

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL
PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO
MINERO CERRO CORONA 2024**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA

Asesores:

M.CS. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

— FACULTAD DE INGENIERÍA —

1. Investigador : BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA
DNI : 72608193
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
2. Asesor : M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO
Facultad : INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
5. Título de Trabajo de Investigación:
"OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA 2024"
6. Fecha de evaluación: 08 DE ENERO DEL 2026
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 13%
9. Código Documento: trn:oid:::3117:544902337
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 10/01/2026

 FIRMA DEL ASESOR M. CS. ING. ARAPA VILCA VICTOR AUSBERTO DNI: 29552145	 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	---



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0042-2026

TITULO : OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA 2024.

ASESOR : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **seis días del mes de febrero de 2026**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Secretario : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA 2024**, presentado por la Bachiller en Ingeniería de Minas **KAROL AGUSTINA BAZÁN DÁVILA**, asesorada por el M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 04.00 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11.00 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 15.00 PTS. **Quince** (En letras)

En consecuencia, se la declara **APROBADA** con el calificativo de **Quince** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **09.00 am.** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a DIOS TODOPODEROSO, por la capacidad y sabiduría que me ha concedido.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por acogerme y ofrecerme los conocimientos necesarios del rubro minero y a mis docentes que durante muchos años me han proporcionado sus conocimientos y consejos.

A mi asesor, M.CS. Víctor Arapa Vilca, por brindarme su asesoría, conocimientos y guía metodológica en esta presente investigación.

Karol A.

DEDICATORIA

Con mucho amor y respeto a mis padres, Carolina y Walter, así como también a mi esposo Víctor y a mi hermano Andrés, por sus constantes consejos y apoyo.

Karol A.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS	x
LISTA DE ABREVIACIONES	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Internacionales.....	3
2.1.2. Nacionales	3
2.1.3. Locales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	4
2.2.1. Optimización.....	4
2.2.2. Perforación óptima.....	4
2.2.3. Voladura óptima.....	5
2.2.4. Eficiencia.....	5
2.2.5. Medición de la eficiencia.....	5
2.2.6. Perforación	6
2.2.7. Equipos de perforación.....	7
2.2.8. Altura de banco.....	9
2.2.9. Perforación de Precorte.....	13
2.2.10. Voladura.....	14
2.2.11. Tipos de ondas en voladura.....	22
2.2.12. Agentes de voladura.....	23

2.2.13.	Accesorios de voladura.....	25
		Pág.
2.2.14.	Mecanismo de fragmentación de la roca	33
2.2.15.	Factores que influyen en el mecanismo de rotura de la roca	36
2.2.16.	Influencia de las características de los explosivos.....	37
2.2.17.	Costos	38
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	41
CAPÍTULO III.....		42
MATERIALES Y MÉTODOS.....		42
3.1.	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.1.1.	Geográfica	42
3.1.2.	Política	42
3.1.3.	Accesibilidad	42
3.2.	PROCEDIMIENTO.....	45
3.2.1.	Metodología	45
3.2.2.	Definición de variables	46
3.2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.3.	GEOLOGÍA LOCAL	46
3.4.	ALTERACIONES.....	48
CAPÍTULO IV.....		49
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		49
4.1.	ESPECIFICACIONES DE PERFORACIÓN.....	49
4.1.1.	Perforación de Precorte.....	50
4.1.2.	Perforación de Buffer	51
4.2.	ESPECIFICACIONES DE VOLADURA.....	51
4.2.1.	Booster (Pentex).....	51
4.2.2.	Detonador Electrónico i-kon III	51
4.2.3.	Detonador No Eléctrico Exsanel	51
4.2.4.	Conector Bidireccional Exanel.....	52
4.2.5.	Cordón Detonante.....	52
4.2.6.	Senatel Powersplit.....	52
4.2.7.	Saco polipropileno	53

4.2.8.	Taponex.....	53
		Pág.
4.2.9.	Quantex	53
4.2.10.	Carga de taladros.....	54
4.2.11.	Amarre de taladros.....	55
4.3.	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN.....	55
4.4.	ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE VOLADURA.....	57
4.5.	COSTOS DE PERFORACIÓN CON PRECORTE.....	58
4.5.1.	Perforación Proyecto 3640-067-GF-C8.....	59
4.5.2.	Perforación Proyecto 3650-105-GF-C8.....	61
4.5.3.	Perforación Proyecto 3660-112-GF-C8.....	64
4.6.	COSTOS DE PERFORACIÓN SIN PRECORTE.....	67
4.6.1.	Perforación Proyecto 3640-067-GF-C8.....	67
4.6.2.	Perforación Proyecto 3650-105-GF-C8.....	70
4.6.3.	Perforación Proyecto 3660-112-GF-C8.....	72
4.7.	COSTOS DE VOLADURA CON PRECORTE.....	74
4.7.1.	Voladura Proyecto 3640-067-GF-C8	74
4.7.2.	Voladura Proyecto 3650-105-GF-C8	75
4.7.3.	Voladura Proyecto 3660-112-GF-C8	75
4.8.	COSTOS DE VOLADURA SIN PRECORTE.....	76
4.8.1.	Voladura Proyecto 3640-067-GF-C8	76
4.8.2.	Voladura Proyecto 3650-105-GF-C8	76
4.8.3.	Voladura Proyecto 3660-112-GF-C8	77
4.9.	COSTOS GENERALES.....	77
4.9.1.	Costos de perforación	77
4.9.2.	Costos de voladura.....	78
CAPÍTULO V.....		82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
5.1.	CONCLUSIONES.....	82
5.2.	RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		84
ANEXOS		86

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Influencia de la estratificación del macizo rocoso en la voladura	37
Tabla 2. Clasificación de costos de perforación y voladura.....	39
Tabla 3. Acceso a la unidad minera Cerro Corona.....	42
Tabla 4. Tipo y clasificación de la investigación	45
Tabla 5. Metros estimados por año.	55
Tabla 6. Precios Unitarios de perforación perforadora DM-45	56
Tabla 7. Precios Unitarios de perforación perforadora Rock Drill.....	57
Tabla 8. Costos Unitarios de voladura – Proyecto Cerro Corona	58
Tabla 9. Especificaciones del Proyecto P3640-067-GF-C8.....	59
Tabla 10. Cantidad y metros perforados del proyecto P3640-067-GF-C8	59
Tabla 11. Costos por metros perforado del proyecto P3640-067-GF-C8	61
Tabla 12. Especificaciones del Proyecto P3650-105-GF-C8.....	61
Tabla 13. Cantidad y metros perforados del proyecto P3650-105-GF-C8	62
Tabla 14. Costos por metros perforado del proyecto P3650-105-GF-C8	64
Tabla 15. Especificaciones del Proyecto P3660-112-GF-C8.....	64
Tabla 16. Cantidad y metros perforados del proyecto P3660-112-GF-C8	65
Tabla 17. Costos por metros perforado del proyecto P3660-112-GF-C8	67
Tabla 18. Especificaciones del Proyecto P3640-067-GF-C8.....	67
Tabla 19. Cantidad y metros perforados del proyecto P3640-067-GF-C8	68
Tabla 20. Costos por metros perforado del proyecto P3640-067-GF-C8	70
Tabla 21. Especificaciones del Proyecto P3650-105-GF-C8.....	70
Tabla 22. Cantidad y metros perforados del proyecto P3650-105-GF-C8	70
Tabla 23. Costos por metros perforado del proyecto P3650-105-GF-C8	72
Tabla 24. Especificaciones del Proyecto P3660-112-GF-C8.....	72
Tabla 25. Cantidad y metros perforados del proyecto P3660-112-GF-C8	72
Tabla 26. Costos por metros perforado del proyecto P3660-112-GF-C8	74
Tabla 27. Costos de la voladura del proyecto P3640-067-GF-C8	74
Tabla 28. Costos de la voladura del proyecto P3650-105-GF-C8	75
Tabla 29. Costos de la voladura del proyecto P3660-112-GF-C8	75

	Pág.
Tabla 30. Costos de la voladura del proyecto P3640-067-GF-C8	76
Tabla 31. Costos de la voladura del proyecto P3650-105-GF-C8	76
Tabla 32. Costos de la voladura del proyecto P3660-112-GF-C8	77
Tabla 33. Costos generales de perforación en la fase 8C con línea de precorte.....	77
Tabla 34. Costos generales de perforación en la fase 8C sin línea de precorte.....	78
Tabla 35. Costos generales de voladura en la fase 8C con línea de precorte.....	78
Tabla 36. Costos generales de voladura en la fase 8C sin línea de precorte.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principios de perforación mecánica de las rocas.....	7
Figura 2. Taladros de precorte, buffer y producción.....	16
Figura 3. Banco de voladura: Nomenclatura.....	18
Figura 4. Propagación mecánica de las ondas de cuerpo y superficiales.....	23
Figura 5. Detonadores ordinarios.....	27
Figura 6. Detonadores eléctricos.....	28
Figura 7. Detonadores no eléctricos.....	28
Figura 8. Relé de microrretardo.	30
Figura 9. Mecha lenta	31
Figura 10. Sistema de iniciación eléctrica	32
Figura 11. Sistema de iniciación no eléctrica	33
Figura 12. Proceso de detonación.	33
Figura 13. Tipos de fisuras en las proximidades del barreno	35
Figura 14. Agrietamiento debido a la tracción generada por la onda reflejada	36
Figura 15. Acceso a la zona de investigación (Ruta Cajamarca – Cerro Corona).	43
Figura 16. Acceso a la zona de investigación (Ruta Hualgayoc – Cerro Corona).....	44
Figura 17. Carga de taladros – Proyecto Cerro Corona	54
Figura 18. Malla de perforación P3640-067GF-C8.....	60
Figura 19. Malla de perforación P3650-105-GF-C8.....	63
Figura 20. Malla de perforación P3660-112-GF-C8.....	66
Figura 21. Malla de perforación P3640-067-GF-C8 sin precorte	69
Figura 22. Malla de perforación 3650-105-GF.C8 sin precorte.....	71
Figura 23. Malla de perforación P3660-112-GF-C8.....	73

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Metros perforados con precorte y sin precorte.....	79
Gráfico 2. Costos por precorte y sin precorte de cada proyecto.	80
Gráfico 3. Costo de voladura por precorte y sin precorte de cada proyecto.	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Perforadora DM-45	49
Fotografía 2. Perforadora Rock Drill	50
Fotografía 3. Amarre de taladros.	55
Fotografía 4. Amarre de taladros para voladura.....	87
Fotografía 5. Carga de Booster con cable de conexión.	88
Fotografía 6. Tapado de taladros para que no haya rocas disparadas.....	89
Fotografía 7. Carguío de taladros con Nitrato de Amonio y Emulsion Gasificada	89
Fotografía 8. Área de perforación y voladura señalizada con letreros de seguridad para prohibir el ingreso del personal no autorizado	90

LISTA DE ABREVIACIONES

APU	: Análisis de Precios Unitarios
\$	: Dólares estadounidenses
Au	: Oro
Cu	: Cobre
DM-45	: Modelo de perforadora
GF	: Gold Fields
GL	: Galón
GL	: Galón
HH	: Hora hombre
HM	: Hora máquina
KG	: Kilogramo
LB	: Libra
m	: Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mp	: Metro Perforados
MS	: Milisegundos (tiempo de retardo de detonadores)
Ø	: Diámetro
pza	: Pieza
S.A.	: Sociedad Anónima
UN	: Unidad
UTM	: Universal Trasverse Mercator
WGS-84	: Sistema de coordenadas geodésicas global

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en el proyecto minero Tajo Cerro Corona, perteneciente a la empresa Gold Fields La Cima S.A. Su objetivo principal es determinar la optimización de costos que implica reemplazar el precorte por línea buffer en la fase temporal de minado 8C en dicho proyecto minero durante el año 2024. La metodología aplicada corresponde a un enfoque descriptivo, por lo que se recopiló información directamente en campo, analizándose y detallándose los resultados de la perforación y voladura del precorte en la fase 8C. Asimismo, el estudio adopta un diseño transversal en el tiempo, dado que los datos fueron obtenidos tanto antes como durante la ejecución de la perforación y voladura. Asimismo, se obtuvieron las siguientes conclusiones: para la perforación de taladros de precorte se empleó la perforadora Rock Drill, mientras que para los taladros de producción o buffer se utilizó la perforadora DM45. En el proceso de voladura se aplicaron distintos accesorios como booster, detonadores electrónicos y no electrónicos, conector bidireccional, cordón detonante, Senatel Powersplit, saco de polipropileno, Taponex y Quantex. Los costos unitarios de perforación fueron de 11.17 USD para Rock Drill y 8.59 USD para DM45, mientras que el costo unitario de voladura por metro cargado fue de 8.93 USD. Los costos totales de perforación con línea de precorte ascendieron a 101,611.15 USD y sin línea de precorte a 45,832.68 USD; para voladura, los costos con línea de precorte fueron 89,952.51 USD y sin línea de precorte 47,673.93 USD. Se recomienda analizar la necesidad de la línea de precorte en distintos bancos para optimizar el uso de recursos en perforación y voladura.

Palabras claves: Precorte, bancos, línea buffer.

