197	25	143	20	104	26	558
20	23	197	21	123	23	104	26	517
21	31	160	20	140	21	102	18	492
22	16	167	29	124	25	91	18	470
23	42	199	32	137	28	98	24	560
24	36	168	34	101	28	110	30	507
25	19	185	33	134	27	102	23	523
26	30	174	20	137	22	121	27	531
27	18	164	27	142	23	121	18	513

28	45	183	18	135	29	102	21	533
29	17	197	28	133	28	92	23	518
30	18	201	24	142	30	104	30	549
31	32	201	30	118	22	112	22	537
32	36	165	30	106	18	101	18	474
33	39	184	18	127	28	119	17	532
34	15	194	35	108	27	116	19	514
35	32	198	30	144	25	99	18	546
36	22	161	17	144	21	105	17	487
37	35	204	25	118	28	109	30	549
38	41	186	18	123	24	96	21	509
39	15	193	35	108	22	96	18	487
40	34	198	32	103	20	111	25	523
41	29	167	33	127	24	102	25	507
42	16	185	31	125	28	115	23	523
43	42	167	17	104	28	95	19	472
44	23	177	19	141	22	104	24	510
45	45	161	31	118	24	107	24	510
PROMEDIO DE TIEMPO POR TALADRO								515

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10: MAPAS PROYECTO RAMPA

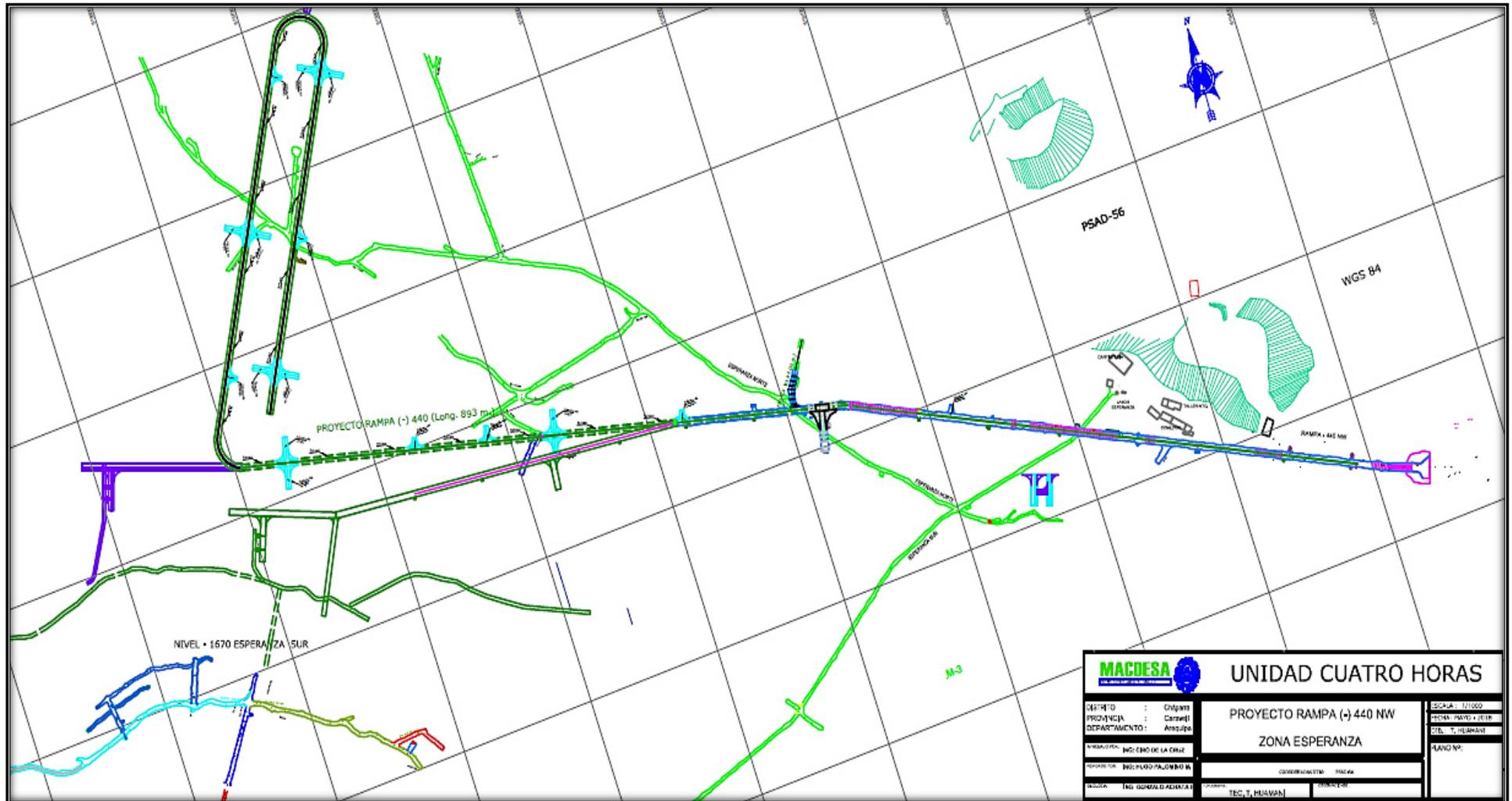
Figura 12: Mapa longitudinal Proyecto Rampa 440 (-)