ABSTRACT

The research work was carried out in the Cerro Corona Pit mining project, owned by the Gold Fields La Cima S.A. mining company. The main objective of the research is to determine the cost optimization of replacing the pre-cut with a buffer line in the 8C mining time phase in the Cerro Corona mining project of the Gold Fields La Cima S.A. mining company. 2024. The methodology for this work corresponds to a descriptive type, so we will gather information in the field, analyze and detail the results of the drilling and blasting of the pre-cut in phase 8C, and transversal in time since we obtained the data, before and during drilling and blasting. Likewise, the conclusions were reached that a Rock Drill was used to drill pre-cut holes and, on the contrary, a DM45 drill was used for production or buffer holes. For the blasting process, different accessories were used, booster, electronic and non-electronic detonators, bidirectional connector, detonating cord, senatel powersplit, polypropylene bag and taponex, quantex. Unit drilling costs in Rock Drill 11.17\$ and DM45 8.59\$, unit cost of blasting per meter loaded 8.93\$, general drilling costs with pre-cut line is 101,611.15\$ and without pre-cut line is 45,832.68\$, and blasting with pre-cut line is 89,952.51\$ and without pre-cut line is 47,673.93\$, it is recommended to analyze the need for the pre-cut line in different banks, in order to save drilling and blasting resources.

Keywords: Pre-cut, banks, buffer line.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En la operación minera Cerro Corona se llevan a cabo actividades de perforación y voladura a cielo abierto como parte del proceso de minado. El procedimiento de precorte en las mallas de perforación tiene como objetivo reducir la sobre excavación propia de cualquier voladura, así como la fracturación y el daño ocasionado por la acción del explosivo en el macizo rocoso remanente más allá del perfil de diseño. De igual manera, el precorte busca incrementar la estabilidad mecánica del macizo rocoso.

El precorte al formar parte del proceso de minado, es necesario optimizar los costos tanto en explosivos como en horas máquina, con el fin de que la operación alcance la máxima rentabilidad posible. Esta optimización de costos se logra al sustituir el precorte por línea a buffer.

En la investigación se formuló la siguiente pregunta: ¿En qué medida es posible optimizar los costos de perforación y voladura del precorte en la fase temporal de minado 8C en la empresa minera Gold Fields La Cima S.A. durante el 2024? La hipótesis planteada fue: el reemplazo del precorte por línea buffer en la fase temporal de minado 8C del proyecto Cerro Corona tendrá un impacto positivo en los costos de perforación y voladura, haciendo que el proceso de minado sea más eficiente.

En la actividad minera contemporánea, la reducción de costos constituye un objetivo prioritario para las áreas involucradas, con el propósito de maximizar la rentabilidad de la operación. Dentro del área de perforación existen diversos parámetros de diseño que buscan la mejora continua; por ello, en fases temporales de la operación, una de las mejores alternativas es reemplazar la línea de precorte por la línea buffer. Esta estrategia permite optimizar los costos tanto en explosivos como en metros perforados, sin comprometer la estabilidad adecuada de los taludes.

El objetivo general de la investigación es determinar la optimización de costos que implica reemplazar el precorte por línea buffer en la fase temporal de minado 8C en el proyecto minero Cerro Corona de la empresa Gold Fields La Cima S.A. durante el año 2024. Los objetivos específicos son: establecer las especificaciones de perforación y voladura, analizar los costos unitarios de perforación y voladura, y calcular los costos de perforación y voladura

tanto con línea de precorte como sin línea de precorte.

El contenido del Capítulo I corresponde a la introducción, donde se presentan los objetivos, el planteamiento del problema, la pregunta principal y la hipótesis. En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico, estructurado en subcapítulos que incluyen antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y definición de términos clave. El Capítulo III expone los materiales y métodos, detallando aspectos generales del área de estudio, el procedimiento de investigación, así como la geología local y la situación económica. En el Capítulo IV se lleva a cabo el análisis y la discusión de los resultados obtenidos. El Capítulo V recoge las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación. Finalmente, se presenta un panel fotográfico con imágenes específicas de los bancos y niveles donde se implementó el reemplazo del precorte por la línea buffer.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Sánchez (2023), En su investigación sobre la optimización de la perforación y voladura en la cantera de áridos Beltrán, se determinó que el macizo rocoso presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 13.30 MPa. Aplicando la metodología de López Jimeno, se logró calcular con precisión los parámetros de la malla de perforación, consiguiendo una mejor distribución y eficiencia, lo que permitió reducir 14 barrenos y 22 cajas de ANFO, generando un ahorro de 660 USD en comparación con el diseño tradicional. Se concluyó que la nueva alternativa constituye la opción más óptima.

Pérez (2020), en su tesis denominada “Desarrollo de los procesos mineros en cielo abierto para su optimización”, se concluye que la selección del explosivo en operaciones a cielo abierto está condicionada por el tipo de material y las dimensiones del área de trabajo. Para definirlo, se efectúan pruebas que permiten identificar la resistencia del macizo rocoso y la energía requerida para su fragmentación, ajustándose la formulación del explosivo hasta alcanzar condiciones adecuadas. De este modo, se garantiza una fragmentación eficiente. Entre los explosivos de uso más frecuente se encuentran el ANFO, los hidrogeles, las emulsiones y las gomas, cuya elección se realiza en función de las particularidades del terreno.

2.1.2. Nacionales

Cahuapaza (2022), En su tesis titulada “Optimización de costos en perforación y voladura mediante la aplicación del modelo matemático de Crosby & Pinco en la unidad minera Apumayo S.A.C.”, se concluye que, al aplicar el modelo matemático de Crosby & Pinco en la Unidad Minera Apumayo S.A.C., se logró optimizar el costo unitario de perforación y voladura de 0.39 a 0.33 US\$/TM (reducción del 15,38 %) y el costo de perforación de 0.14 a 0.12 US\$/TM (reducción del 14,29 %), mediante un nuevo diseño de malla y el reemplazo de explosivo de heavy ANFO a HA73G.

Huamani (2021), En su estudio titulado “Análisis técnico y económico de perforación y voladura para el control del grado de fragmentación post voladura en una mina a tajo abierto – 2021”, se concluye que, en una mina a cielo abierto, la utilización de retenedores de energía (bolsas de aire tipo Taponex) permitió disminuir el factor de potencia de 0.56 a 0.35 kg/t y reducir el costo unitario de 0.27 a 0.18 \$/t, logrando un mejor control de la fragmentación en distintas litologías.

2.1.3. Locales

López (2021) En su tesis titulada “Empleo de la emulsión gasificable SANG APU para minimizar costos de voladura en Minera La Zanja S.R.L.”, se indica que los beneficios económicos derivados del uso de la emulsión gasificada Sang Apu se reflejan en una reducción significativa del costo por taladro en comparación con Pyrosang y ANFO. La emulsión gasificable Sang Apu presenta un costo de 68.43 US\$/taladro.

\$/Tal, mientras que el Pyrosang tiene un costo de 74.72 \$/Tal y el Anfo tiene un costo de 78.72 \$/Tal.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Optimización

Optimización se define como la acción y el efecto de optimizar. Este término hace referencia a la búsqueda de la mejor manera de llevar a cabo una actividad. Optimizar implica procurar mejores resultados, mayor eficacia o eficiencia en la ejecución de una tarea, como ocurre en los procesos de perforación y voladura en una mina subterránea. Entre sus sinónimos se encuentran mejorar, optimar o perfeccionar. (Chambi, 2019)

Se considera que algo (una actividad, un método, un proceso o un sistema) ha sido optimizado cuando se han realizado ajustes en la manera habitual de proceder y los resultados obtenidos superan lo regular o lo esperado. En este contexto, optimizar implica gestionar de manera más eficiente los recursos en función del objetivo perseguido; en este caso, se busca optimizar el proceso de perforación y voladura. (Chambi, 2019)

2.2.2. Perforación óptima

Se considera que una perforación es óptima cuando cumple con los estándares establecidos para las operaciones unitarias de perforación, logrando así un avance eficiente en términos de metros lineales perforados; es decir, un metro perforado equivale a un metro efectivamente avanzado. En este caso, los estándares de perforación serían los siguientes: garantizar el

paralelismo de los taladros (empleando correctamente los guidores durante la perforación como medida de control); y mantener un burden uniforme a lo largo de toda la longitud del taladro, con el fin de lograr un fracturamiento adecuado y, al mismo tiempo, un avance eficiente. (Chambi, 2019)

Los espaciamientos uniformes entre los taladros favorecen una fragmentación casi homogénea, evitando que la voladura se desperdicie. La igualdad en la longitud de los taladros permite alcanzar el avance previsto, especialmente cuando todos los taladros alcanzan la misma profundidad en el fondo del macizo rocoso. Evitar el cruce de taladros resulta fundamental para lograr una correcta disposición de la carga explosiva y así, prevenir que la voladura se desperdicie. Asimismo, una distribución apropiada del diámetro o de la cantidad de taladros de alivio permite disponer de una cara libre adecuada, en la cual se reflejan las ondas de tensión responsables de la fragmentación del macizo rocoso; como consecuencia, se obtiene un proceso de perforación y voladura óptimo. (Chambi, 2019)

2.2.3. Voladura óptima

La tronadura se encuentra de forma inmediata vinculada con la perforación por lo que uno de los criterios que tiene que acatar es; la utilización correcta y equilibrada de explosivos y una gestión eficiente de estos, esto se logra contando con un juicio especializado al instante de realizar la solicitud de la dosificación requerida de explosivo; antes de ello se ha efectuado una evaluación minuciosa de la trama de tronadura que se detonará. Otro criterio es la carga de la columna explosiva la cual en término medio tendría que ser el 66 % del barrenos. (Chambi, 2019)

2.2.4. Eficiencia

Es una cualidad o capacidad para alcanzar un resultado. También, es la operación mediante la cual se obtiene dicho resultado. El término eficiencia puede emplearse en diversos escenarios. La eficiencia en minería alude al uso adecuado y con la mínima cantidad de medios para lograr una meta o cuando se consiguen más metas con los mismos o con menos medios. (Chambi, 2019)

2.2.5. Medición de la eficiencia

La eficacia se cuantifica por medio de tablas estadísticas de contraste. Donde se confrontan los resultados de una perforación y tronadura inadecuada por la ausencia de un

perfeccionamiento en la configuración de las tramas de perforación, al igual que la inexistencia de una apropiada supervisión de plazos de perforación. Entregando como resultados, optimizaciones en la configuración de la perforación y tronadura llevando consigo, disminuir duración y gastos en perforación y elevar el porcentaje de progreso por detonación empleando los medios indispensables. (Chambi, 2019)

2.2.6. Perforación

Exsa (2019), nos señala que el procedimiento de perforación constituye la operación inicial en la preparación para una tronadura, con el objetivo central de generar orificios cilíndricos en la roca, para ubicar el explosivo y sus complementos, estos se llaman taladros, barrenos o blast holes. La perforación de rocas se fundamenta en bases mecánicas de percusión y giro, cuyos impactos de choque y rozamiento originan el despostillamiento y la molienda de la roca en una zona equivalente al calibre de la broca y hasta una hondura determinada por la extensión del barreno empleado. La eficacia en perforación radica en conseguir la mayor penetración al menor gasto.

La perforación en roca ha venido transformándose con el transcurso del tiempo con la integración y utilización de diversas tecnologías, pese a que muchas han terminado quedando relegadas, ya sea por el rendimiento alcanzado, o bien por otros factores externos (financieros, ecológicos). Las más usadas y perfeccionadas se sustentan en mecanismos de perforación físicos, conocidos como mecanismos de perforación “por giro” y “por impacto”. Son estos procedimientos, cuya eficiencia se delimita en energías particulares por debajo de los 1.000 J/cm³, los que serán más extensamente expuestos y ampliados en este texto. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2023).

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- **Percusión**
Con acción de impacto y seccionado similar a la de un formón y un mazo. Ejemplo, el suministrado por los martillos neumáticos de reducido tamaño y los equipos rompe superficies. (Exsa, 2019)
- **Percusión/rotación**
Con acción de impacto, seccionado y rotación, como el generado por los equipos perforadores neumáticas convencionales, equipos tracdrill, jumbos de accionamiento hidráulico. (Exsa, 2019)

- **Rotación**

Con acción de seccionamiento mediante rozamiento y raspado con material de elevada dureza (abrasión de la roca, sin impacto), como el originado por los equipos de perforación diamantina destinados a exploración. (Exsa, 2019)

- **Fusión (jet piercing)**

Mediante un chorro térmico que licúa roca y mineral de dureza extrema como la taconita (hierro), procedimiento utilizado en ciertos depósitos ferríferos de Norteamérica. (Exsa, 2019)

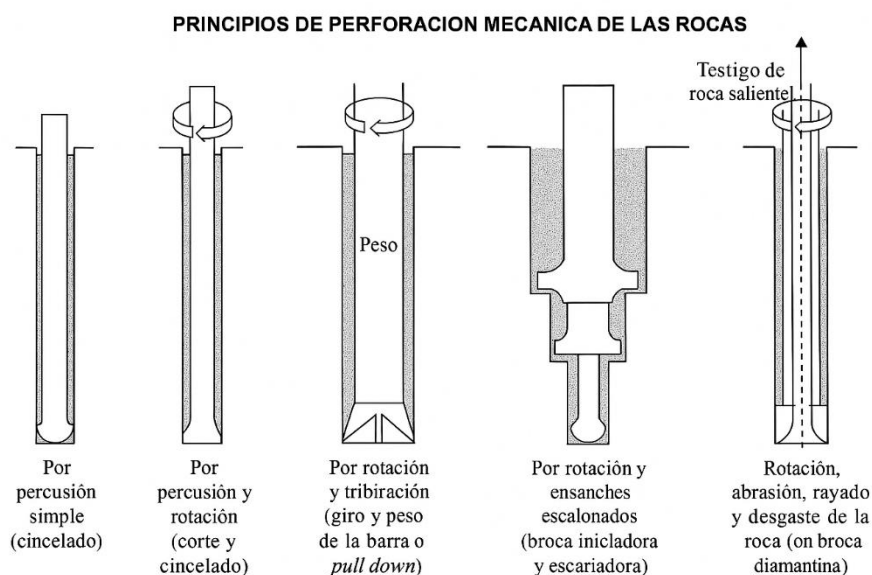


Figura 1. Principios de perforación mecánica de las rocas.
Fuente: Exsa, 2019.

2.2.7. Equipos de perforación

Bernaola, Catilla y Herrera (2013), nos indica que existen diversos factores técnicos y financieros que deben ponderarse para establecer esas características generales que determinan la clase de equipo. El calibre queda establecido por la naturaleza del trabajo y los factores particulares del mismo. Si por ejemplo se trata de perforación para la realización de una tronadura, la cadencia de producción, la cantidad de roca a volar y en última instancia el planteamiento y la configuración de la tronadura implicarán la fijación de un cierto calibre de perforación. Otros factores como el nivel de fragmentación exigido por las labores posteriores (acarreos, traslado y conminución) o la posible exigencia de restringir la magnitud

de las vibraciones generadas por la detonación pueden igualmente resultar decisivos en la elección del diámetro de perforación.

Si se trata de una prospección con recuperación de testigo ininterrumpido, la profundidad y la clase de roca resultan decisivas para los diámetros de arranque y de término a emplear en el sondeo. Si se trata de una perforación para soporte, el tipo de fijación determina el diámetro de perforación. Una fijación corta (perno de 25 mm de diámetro) exige un taladro de un diámetro mayor, para lograr una adhesión adecuada. Una fijación larga (doble cable entrelazado de 15 mm de diámetro) demandaría un taladro de 51 mm de diámetro. Una vez establecido el calibre, el método de perforación puede elegirse según dicho diámetro y la naturaleza de la roca conforme a lineamientos generales presentados en secciones previas, sin dejar de considerar la incidencia de otros elementos como la extensión del barreno y el impacto en el resultado final de eventuales desviaciones. Finalmente se precisa las modalidades de ensamblaje y propulsión. La clase de energía accesible, el nivel de polución permitido (de acuerdo con si el equipo funciona en superficie o en interior), el grado de desplazamiento requerido y en ciertos supuestos, el valor de la inversión y el lapso de recuperación deben considerarse al momento de optar por un accionamiento diésel o eléctrico. La configuración topográfica y las particularidades del suelo, la movilidad y capacidad de maniobra demandadas y la indispensable compatibilidad con las condiciones de otros equipos que operen en el mismo frente constituyen por lo general los factores que fijan las propiedades del bastidor portante del equipo de perforación (instalación sobre patines, rieles, orugas o neumáticos). Con ello se determina de manera general el equipo de perforación. Más adelante, la evaluación de elementos financieros, de configuración y de confiabilidad inclinarán la elección hacia un equipo particular entre los que acostumbran a estar en el mercado. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Actualmente se emplean tres tipos de máquinas perforadoras:

- **Manuales**

De impacto mediante aire presurizado, destinado a orificios reducidos (25 a 50 mm de calibre), para labores horizontales o hacia el suelo (martillo picador) o para perforaciones verticales dirigidas al techo (perforadores de empuje). Utilizan barrenos de acero macizo con una punta incorporada de tipo cincel, o barrenos provistos de broca desmontable. (Exsa, 2019)

- **Mecanizadas**

De impacto y de rotopercusión, instaladas en bastidores sobre neumáticos u orugas. Para perforaciones de hasta 150 mm (6" de calibre) y 20 m de profundidad. Ejemplo los wagondrill, track drill y jumbos de aire o de accionamiento hidráulico, que usan barrenos ensamblables con brocas reemplazables. (Exsa, 2019)

- **Mecanizadas rotatorias**

Comúnmente de tamaño considerable para empleo en minas a cielo abierto, instaladas sobre camión o sobre orugas con desplazamiento autónomo, con motor de rotación separado y perforación por empuje (pull down o empuje de barra) con brocas giratorias tricónicas de 6" a 15" de diámetro, siendo las más habituales de 6", 9 7/8", 11 1/4" y 12 5/8". (Exsa, 2019)

2.2.8. Altura de banco

La elevación del banco se fija, por lo general, a partir del tamaño de los equipos de excavación y carguío, las condiciones del macizo y las demandas de selectividad. En esencia es el equipo de carguío, y la altura límite que logra el cucharón, el factor que define la altura del banco. Este enfoque permite emplear la pala o excavadora para limpiar cualquier sector del frente y conservar condiciones operativas de seguridad aceptables. La práctica de las operaciones a cielo abierto más mecanizadas sugiere alturas máximas ubicadas entre 10 y 20 m. (Herrera, 2020)

- **Ventajas del banco alto**

Dentro del rango sugerido, las elevaciones superiores presentan, sin embargo, las ventajas que se indican a continuación:

La ventaja fundamental de los bancos de considerable elevación es que la totalidad de la labor se realiza en una única fase. Incremento del desempeño de la perforación al disminuir los intervalos improductivos por reubicación y la reducida incidencia de los gastos asociados a la sobre perforación y al uso de explosivos.

Una configuración de tronadura óptima, dentro de la orientación vigente hacia calibres de perforación más grandes, que demanda alturas de banco superiores.

Optimización del desempeño de los equipos de carguío al disminuir los lapsos improductivos por cambio de tajo, así como por traslados del equipo dentro del mismo.

Cantidad reducida de bancos y, por lo tanto, mayor centralización y rendimiento de la maquinaria. o Infraestructura de accesos más barata por un número menor de niveles de labor. (Herrera, 2020)

- **Ventajas de banco bajo**

Los beneficios de una elevación de banco menor son los que se presentan a continuación :

Condiciones de protección superiores para el personal y los equipos, ya que el radio de acción de las máquinas de carguío posibilita una depuración y despeje más eficaz de los frentes a lo largo de la operación.

Supervisión más eficiente del desvío de los barrenos, en particular cuando se emplean perforadoras con martillo en cabeza.

Cargas activas de explosivo más reducidas, por lo que, mediante secuencias de iniciación apropiadas, se atenúan los inconvenientes de vibraciones y de onda aérea.

Mayor celeridad en la construcción de rampas de ingreso entre bancos.

Condiciones más favorables para la rehabilitación y el manejo de los taludes definitivos. (Herrera, 2020)

La elección de la altura ideal es entonces, el producto de una evaluación técnico -económica sustentada en análisis geotécnicos que incorporen el componente de seguridad de las labores, así como en investigaciones de rehabilitación de los terrenos impactados por las actividades mineras. Como guía, el alcance límite de la gama más grande de palas de ruedas normalmente no acostumbra exceder los 10 m., mientras que, para ciertos modelos de excavadoras, tanto de cables como hidráulicas, puede llegar a los 18 m. (Herrera, 2020)

2.2.8.1. Componentes del sistema de perforación

- **Perforadora o martillo**

Son los equipos que impulsan la barra o el barreno de perforación y pueden ser de accionamiento neumático, de manejo manual o portátil. (Exsa, 2019)

- **Soporte y carro portador**

También denominados torres, pueden ser trípodes sencillos o patas tubulares de avance automático como las de los stoper y Jack hammer. En los jumbos, trackdriles y otros carros perforadores se emplean brazos articulados y pantógrafos. Estos últimos muy apropiados para perforación paralela en barrenos de arranque mediante corte quemado. (Exsa, 2019)

- **Compresora**

Pueden ser fijas, transportables (móviles) y montadas sobre chasis, estas últimas instaladas en el propio equipo perforador. Su funcionamiento puede ser eléctrico o mediante motor de combustión interna (principalmente diésel). Según el mecanismo mecánico de compresión pueden ser de pistón o de tipo rotativo. (Exsa, 2019)

- **Brocas**

Las brocas constituyen los implementos de corte, por lo común fabricados en acero de elevada resistencia a los impactos, fortalecidos en sus bordes mediante insertos o botones de material de extrema dureza y alta resistencia al desgaste (carburo de tungsteno). (Exsa, 2019)

Corte: Generalmente utilizadas en perforación de producción con equipos pequeños, entre 1" y 4" de diámetro, (integrales, cruz) gasta.

Rotatoria: También denominadas "tricónicas" debido a que están constituidas por tres conos dentados integrados a un cuerpo rígido o envolvente. Dichos conos rotan de manera independiente alrededor del eje de la broca cuando esta se pone en operación fragmentando la roca. (Exsa, 2019)

Diamantinas: Utilizadas en exploración geológica y en tronadura con barrenos

extensos, por lo general huecas para posibilitar la evacuación de una barra del material rocoso o mineral que se va atravesando durante la perforación (testigo), poseen incrustaciones extremadamente finas de diamante incorporadas dentro de una masa o matriz fundida y resistente, la cual, a medida que se desgasta, permite que afloren nuevos diamantes. (Exsa, 2019)

- **Barrenos**

Barras o barrenos son varillas o conductos de acero ensamblables que transfieren el golpe del martillo hacia la broca, situada en uno de sus extremos. Las barras pueden ser huecas, hexagonales, sólidas. Y sus uniones pueden ser de rosca, rosca continua, cono de encaje liso, etc. Cuando la rosca está incorporada al barreno se le llama “integral”, aunque por lo general son separadas o reemplazables debido a que su desgaste es superior al de la barra. Según la forma de su frente de corte y la ubicación o reparto de los insertos pueden ser del tipo bisel, cruz, expansoras o rimadoras. (Exsa, 2019)

2.2.8.2. Condiciones de Perforación

Exsa (2019), define que en la actividad minera se pretende alcanzar una tronadura eficaz, por lo tanto, la etapa de perforación resulta esencial al igual que la elección de los explosivos, razón por la cual debe ejecutarse con el enfoque adecuado y de manera minuciosa. Habitualmente la calidad de los barrenos que se van a perforar se encuentra condicionada por cuatro factores: calibre, extensión, alineación y firmeza.

- **Diámetro**

La elevación del banco incide de tal modo que descarta tamaños menores para bancos elevados, en consecuencia, del equipo pesado que se empleará. El elemento más relevante es el volumen de producción. Una producción superior exige calibres de perforación más grandes ya que la inclinación es a ejecutar la menor cantidad de agujeros posible con el equipo de mayor tamaño que se pueda, un tamaño superior de barreno por lo común genera fragmentaciones más gruesas de roca con una carga específica constante, por lo tanto, los calibres mayores de barrenos conllevan a un gasto más alto de explosivos para disminuir la fragmentación hasta un tamaño aceptable. (Herrera, 2020)

- **Longitud**

Incide directamente en la selección de la capacidad del equipo de perforación y en el progreso del disparo (profundidad del taladro). (Exsa, 2019)

- **Inclinación**

Cambia según la clase de roca, el procedimiento de perforación y los rasgos del equipo perforador. Deben presentar la máxima linealidad y correcta alineación para que el explosivo se distribuya de manera adecuada. En la mayor parte de los diseños de perforación el paralelismo entre barrenos resulta esencial para la interacción de las cargas explosivas en toda la tronadura. (Exsa, 2019)

Si la perforación será realizada con distintas inclinaciones, la distancia de menor resistencia y el espaciamiento tienen que ser modificados de manera correspondiente, si los barrenos se van a ejecutar en vertical, será preciso reducir la distancia de menor resistencia y el espaciamiento en cerca de 5% por decir, la sección del barreno, $E \times V$, se disminuye en alrededor de un 10.25%, otro beneficio de los barrenos inclinados es que se consigue un contorno de banco más definido y el peligro de que los barrenos se desvíen hacia atrás resulta cada vez más bajo. (Herrera, 2020)

- **Estabilidad**

Los barrenos deben conservarse despejados hasta el instante de su utilización. En suelos flojos suelen derrumbarse, por lo que puede ser necesario recubrirlos internamente con tubos especiales para poderlos cargar (casing) o realizar otro barreno contiguo al que quedó obstruido. (Exsa, 2019)

2.2.9. Perforación de Precorte

El precorte consiste en ejecutar barrenos a lo largo de una línea de excavación, con carga explosiva desacoplada y con un espaciamiento inferior al utilizado en una tronadura de producción. De manera que, al detonar, este produzca un plano de fractura que delimite una pared y atenúe las vibraciones de la tronadura de producción. (Quiroz, 2023)

El precorte debe tener las siguientes consideraciones:

Ángulos de frentes de banco e interrampas: los valores operativos agudos para la perforación de precorte se sitúan alrededor de 65° y 75°, este valor angular cambia en función de la resistencia del macizo rocoso.

Perforación: Debe ser lo más precisa posible respecto al espaciamiento, la inclinación y la dirección; con el propósito de lograr paredes homogéneas.

Sobre rotura en la cresta: la perforación excesiva incide en la fragmentación de la cresta. Por ello es necesario preverla dentro del planteamiento del diseño.