MACDESA CORPORACIÓN DE INGENIERÍA		UNIDAD CUATRO HORAS	
CLIENTE : Chiquita	PROYECTO : PROYECTO RAMPA (+) 440 NW	ESCALA : 1:1000	FECHA : 10/05/2018
PROVINCIA : Camari	DEPARTAMENTO : Ancash	ZONA : ZONA ESPERANZA	
PROYECTO : INDUSTRIALIZACIÓN		CONTRATISTA : TRILAS	PROYECTISTA : MACDESA
PROYECTO : INDUSTRIALIZACIÓN		PROYECTISTA : MACDESA	PROYECTISTA : MACDESA

Fuente: Departamento de Geología

Figura 13: Mapa de planta Proyecto Rampa 440 (-)



Fuente: Departamento de Geología

ANEXO 11: FOTOGRAFÍAS REGISTRADAS DE LA INVESTIGACIÓN

a. Fotos del mapeo geomecánico

Figura 14: Fotografía de las preparaciones para la prueba de carga puntual.



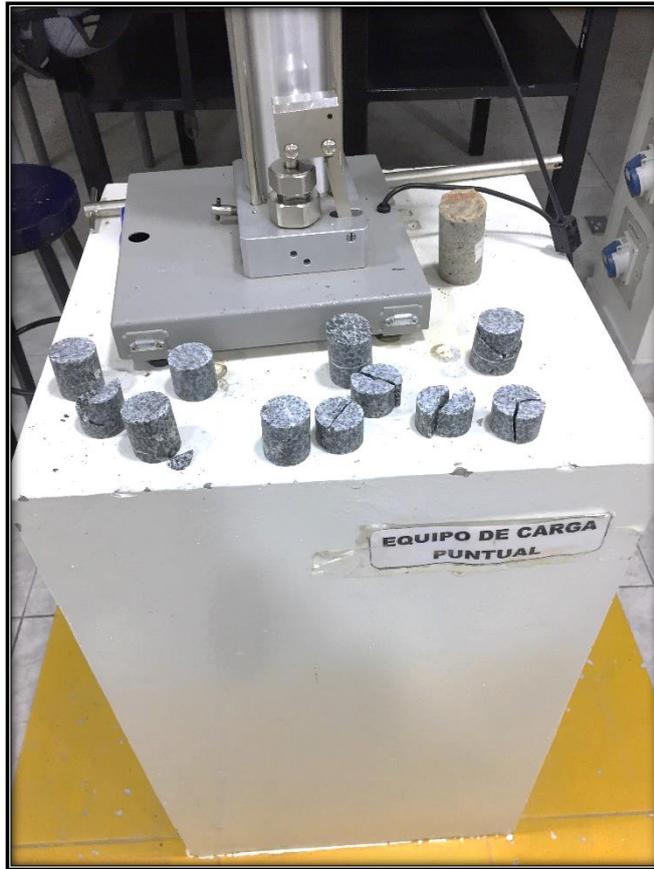
Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Fotografía las pruebas de carga puntual.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Fotografía después de haber realizado las pruebas de carga puntual.



Fuente: Elaboración propia

b. Fotos del análisis del RQD

Figura 17: Fotografía de la evaluación del RQD de testigos.



Fuente: Elaboración propia

c. Fotografías del frente de perforación en estudio

Figura 18: Fotografía del pintado de la malla propuesta, parte superior.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Fotografía del frente cargado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Fotografía de limpieza del frente.



Fuente: Elaboración propia