Diámetro de perforación: mientras mayor resulta el calibre del barreno, igualmente mayor es el diámetro de fractura. Por tal motivo, los diámetros utilizados en precorte deben ser inferiores a los empleados en producción. (Quiroz, 2023)

2.2.10. Voladura

La actividad individual o etapa operativa de “Tronadura”, tiene como propósito separar el material requerido desde su ubicación inicial, por lo cual dicho material tronado podría ser cargado y transportado por los equipos de carguío y acarreo (y tratado según se requiera), por lo cual ese material deberá alcanzar una fragmentación y una disposición espacial que simplifique los procesos posteriores previstos. La primera fase de conminución que se aplica al material es la tronadura, por lo cual un buen desempeño de esta contribuirá a un rendimiento óptimo del material en las labores que se ejecuten después (Chambi, 2019).

2.2.10.1. Voladura de contorno

En una disposición habitual de los barrenos conforme al criterio de máxima distancia de menor resistencia viable, los bordes a lo largo de los límites de la tanda quedarán irregulares, fracturados y deformados tras la intensa carga explosiva. Mediante la tronadura de contorno se logra un borde más uniforme, lo cual resulta de gran relevancia en las labores de tronadura de roca, la tronadura de contorno implica que todos los barrenos se ejecutan más próximos entre sí a lo largo de la línea perimetral, que presentan una distancia de menor resistencia más pequeña y que se cargan con menor potencia. Para conseguir una concentración de carga más baja y apropiada a lo largo de toda la extensión del barreno, a menudo se emplean cargas especiales, que consisten en un explosivo relativamente suave, prensado dentro de tubos largos y delgados de plástico que pueden unirse entre sí. (Herrera, 2020)

2.2.10.2. Voladura controlada

El propósito principal es regular la potencia de los explosivos generando planos de corte que se emplean como fronteras, impidiendo que las ondas de choque atraviesen la zona resguardada, para alcanzar el perfil previsto (Zavala, 2017).

2.2.10.3. Voladura de Precorte

El precorte es una técnica orientada a conseguir un nivel de uniformidad en el contomo superior al alcanzado mediante la tronadura de contorno; los barrenos del perímetro se ejecutan con una separación menor que en la tronadura de contorno, 0.3 – 0.4 m de espaciamiento para barrenos de 32 mm y 0.6 – 0.9 m para barrenos de 76 mm. (Herrera, 2020)

La tronadura de contorno y el precorte han pasado a ser un componente habitual de la tronadura en los frentes de trabajo, la causa de ello es la expansión del saber sobre los procedimientos de tronadura y la relevancia de la calidad de la tronadura y el abastecimiento de cargas tubulares apropiadas. Debería indicarse que en gran medida los resultados de la tronadura dependen de la labor de perforación y de la exactitud de esta en relación con la alineación de los barrenos. (Herrera, 2020)

2.2.10.4. Voladura amortiguadora

Este tipo de tronaduras genera dominio sobre la roca fragmentada y su orientación, lo que posibilita que la maquinaria se ubique a una distancia razonable sin demasiado riesgo. Su planteamiento incluye un calibre de barreno menor, burden y espaciamiento en comparación con los barrenos de producción. (Zavala, 2017).

2.2.10.5. Voladura de amplio espaciamiento

La orientación vigente en canteras y explotaciones a cielo abierto se dirige hacia calibres de barrenos más amplios, equipos de mayor tamaño y una reducción de la intervención de la mano de obra. Los diámetros superiores de los barrenos producen distancias de menor resistencia y espaciamientos más elevados, en consecuencia, es un incremento en la frecuencia y en el tamaño de los bloques. Para atenuar este inconveniente se han llevado a cabo ensayos reubicando los barrenos para reducir la frecuencia y el tamaño de los bloques. Lo que sí ha sido analizado es la manera en que cambia la fragmentación de la roca si se modifican la distancia de menor resistencia y el espaciamiento. (Herrera, 2020)

2.2.10.6. Voladura de producción

Corresponden a las tronaduras alejadas de la caja (~50m, variable según faena) que no integran el diseño definitivo del Pit, por lo que no limitan con taludes de diseño. Cabe señalar que las tronaduras de producción pueden ejecutarse tanto en mineral como en estéril, respetando la restricción de distancia respecto a la tronadura de la caja. Su finalidad es separar el mineral de interés del macizo rocoso, además de reducir el tamaño de las rocas garantizando una granulometría que facilite su traslado y cumpla con los requerimientos de chancado y molienda. Cuando estas tronaduras se ejecutan en mineral, producen remanente para las palas, con un lapso de exposición reducido. Aunque la obtención de fragmentación constituye el objetivo principal, estas tronaduras deben ajustarse a los lineamientos de seguridad establecidos por la empresa en cuanto a volumen de material a tronar, umbral máximo de vibraciones permitido y emisión de material particulado. La tronadura de producción, por consiguiente, se distingue por enfocarse en volúmenes superiores de roca, incluir únicamente pozos de producción (pozos del mayor diámetro disponible en la mina), contar con un solo trazado y un elevado factor de carga, por lo que producen un nivel alto de vibraciones. Cabe indicar que los pozos de producción se emplean tanto en tronaduras de contorno como en tronaduras de producción. En el caso de las primeras, su orden de detonación es posterior al de la tronadura de precorte (Bravo, 2018)

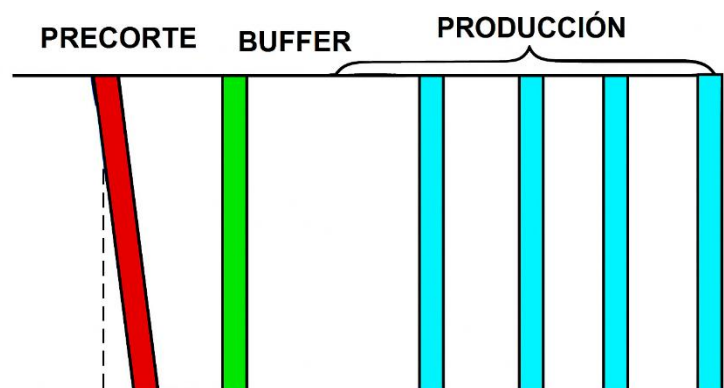


Figura 2. Taladros de precorte, buffer y producción.

Fuente: Bravo (2018)

2.2.10.7. Diseño de voladura en bancos

Para la concepción de la tronadura en bancos integra conceptos de geomecánica, geología y termoquímica que, al llevarse a la matemática para su estructuración, posibilitan obtener la base indispensable para escoger el diseño final que se empleará en evaluaciones posteriores y

optimizaciones, el modelo de la tronadura muestra modificaciones que deben validarse: Químico – Físicas (capacidad, clase de explosivo, densidad, energía), Geométricas (burden, calibre, extensión de carga, separación) y la iniciación (retardo y orden de encendido) (Zavala, 2017).

2.2.10.8. Elementos para el diseño de voladuras en bancos

Son magnitudes empleadas en la determinación y estructuración de disparos. Algunos se consideran fijos o imposibles de regular dentro del estudio y la planificación de disparos, como los asociados a las cualidades físicas del macizo rocoso: densidad, dureza, grado de discontinuidad, etc; mientras que otros son modificables o controlables, es decir, susceptibles de ajustarse intencionalmente conforme a los requerimientos específicos de la labor y a las condiciones propias del terreno. (Exsa, 2019)

Estos parámetros controlables se pueden agrupar en:

- **Geométricos**

Altura.

Ancho.

Longitud del taladro.

Cara libre.

- **De perforación**

Diámetro.

Longitud del taladro.

Malla.

- **De carga**

Densidad.

Columna explosiva.

Longitud de taco.

Características físico – químicas del explosivo.

- **De tiempo**

Tiempos de retardo entre taladros.

Secuencia de salidas de los disparos.

2.2.10.9. Variables de perforación y voladura

Estas variables definen el diseño de un banco de perforación, por lo tanto, tienen importante influencia en los resultados de la voladura, en la siguiente imagen podemos observar la nomenclatura de las variables de un banco de perforación. (Exsa, 2019)

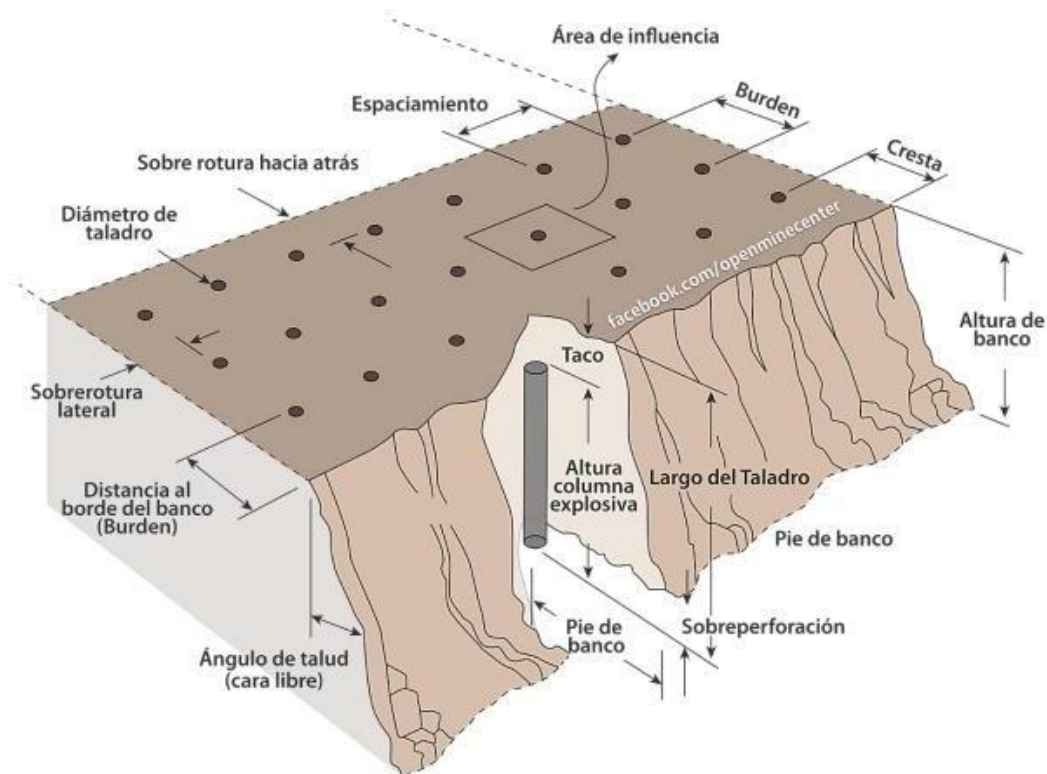


Figura 3. Banco de voladura: Nomenclatura.
Fuente: EXSA (2019)

- **La profundidad del taladro**

Surge de sumar la dimensión de la altura del banco y la sobreperforación apropiada por debajo del nivel del piso para garantizar una tronadura correcta y evitar que queden toes, que afectan el rendimiento del equipo de limpieza y deben ser eliminados mediante tronadura secundaria. La sobre perforación tiene que ser

por lo mínimo de 0,3 veces el valor del burden. (Exsa, 2019).

- **Tamaño de la malla de perforación**

Relación de Burden (separación medida desde el barrenos de forma perpendicular hacia la cara libre más cercana) y espaciamiento entre barrenos (distancia medida entre barrenos de manera paralela a la cara libre). El espaciamiento y el burden de una tronadura deben elegirse para ajustarse a la condición de la roca y al espaciamiento de las discontinuidades. (Exsa, 2019).

- **Diámetro del taladro**

Para seleccionar un diámetro específico del barrenos, siempre se debe considerar la capacidad productiva de la mina y la resistencia de la roca presente en el terreno, teniendo en cuenta que a mayor diámetro se obtiene una mayor cantidad de roca fragmentada, aunque no siempre es así (Zavala, 2017)

- **Inclinación del taladro**

Controlada, como en la perforación radial o en abanico, y desvío del barrenos (sin control, perjudica el rendimiento del explosivo y la fragmentación y el avance). También se deben tomar en cuenta en la planificación de un disparo son el gasto de perforación y el gasto del explosivo, considerando el consumo total de explosivo por metro cúbico o por tonelada de roca removida (factor de carga en kg/m³). (Exsa, 2014).

- **Sobre perforación**

Es la extensión extra perforada con la finalidad de lograr un nivel adecuado del piso y asegurar la granulometría y la disposición correcta del material tronado. Si ocurre que la sobre perforación es reducida no se alcanzará la geometría prevista en el pie del banco, por lo tanto, se realizará una tronadura secundaria con un costo mucho más alto que el estimado. Si ocurre que la sobre perforación es excesiva se presentará un aumento en el nivel de vibraciones, y así una granulometría no prevista y una sobre excavación (Zavala, 2017)

- **Burden**

Se alude a la dimensión del frente, y corresponde a la distancia mínima hacia la cara libre en el momento de la tronadura; la determinación del burden es uno de los parámetros más relevantes y complejos en el diseño de la malla, si el burden resulta excesivo se producirán aberturas en el sector, fragmentación deficiente, problemas de perfil en el pie del banco y, en el caso opuesto, si el burden es muy reducido se originará flyrock, fragmentación excesiva y vibraciones muy elevadas. (Bravo, 2018)

- **Espaciamiento**

Se llama de ese modo, a la separación existente entre los barrenos de una misma hilera; se analiza en función del burden y del tiempo establecido, teniendo presente que si los barrenos se detonan de forma simultánea los espaciamientos deben ser mayores para evitar efectos desfavorables. Si se dispone de espaciamientos demasiado reducidos se producirá fragmentación excesiva y zonas inestables en el talud; por el contrario, si el espaciamiento es amplio se generará una fragmentación deficiente, un perfil inadecuado en el pie del banco y una cara libre irregular (Zavala, 2017).

2.2.10.10. Tipos de taladro

En el diseño de las tramas de perforación y tronadura se consideran parámetros geotécnicos del macizo rocoso como la dureza y las estructuras geológicas presentes, esto con la finalidad de reducir al mínimo el daño sobre los taludes. Del mismo modo, se toman en cuenta las propiedades del explosivo a emplear, el procedimiento de iniciación y la interacción que pueda presentar la carga con el macizo rocoso. (Cornejo y Human, 2020)

Otro elemento de gran relevancia es la interacción que se presenta entre los barrenos al detonar, por ello se debe considerar: los lapsos de tiempo, la clase de arranque y el resultado final previsto. A partir de ello se reconoce que existen tres modalidades de perforación para optimizar la eficiencia del disparo tanto en mineral como en desmonte: Producción, Buffer y Pre – Corte. (Cornejo y Huamán, 2020)

- **Producción**

Son los barrenos principales en la tronadura de bancos, los que contienen la mayor carga y, por lo tanto, presentan un burden y un espaciamiento superior a los de los demás barrenos. Se responsabilizan de la fragmentación central para alcanzar una granulometría adecuada y eficiente para el proceso que sigue en la cadena productiva: el chancado primario. (Cornejo y Huamán, 2020)

Las perforaciones de estos barrenos por lo general se orientan a grandes desplazamientos de material y a distancias razonablemente apartadas de las paredes finales del tajo. Presentan una secuencia de tronadura posterior a los barrenos de precorte debido a que poseen un factor de carga más alto, de este modo previene el daño en los taludes de diseño. (Cornejo y Huamán, 2020)

- **Buffer**

Barrenos que quedan ejecutados inmediatamente después de la última hilera de barrenos de producción (haciendo el conteo desde la cresta hasta el talud final) y antes de la hilera de precorte, presentan una carga operante más reducida, lo cual provoca que el patrón de malla disminuya el burden y el espaciamiento, pero emplea el mismo calibre para mejorar la interacción. (Cornejo y Huamán, 2020)

Estos barrenos se ejecutan en dos hileras paralelas, una destinada a la interacción con la línea de producción y la otra orientada a la disipación de vibraciones al aproximarse a la zona de precorte. Su papel es disminuir la energía a medida que se acerca a la zona de diseño del talud final, por ello su secuencia de tronadura ocurre al término del disparo y contribuyen a la fragmentación del material. (Cornejo y Huamán, 2020)

- **Precorte**

Los barrenos de precorte poseen la secuencia inicial del disparo, ubicados en la última hilera del patrón de tronadura; su factor de carga es considerablemente menor e incrementan el costo de perforación, ya que no se emplean para la fragmentación de la roca. Al estar dispuestos en una sola línea, su Espaciamiento es considerablemente inferior al de los Buffer y se perforan con un calibre menor.

Pueden cargarse o no, ya que se ubican más apartados de la cara libre, llevando únicamente un iniciador y un taco, según la dureza del macizo. En caso de cargarse, su ubicación es alternada en la secuencia. (Cornejo y Huamán, 2020)

Su finalidad es producir un plano de ruptura, separando el banco a tronar del resto del macizo rocoso y reflejando las ondas para impedir la propagación de fisuras preexistentes. Del mismo modo, actúa como vía de escape de gases; su contribución operativa radica en evitar labores adicionales de perfilado de taludes. (Cornejo y Huamán, 2020)

2.2.11. Tipos de ondas en voladura

Las oscilaciones son ondas de carácter armónico que poseen un cierto desplazamiento, velocidad y aceleración. Adicionalmente, al propagarse por un medio no elástico como el macizo rocoso, se amortiguan según el entorno de disipación. Al detonar un explosivo confinado, las oscilaciones se transmiten por el medio de manera esférica y se van reduciendo de forma inversamente proporcional a la distancia recorrida. (Cornejo y Huamán, 2020)

Las ondas predominantes son las internas, dado que son las que alteran en mayor medida el macizo rocoso. Por una parte, se hallan las Ondas P, que se transmiten de forma longitudinal generando la vibración de las partículas en la misma dirección de la onda, su rasgo principal es su capacidad compresiva sobre la masa al presentar mayor amplitud y rapidez. Este tipo de onda es el que ocasiona el mayor desplazamiento y es el que se capta en los monitoreos mediante geófonos. (Cornejo y Huamán, 2020)

Por otra parte, se tienen las Ondas S, que se transmiten de manera transversal respecto al movimiento de las partículas. Estas igualmente reciben el nombre de ondas de cizalla o de corte debido a su capacidad de modificar la forma del macizo rocoso, aunque presentan menor amplitud y rapidez que las predominantes. (Cornejo y Huamán, 2020)

Las ondas superficiales, al tener menor velocidad y potencial de daño, son complementarias a las internas. Existen dos tipos: Ondas Rayleigh R y Ondas Love L. Estas ondas generan un

movimiento elíptico sobre las partículas en la misma dirección de su propagación, tanto en un plano vertical como horizontal. Ambas se atenúan rápidamente en la superficie de acuerdo a las capas de terreno y a la resistencia de las rocas. (Cornejo y Huamán, 2020)

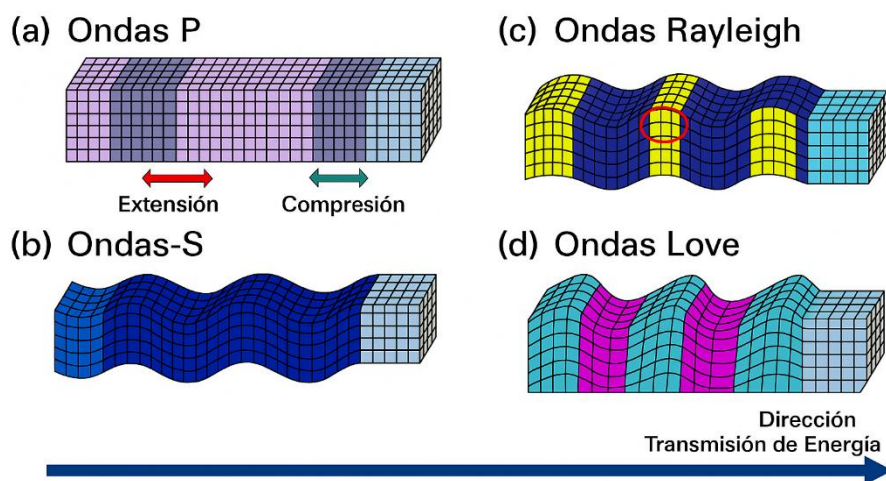


Figura 4. Propagación mecánica de las ondas de cuerpo y superficiales.
Fuente: Saez (2016)

2.2.12. Agentes de voladura

Vilela (2014), nos indica que los agentes de tronadura son aquellos explosivos con baja sensibilidad al fulminante N° 8, por lo que requieren un cebo potenciado o un booster inicial para dar inicio a su detonación. Estos explosivos, a diferencia de los primarios que poseen elevada energía y sensibilidad, se distinguen por entregar un mayor trabajo efectivo, en el sentido estricto de arranque y fragmentación de roca. De esta manera, se tienen los siguientes agentes de tronadura que se emplean en minería a cielo abierto por su alto poder de ruptura y costo reducido.

2.2.12.1. Anfo

López (1994), nos señala que el Anfo constituye una mezcla explosiva de uso industrial cuya utilización se ha difundido a nivel mundial, debido a su seguridad durante la manipulación, su bajo costo y su elevado desempeño energético. Anfo, por sus siglas en inglés, corresponde a Ammonium Nitrate/Fuel Oil, que identifica a los componentes combinados para conformar el agente explosivo. Su formulación está compuesta por 94% de nitrato de amonio y 6% de combustible. El nitrato de amonio es una sal inorgánica, de carácter no explosivo, siendo de uso minero aquel que se produce en forma de partículas esféricas o prills porosos, en consecuencia, es crítica su capacidad de absorción y

retención. El nitrato de amonio sólido empleado en explosivos de tipo simple se proporciona en forma de prills. Dichos prills deben ser porosos y de tamaño uniforme.

2.2.12.2. Alanfo

Debido a que el Anfo presenta una densidad baja, del mismo modo lo son su energía, velocidad de detonación, capacidad de rotura y demás propiedades. Para aumentar esa energía y poder emplear el explosivo en rocas de mayor competencia, se puede incorporar aluminio en forma de polvo o granalla, por lo común entre 5-10% en masa, obteniendo una mezcla denominada Anfo aluminizado, también conocida como Alanfo. (López, 1994)

El aluminio es un combustible de elevada energía que aumenta la liberación energética, en forma de presión y temperatura de detonación. Se genera una menor producción de gases debido a que la reacción del aluminio produce como resultados óxidos sólidos. No obstante, se presenta una presión y temperatura mayores, aspectos decisivos para la fragmentación de la roca. En el siguiente gráfico se observa el efecto de una carga de Anfo Aluminizado frente a una carga de solo Anfo, en función de la energía liberada. (López, 1994)

2.2.12.3. Hidrogeles

Exsa (2014), nos indica que los hidrogeles carentes de material explosivo propio en su formulación no responden al fulminante y se clasifican como “agentes de tronadura hidrogel, slurries o pastas explosivas”, requiriendo un cebo potenciado o primer-booster para iniciar su régimen de detonación de velocidad estable; de lo contrario, no inician o lo hacen a un régimen bajo con velocidades transitorias, entregando un rendimiento energético reducido, razón por la cual al inicio se les llamaba explosivos de seguridad. Se conocen como wáter gels. Sus propiedades son: elevada velocidad de detonación y alta densidad, que les otorgan gran capacidad de ruptura y marcada resistencia al agua, por lo que funcionan como reemplazos sobresalientes del Anfo para la tronadura de rocas tenaces y de barrenos anegados, incluso con agua en movimiento. Su uso se orienta a barrenos de diámetro medio a grande en tajos abiertos, ya sea como carga de fondo potenciadora para barrenos muy confinados y para nivelación de 19 pisos, o como carga total para barrenos con presencia de agua. Generalmente se entregan en fundas o mangas de plástico. Su consistencia es uniforme, viscosa y relativamente pegajosa, así se contienen en barrenos muy fisurados, sin pérdidas por infiltración, lo que asegura conservar el factor de carga estimado, y además posibilita cargarlos al barreno dejándolos caer sin su funda o manga de polietileno. Su densidad elevada

desplaza con facilidad el agua existente en los barrenos. Por otra parte, su viscosidad no es compatible con el carguío mecanizado por bombeo ni con la mezcla con Anfo.

2.2.12.4. Emulsión

La emulsión pura no constituye un agente de tronadura, debido a que no resulta sensible ni siquiera al booster, ya que su densidad es demasiado elevada. Para volverla sensible, puede emplearse un mecanismo físico como la formación de burbujas de gas, las cuales, al comprimirse de manera adiabática, actúan como puntos calientes u hot spots, favoreciendo tanto el inicio como la propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o microesferas de vidrio. (López, 1994)

2.2.12.5. Anfo Pesado

Enaex (2013), define que la combinación de Emulsión y Anfo, que integra las propiedades principales de ambos componentes: elevada energía, adecuada producción de gases, alta densidad y, en ciertos casos, resistencia al agua. Son productos convenientes para tronaduras en superficie, sobre todo cuando es viable el empleo de sistemas mecanizados de carguío, en perforaciones secas o con presencia de agua. La emulsión usada se elabora preparando primero una solución acuosa supersaturada de sal(es) oxidantes y finalmente distribuida en una fase oleosa para formar una emulsión de agua en aceite. La solución de sales incluirá nitrato de amonio, pero también puede incorporar nitrato de calcio o de sodio.

2.2.13. Accesorios de voladura

Esta iniciación del explosivo debe ser la que garantice que la detonación llegue a un régimen que se sostenga durante toda la reacción dentro del barreno. En este punto, un explosivo que no se inicie de manera adecuada provoca que alcance una velocidad de detonación menor a la nominal, pudiendo reaccionar en régimen de deflagración, o incluso llegar a interrumpirse la reacción. En cualquiera de estos casos en los que no se alcanza el régimen nominal de detonación, el trabajo efectuado por el explosivo será muy inferior al previsto. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

En relación con la iniciación de una tronadura, pueden darse esquemas muy variados que vayan desde la activación de unos pocos detonadores hasta configuraciones que involucran cientos de detonadores en grandes voladuras, siendo indispensable una secuenciación correcta para obtener resultados apropiados de fragmentación, el desplazamiento de la masa de material tronado y la compatibilidad con las afectaciones al entorno. (Bernaola, Catilla y

Herrera, 2013) Bajo estos principios de iniciación y secuenciación, se vuelve necesario contemplar un conjunto de componentes que permitan que la detonación de los explosivos comerciales se realice de manera correcta y acorde con el propósito de alcanzar un rendimiento ideal en la excavación mediante el uso de explosivos. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Para explosivos que resulten sensibles a la acción de un detonador, la iniciación puede efectuarse insertando un detonador dentro de un cartucho, al que se denominará cartucho cebador, y que estará en contacto con el resto de la carga. También puede realizarse fijando un cordón detonante a la carga explosiva, el cual a su vez se activará con un detonador, transfiriéndose la detonación a dicha carga. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

En el caso de explosivos que requieran una energía de iniciación mayor a la suministrada por un detonador, se utilizarán elementos que garanticen la detonación, como sucede con los multiplicadores de pentolita (PETN+TNT) o cartuchos de otro explosivo. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

- **Sistemas de iniciación de voladura**

Los distintos métodos de iniciación, denominados detonadores, pueden utilizarse tanto en tronaduras a cielo abierto como en labores subterráneas y tienen como objetivo activar los explosivos dentro del barreno, o bien el cartucho cebador o multiplicador que provoque la detonación en su interior. Como se apreciará más adelante, algunos tipos de detonadores poseen un uso mucho más limitado y se destinan a aplicaciones concretas, como ocurre con los detonadores convencionales. La selección de cada tipo de detonador estará condicionada por los requerimientos de secuenciación, las características del entorno y la facilidad para efectuar las conexiones, entre otros aspectos. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.1. Detonadores ordinarios

Son aquellos que se activan mediante mecha lenta. La mecha lenta se inserta en el extremo abierto de una cápsula de aluminio que contiene la carga explosiva del detonador y se engarza con unas pinzas especiales, de manera que se evite que la mecha se desprenda durante su manipulación. Se emplea, por lo tanto, únicamente en tronaduras de roca ornamental. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

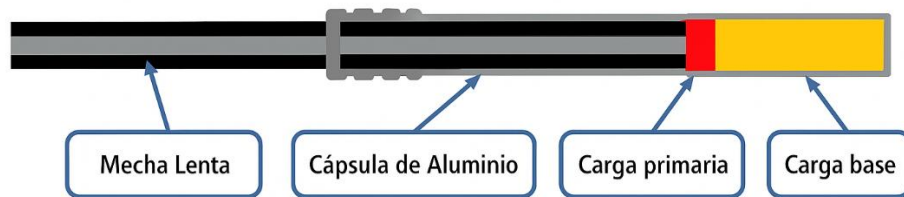


Figura 5. Detonadores ordinarios
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.13.2. Detonadores eléctricos

El detonador eléctrico utiliza energía eléctrica para su activación. El detonador eléctrico incorpora un iniciador pirotécnico (conocido comúnmente como “cerilla”), por el cual circula la corriente eléctrica, provocando la iniciación de la carga explosiva. El iniciador o cerilla es una pequeña resistencia recubierta con pasta explosiva. Esta resistencia, también llamada puente incandescente, se conecta a los hilos de enlace y, por medio de ellos, recibe la corriente eléctrica. Si el amperaje resulta lo bastante elevado el filamento se recalienta, hasta llegar a un grado térmico, que ocasiona el encendido de la mezcla detonante del iniciador. Hay dos categorías principales de iniciadores eléctricos: los iniciadores inmediatos y los de retardo. La distinción entre los dos radica en que los iniciadores eléctricos con retardo incorporan una vaina entre el encendedor que contiene una composición pirotécnica que arde a una rapidez fijada. A esta vaina se le llama portaretardo, siendo el material que alberga en su interior la carga retardante. De esta manera, con la mezcla de distintas extensiones y formulaciones de la carga de retardo, se puede conseguir iniciadores que se activan en distintos momentos de iniciación, aportando así las combinaciones requeridas para la secuenciación de barrenos de una voladura. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

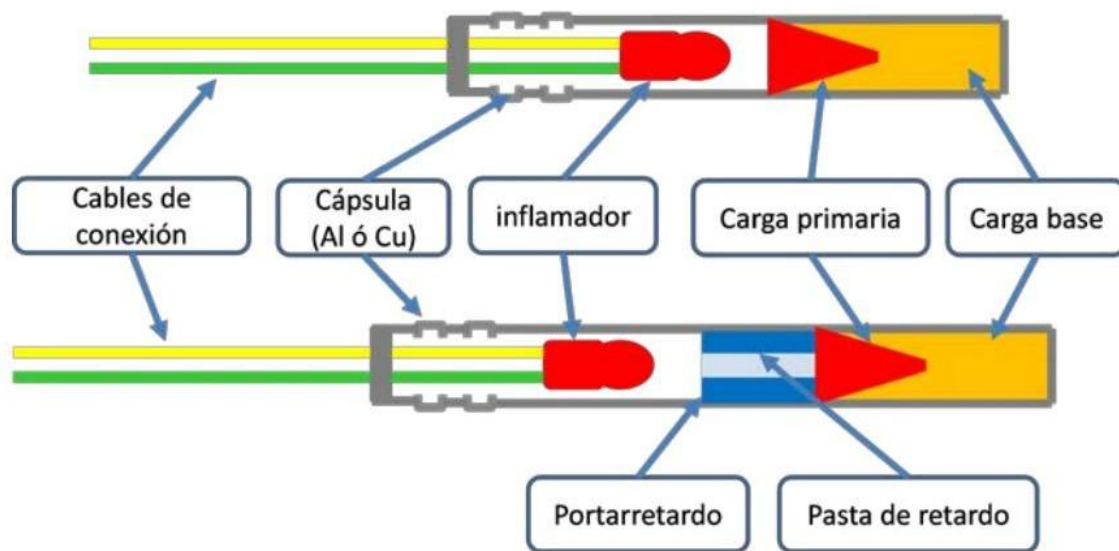


Figura 6. Detonadores eléctricos
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.13.3. Detonadores no eléctricos

Los iniciadores no eléctricos se distinguen debido a que no participa ninguna clase de corriente eléctrica en su activación. La sección detonante es equivalente a la de los iniciadores eléctricos, pero en vez de un encendedor pirotécnico la carga portarretardo se pone en marcha mediante una onda de choque de energía reducida que se propaga por un tubo de conducción. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

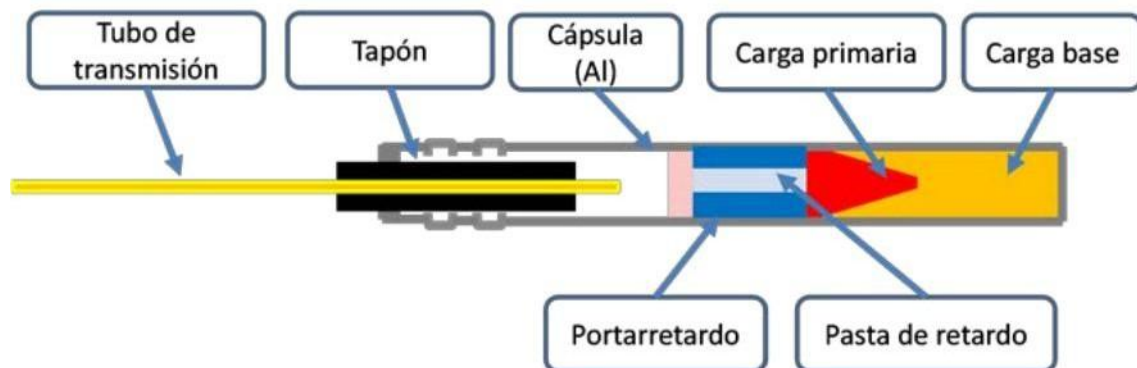


Figura 7. Detonadores no eléctricos.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.13.4. Detonadores electrónicos

Los iniciadores electrónicos constituyen la más reciente transformación de los mecanismos de activación para voladuras. Su progreso se inició hace muchos años, aunque aún el empleo de esta clase de sistema se mantiene enfocado en determinadas aplicaciones donde se

persiguen efectos concretos. La distinción esencial entre el iniciador electrónico y cualquier otro, sea eléctrico o sea no eléctrico, consiste en que la mezcla pirotécnica que define el lapso de retardo fue reemplazada por un circuito electrónico, en el que un microchip asume la función de ejecutar la descarga de un condensador en el momento requerido. En las demás variantes de iniciadores, el retardo queda establecido por el intervalo que demora en agotarse una mezcla pirotécnica. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.5. Cordon detonante

Una mecha detonante es una guaya maleable e incombustible al agua que alberga en su interior un explosivo llamado pentrita, cuya rapidez de detonación alcanza 7.000 metros por segundo; la mecha detonante se usa principalmente para transferir a los explosivos situados en los barrenos la detonación iniciada por un iniciador. Ciertas clases de mecha detonante (las de mayor gramaje) pueden emplearse como explosivo primario para el carguío de barrenos de voladura. El cordón detonante igualmente se distingue por su energía, la cual guarda una vinculación inmediata con la cantidad de pentrita por metro lineal de cordón y dicha energía es la que define la clase de uso específico. Hoy en día, los cordones detonantes de utilización más difundida presentan cargas de explosivo por metro que van de 3 a 100 gramos. Los cordones detonantes poseen dos clases de usos: funcionar para la activación de explosivos dentro de una voladura y/o funcionar como explosivo para la realización de la misma voladura. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.6. Relé de microrretardo

Con la utilización del cordón detonante, solo se puede ejecutar voladuras inmediatas, lo que en determinadas circunstancias puede convertirse en un inconveniente relevante por el grado de vibraciones que se generan. Para sortear esta dificultad fue que aparecieron los relés de microrretardo, los cuales son unos dispositivos que, colocados entre dos segmentos de cordón detonante, detienen la detonación de este por 15 o 25 milisegundos según la clase de relé, originando un efecto retardado, en las voladuras interconectadas con cordón detonante, parecido al brindado por los iniciadores eléctricos de microrretardo. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)



Figura 8. Relé de microrretardo.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.13.7. Multiplicadores

Los reforzadores (igualmente llamados boosters) son cebadores de voladura que se emplean para activar explosivos de baja susceptibilidad, como pueden ser anfo, hidrogeles o emulsiones, ya sea que se utilicen en formato encartuchado o a granel. Están conformados por un cilindro de pentolita que queda recubierto con una envoltura de cartón. La pentolita es un explosivo de elevada energía elaborado a partir de una mezcla de petrita y de TNT, que presenta una velocidad de detonación también elevada, ubicada alrededor de los 7.500 m/s. El reforzador incorpora unos conductos axiales que están circundados por petrita. Es a través de estos conductos por donde atraviesan los accesorios que los activarán: cordón detonante, iniciadores. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.8. Mecha lenta

La mecha retardada está constituida por un corazón de pólvora negra recubierto con diversas capas de trenzados y compuestos impermeabilizantes que la vuelven resistente a la humedad, la fricción y las sollicitaciones mecánicas. Por lo general se emplea para la activación de iniciadores comunes y de la pólvora de mina. La combustión de la mecha transmite la llama a una rapidez uniforme de dos minutos por metro lineal. Esta rapidez es la fijada por el

fabricante, pero un uso inadecuado o una conservación deficiente puede ocasionar que sea más alta o más lenta. La quema de la mecha retardada se encuentra condicionada en gran proporción por la presencia de humedad. Si la mecha retardada se halla húmeda, la rapidez de combustión se reduce, y si se encuentra excesivamente seca, puede prender a una velocidad muy superior a la prevista en su diseño. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

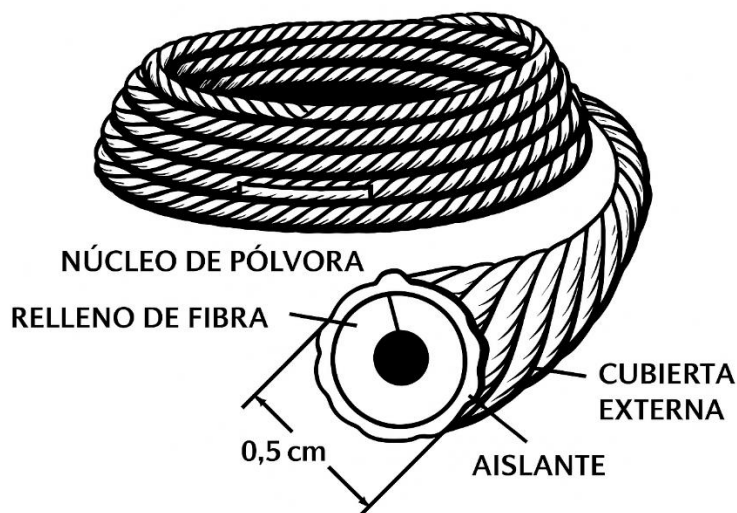


Figura 9. Mecha lenta.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.13.9. Otros accesorios no explosivos

Para posibilitar la activación de los explosivos, se requiere suministrar energía al sistema de iniciación respectivo. Dicha energía se consigue mediante los llamados explosores. En este punto resultan relevantes los explosores eléctricos de condensador, y los explosores, o activadores, para iniciadores no eléctricos. Asimismo, en las voladuras con iniciadores eléctricos es preciso el empleo de ohmímetros para la verificación del circuito de voladura. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.10. Explosores eléctricos

Se llama explosores a los equipos productores de corriente eléctrica que se emplean para activar las voladuras con iniciadores eléctricos. Los explosores representan el procedimiento más lógico para alimentar energéticamente una voladura, ya que presentan la ventaja, frente a otras fuentes de energía, de que en cada disparo entregan únicamente una porción de energía controlada, evitando así los peligros de accidentes que pueden generar otros métodos de encendido. Los explosores suministran la energía de la manera más adecuada para la

activación correcta de los iniciadores. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.11. Ohmetros

Un ohmímetro es un dispositivo orientado a cuantificar resistencias. Resulta indispensable en voladuras eléctricas, ya que permite al artillero verificar y medir el circuito de voladura, indagar fallas de continuidad en iniciadores, evaluar aislamientos, derivaciones. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.13.12. Sistemas de iniciación no eléctrica

Las voladuras con iniciadores no eléctricos requieren activarse con mecanismos de iniciación distintos a los explosores eléctricos. En estos supuestos, se debe aportar la energía al extremo de un tubo de transmisión de forma que se garantice que se pone en marcha adecuadamente. Esta energía puede conseguirse por diversos procedimientos: una descarga eléctrica o una energía reducida que suministra un pistón de caza. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)



Figura 10. Sistema de iniciación eléctrica.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)



Figura 11. Sistema de iniciación no eléctrica.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.14. Mecanismo de fragmentación de la roca

Enaex (2014), nos precisa que la etapa primaria de un procedimiento de fragmentación, en la que los componentes esenciales de un explosivo (carburantes y oxidantes), se transforman de inmediato en gases de elevadas presiones y temperaturas. Próxima a una reacción atómica, la detonación constituye la reacción química más veloz que se conoce. Esta compresión, denominada presión de detonación, depende sobre todo de la densidad y de la VOD del explosivo. El lapso temporal requerido para culminar la detonación es de unos cuantos microsegundos para una carga esférica reducida y de milisegundos para una carga cilíndrica extensa. Otros elementos que inciden en el tiempo de detonación son las configuraciones geométricas, las dimensiones y la VOD de la carga.

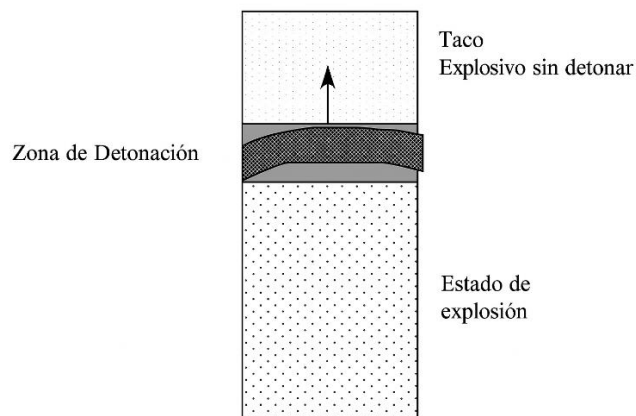


Figura 12. Proceso de detonación.

Fuente: Enaex (2014)

En la detonación de un explosivo podrían diferenciarse dos fases:

- **Una primera fase**

Expresada por la existencia de una onda detonante de velocidad variable, rasgo distintivo en amplia medida de la capacidad fracturante del explosivo.

- **Una segunda fase**

Representada por la formación de un gran volumen de gases a elevada temperatura.

Cuando el explosivo está contenido dentro de un barreno y detona, se origina una onda detonante que se difunde a través de la roca aledaña. En un punto cercano al barreno dicha onda detonante provoca un efecto de compresión al alcanzarlo, pero al rebasarlo, esa sollicitación se transforma en una sollicitación de tracción. Esta onda inicial de choque atraviesa la roca aledaña a velocidades comprendidas entre 3.000 y 5.000 m/s. Esta transición de compresión a tracción puede ilustrarse mediante, para el supuesto de un barreno taladrado en un macizo rocoso sin cara libre. La resistencia a tracción de la roca se sitúa en el rango de 10 a 100 veces inferior a su resistencia a compresión. Resultará más sencillo, por consiguiente, provocar su fractura por un efecto a tracción. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Con esta consideración puede decirse que la fragmentación de la roca se debe a estos dos fenómenos:

- Reflexión de las ondas de compresión
- Expansión de los gases

Cuando una onda compresiva arriba desde un medio con mayor impedancia característica hacia otro con impedancia menor, una fracción se propaga en este último como onda de compresión, mientras que otra fracción se refleja en sentido contrario como onda de tracción. Para examinar el mecanismo de fisuración de la roca, puede efectuarse una prueba que consiste en la detonación de un solo barreno, sin la presencia de ningún tipo de cara libre, de manera que se determina que en el sector adyacente al barreno se han generado los fenómenos siguientes. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

- Aumento del diámetro del barreno por fractura plástica de la roca, originado por la acción compresiva de la onda detonante. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)
- Creación de fisuras (a veces microfisuras) generadas por ese efecto de tracción de la onda de detonación. Estas fisuras son de tipo radial y a veces muy difíciles de observar. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

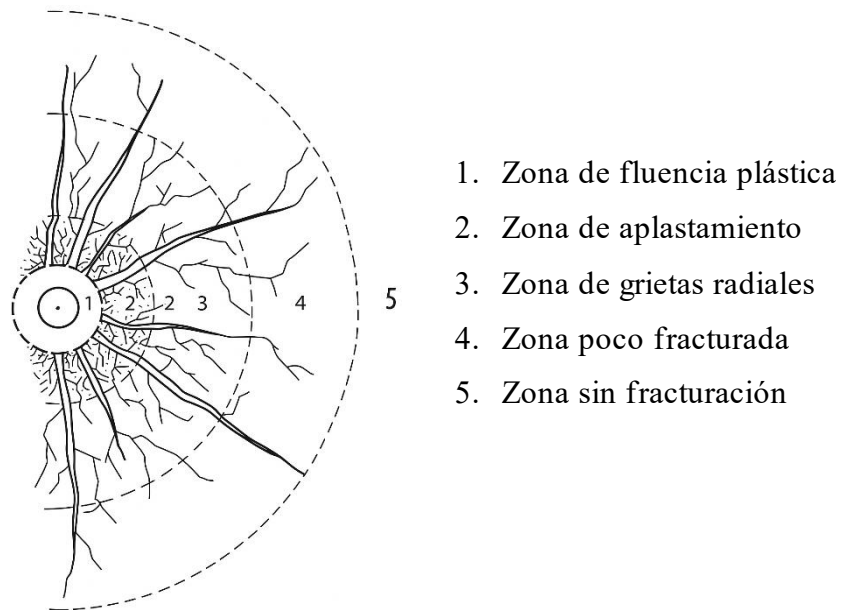


Figura 13. Tipos de fisuras en las proximidades del barreno
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

Esta fase inicial resulta fundamental para la fragmentación de la roca. En ella se utiliza la porción de energía del explosivo asociada a la onda de detonación, la cual no supera el 10 % de la energía total del explosivo, ni siquiera en el caso de explosivos con alto poder rompedor. Cuando existe una cara libre en las cercanías del barreno, la onda de choque se refleja en dicha superficie, generando sobre ella un esfuerzo de tracción, lo que otorga a la roca una posibilidad de desplazamiento que favorece la expansión del radio de fisuración y el descascaramiento del material rocoso en esa cara libre, alcanzando mayor profundidad cuanto mayor es la carga y su nivel de confinamiento, mayor la energía y capacidad fracturante del explosivo y menor la separación respecto a la cara libre. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

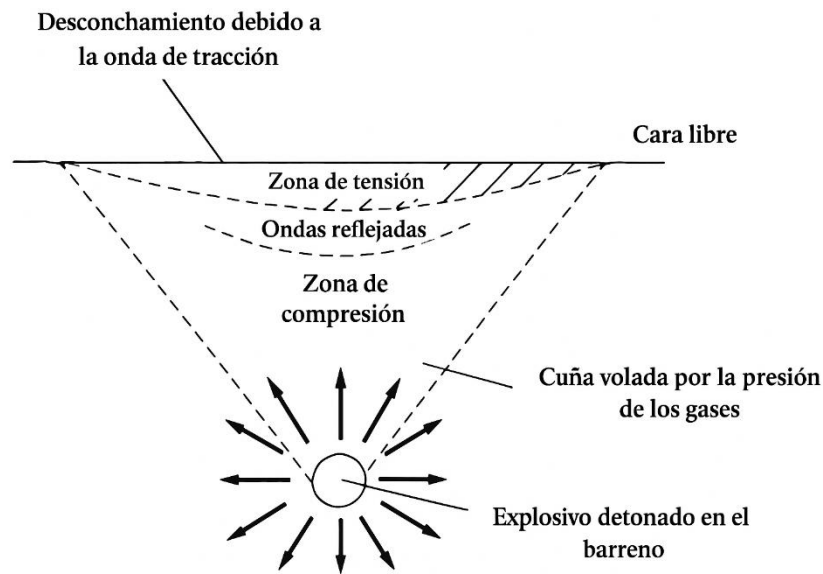
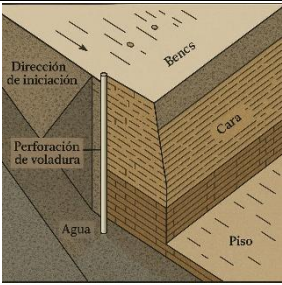
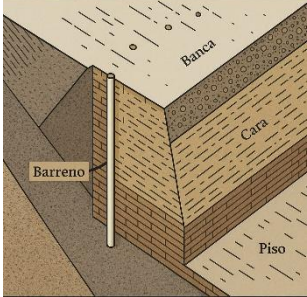
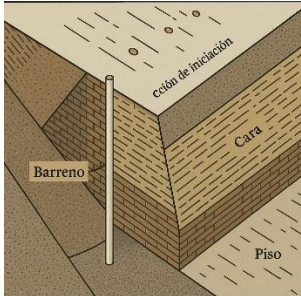
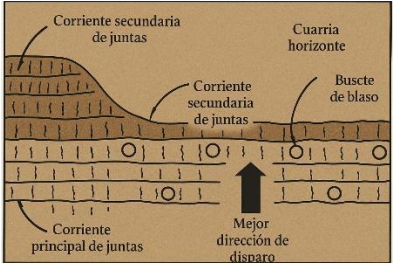


Figura 14. Agrietamiento debido a la tracción generada por la onda reflejada.
Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.15. Factores que influyen en el mecanismo de rotura de la roca

Dentro del proceso de ruptura de la roca intervienen múltiples elementos que ejercen una incidencia directa sobre la fragmentación del macizo rocoso, pudiéndose identificar manifestaciones distintas. Estos elementos pueden clasificarse en aquellos inherentes a la propia roca o en aquellos vinculados a las características de los explosivos que se emplean; sin embargo, en una voladura no resulta factible modificar los primeros (el macizo rocoso), por lo que la obtención de resultados satisfactorios dependerá siempre de la adecuada selección del explosivo más conveniente para cada clase de roca. Aparece con frecuencia la discusión sobre cuál sería la clase de explosivo más conveniente, existiendo múltiples posturas, pero el reto no radica en elegir el “mejor” explosivo, sino en seleccionar el más apropiado para el macizo rocoso que se va a volar. Otro rasgo relevante de la roca es su vínculo con el modo de fractura, lo cual se entiende por su disposición o estratificación, que es propia del macizo rocoso. La presencia de planos de discontinuidad, grietas en la misma roca, o su conformación en capas, simplifica la acción de los gases de voladura al operar en ellas, además de sobre las generadas por la propia onda detonante. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Tabla 1. Influencia de la estratificación del macizo rocoso en la voladura

ESTRATIFICACIÓN	POSIBLES EFECTOS	FORMA
Buzamiento hacia el frente	Sobre excavación en cresta de banco	
Buzamiento hacia atrás del frente	Posible repié	
Paralela a los estratos	Estratos de distinta dureza: frente irregular	
Perpendicular a los estratos.	Dirección óptima de salida de la voladura	

Fuente: Bernaola, Catilla y Herrera (2013)

2.2.16. Influencia de las características de los explosivos

Cada clase de explosivo posee una composición distinta que le confiere un desempeño igualmente distinto cuando es activado de forma correcta. Los parámetros que ejercen una influencia más marcada en el proceso de fragmentación de la roca se describen seguidamente. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

- **Presión de detonación**

Según la fórmula de estimación de la presión de detonación, las presiones detonantes más altas se asocian a explosivos de gran densidad y aumentan con el cuadrado de la velocidad de detonación. Dado que esta presión de detonación es la causante de esa fisuración inicial, la misma debe resultar más eficaz en explosivos de elevada capacidad fracturante. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

- **Volumen de gases**

De manera semejante a lo que ocurre en la fase de fisuración con un explosivo de elevada velocidad de detonación, la etapa posterior en la fragmentación de la roca está condicionada en mayor proporción por la cantidad de gases generados por el explosivo. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

- **Impedancia**

La onda detonante se transfiere con mayor eficiencia a la roca cuanto más se aproxima la impedancia del explosivo a la de la roca; para seleccionar el explosivo más apropiado se debe equiparar la impedancia de la roca con la del explosivo. Se infiere que rocas más blandas requieren explosivos de menor velocidad de detonación, mientras que rocas más duras demandan explosivos de elevada velocidad de detonación. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

2.2.17. Costos

La extracción minera, del mismo modo que la metalurgia, constituyen actividades empresariales y uno de sus propósitos es generar rentabilidad, por ello comprender los costos es un instrumento esencial para la administración acertada de la organización. Asimismo, toda determinación relevante dentro de la empresa se refleja en los costos, por lo cual resulta importante, para una toma de decisiones adecuada, un estimado exhaustivo de costos que permita programar la producción, los procedimientos, el funcionamiento correcto y la conducción apropiada de la empresa. (Montesinos, 2020)

2.2.17.1. Clasificación de los Costos

Hay tantos tipos de costos que su manera de categorizarlos es muy variada; por lo general se van reuniendo según se desarrollen los procesos operativos, separándolos desde la inversión

inicial de la empresa, la elaboración y la distribución hasta la comercialización del producto, y gracias a ello existe un acuerdo de clasificaciones entre autores, aunque esa variedad crece con el paso del tiempo. (Montesinos, 2020)

Tabla 2. Clasificación de costos de perforación y voladura.

CLASIFICACIÓN	TIPOS DE COSTOS
La función que incurre	Producción
	Venta
	Administrativos
	Financieros
Su identificación	Directos
	Indirectos
El periodo en que se llevan el estado de resultados	Producto o costos inventariables
	Periodo o costos inventariables
El comportamiento respecto al volumen de producción	Fijos
	Variables
	Semifijos o mixtos
El momento en que se determina los costos	Históricos
	Predeterminados

Fuente: Montesinos (2020)

2.2.17.2. Costos Fijos o Variables

- **Costos Fijos**

Estos corresponden a los gastos (constantes), dentro de un lapso planificado, se mantienen estables, sin depender de las variaciones que ocurran en el volumen de actividades, aunque sí pueden modificarse por otros elementos externos. Estos suelen ser, por lo general, recurrentes, como los desembolsos por servicios.

- **Costos Variables**

Son los costos que varían en vínculo directo con el nivel de la producción total; en su mayoría corresponden a los suministros y a la materia prima de un bien, aunque también existen otros aplicables a los servicios. Estos costos son los que implican el desembolso más alto de la empresa cuando la producción es a gran escala.

- **Costos Semivariantes**

Estos costos son recientes y adquieren cada vez mayor relevancia dentro de las organizaciones. Son aquellos que conservan un importe fijo hasta cierto umbral; cuando dicho umbral se excede, comienzan a modificarse en proporción al nivel de utilización. Un ejemplo actual es el servicio de internet, el cual incluye una cantidad establecida de datos por un monto de dinero, pero al superarla ese valor se incrementa según se vayan consumiendo los datos. (Montesinos, 2020)

2.2.17.3. Costos Directos o Indirectos

- **Costos Directos**

Son aquellos que se encuentran involucrados en una unidad elaborada; como los desembolsos por materia prima, fuerza laboral y cualquier costo adicional que esté presente en el proceso de fabricación, como la distribución.

- **Costos Indirectos**

Resultan complejos de reconocer; se denominan indirectos porque aunque no forman parte de la unidad elaborada, guardan relación con su fabricación. Por ejemplo, las remuneraciones de la dirección (Montesinos, 2020)

2.2.17.4. Indicadores Económicos

Los indicadores financieros son los que analizan la dimensión económica de cualquier proyecto, apoyan la toma de decisiones y determinar su factibilidad a largo plazo.

- **Relación beneficio costo**

Este procedimiento considera el valor del dinero a lo largo del tiempo; corresponde a la relación porcentual entre los ingresos y los desembolsos del proyecto, mediante la cual se obtiene el monto que se genera por cada unidad monetaria invertida. (Montesinos, 2020)

2.2.17.5. Flujo de caja

Es una herramienta de supervisión de la alta dirección, la cual permite apreciar tanto los ingresos como los desembolsos de una organización y posibilita proyectarse hacia el futuro. Se elabora en un intervalo específico (días, meses, años). (Montesinos, 2020)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Combustión: La combustión es una reacción química de oxidación en la que, por lo común, se libera una cantidad considerable de energía. La rapidez de reacción es inferior a 1 m/s y la reacción puede apreciarse a simple vista en forma de llama. (Montesinos, 2020)

Conductividad: Existen formaciones rocosas que presentan determinado nivel de conductividad, como los sulfuros complejos o las magnetitas, en las cuales pueden producirse pérdidas de corriente cuando se introducen los iniciadores dentro de los barrenos, cuando son abrasivas o cuando hay presencia de agua.

Detonación: La detonación es una combustión supersónica que genera una onda de choque. En dicho frente ondulatorio se producen elevados gradientes de presión y temperatura, ya que la reacción química ocurre de manera inmediata. (Montesinos, 2020)

Estabilidad: Los explosivos deben mantenerse químicamente estables y no experimentar alteraciones ni procesos de degradación. Este criterio suele verse influenciado por la duración y el sitio en que se realice su almacenamiento. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Potencia y energía: La potencia de un explosivo se entiende como el volumen de energía que posee y el trabajo, o las acciones mecánicas, que es capaz de producir después de su detonación. (Gonzales y Peña, 2016).

Presión de detonación: La presión de detonación está determinada por la densidad y por el cuadrado de la velocidad de detonación y por los componentes que integran el agente explosivo. (Gonzales y Peña, 2016).

Sensibilidad: La sensibilidad es la aptitud de respuesta de un explosivo ante estímulos externos que provoquen su activación. Dentro de esta propiedad se deben contemplar dos clases de acciones, unas reguladas y otras no controladas. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013)

Velocidad de detonación: Es la rapidez con la que la onda detonante se desplaza a través del explosivo o a lo largo de una columna explosiva, ya sea en condiciones abiertas o bajo confinamiento dentro de un taladro de voladura; es el parámetro que determina la cadencia de liberación de la energía. (Bernaola, Catilla y Herrera, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

La unidad minera Cerro Corona se encuentra ubicada en la región de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, en los caseríos de Tingo y Coymolache.

3.1.2. Política

La unidad minera Cerro Corona, se ubica al sureste de la provincia de Hualgayoc, a 84.5 km aproximadamente de la carretera Cajamarca – Hualgayoc, tiene una altitud de 2850 a 3000 m s. n. m.

3.1.3. Accesibilidad

El acceso desde la ciudad de Cajamarca hacia la provincia de Hualgayoc tiene un trayecto que se desarrolla en una vía asfaltada de 84.5 km hasta el punto de garita principal de Gold Fields.

Tabla 3. Acceso a la unidad minera Cerro Corona.

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo	Tipo de vía
Cajamarca – Gold Fields	84.5	2h 20 min	Asfaltada
Hualgayoc – Gold Fields	3.4	10 min	Asfaltada

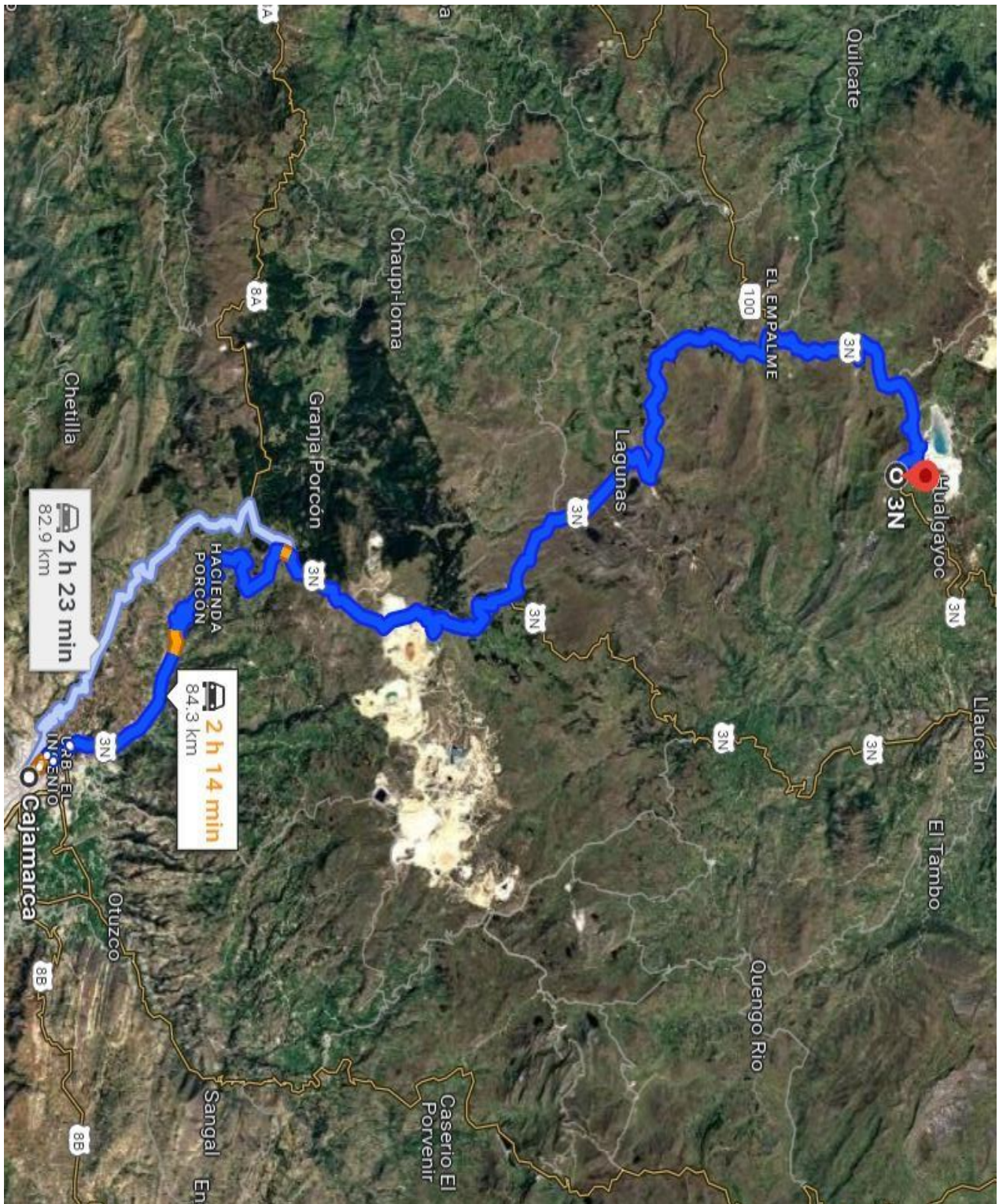


Figura 15. Acceso a la zona de investigación (Ruta Cajamarca – Cerro Corona).
Fuente: Google Earth (2025)



Figura 16. Acceso a la zona de investigación (Ruta Hualgayoc – Cerro Corona).
Fuente: Google Earth (2025)

3.2. PROCEDIMIENTO

3.2.1. Metodología

- Tipo de investigación

De acuerdo con la finalidad de la investigación, el estudio se ajusta a un tipo descriptivo, por lo cual recopilaremos información en campo, evaluaremos y describiremos los resultados de la perforación y voladura del precorte en la fase 8C, y es transversal en el tiempo, dado que obtuvimos los datos antes y durante la perforación y la voladura.

- Diseño de investigación

Para esta investigación, el diseño es no experimental, dado que se buscó recopilar datos de campo y se examinaron esos datos en gabinete, sin alterar las variables de estudio.

- Método de investigación

Se utilizó el método descriptivo, por lo que se evaluaron los datos de campo recolectados, tal como se expone en la tabla N° 4.

Tabla 4. Tipo y clasificación de la investigación

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Según el nivel	Descriptiva
Según el diseño	No experimental
Según la finalidad	Aplicada
Según el período	Transversal en el tiempo

Fuente: Sánchez (2019)

3.2.1.1. Población de estudio

La población de estudio es la Mina Gold Fields La Cima S.A.

3.2.1.2. Muestra

La muestra de investigación es la perforación y voladura de los proyectos P3640-067, P3650-105 y P3660-112 del tajo Cerro Corona.

3.2.1.3. Unidad de análisis

Es el diseño de malla precorte de la fase temporal de minado 8 C.

3.2.2. Definición de variables

3.2.2.1. Independientes

Optimización de costos de perforación y voladura de precorte.

3.2.2.2. Dependientes

Fase temporal 8C.

3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.2.3.1. Técnicas

Para la ejecución de la investigación se emplearon diversas técnicas de levantamiento de datos, como la técnica de la inspección, la cual permitió la apreciación en campo de las diferentes zonas de perforación, además de posibilitar la revisión y el conteo de la cantidad de iniciadores que se usó en los proyectos. Otra de las técnicas fue el registro de coordenadas con GPS en el sistema UTM, Datum WGS-84, para graficar los distintos planos (localización, geológico, satelital). El registro fotográfico sirvió como sustento del trabajo en campo y como una referencia más clara del área de investigación. Finalmente, se aplicó el análisis y la interpretación de resultados, con el fin de alcanzar la optimización de la perforación y voladura en los diferentes proyectos.

3.2.3.2. Instrumentos

Uno de los instrumentos que empleamos para esta investigación fue una guía de registro de datos, la cual nos permitió obtener los parámetros de perforación y, asimismo, consignar la cantidad de explosivos de los distintos proyectos; otros instrumentos que utilizamos fueron los equipos de medición (GPS diferencial y colectora), los cuales nos ayudaron a delimitar el proyecto y también a establecer los parámetros de la malla de perforación; además, se usó otra herramienta consistente en una guía o informe de perforación y voladura, la cual nos permitió reconocer los taladros perforados y cargados; igualmente, se empleó una wincha de fibra de vidrio para obtener las alturas reales perforadas.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

Cerro Corona exhibe una intrusión intrincada compuesta por seis pulsos de cuarzo diorita y diorita de tipo porfirítico, con una geometría cilíndrica y una disposición subvertical que se orienta entre 80° y 85° hacia el sector sureste. El episodio inicial, que corresponde al de mayor desarrollo, se relaciona con las calizas pertenecientes a la Formación Yamagual, las

cuales experimentaron un proceso de marmorización. Esta interacción generó la aparición de cuerpos de exoskarn de carácter retrógrado que muestran anomalías relevantes de Au y Cu, particularmente en el flanco oriental del tajo. Estas manifestaciones geológicas permiten inferir un escenario mineralógico de notable interés que podría resultar significativo para investigaciones de exploración y valoración de recursos.

En Cerro Corona se identifican tres eventos intraminerales destacados.

- Evento Temprano: Presenta vetillas paralelas en la parte alta, junto con un stockwork formado por vetillas de cuarzo y molibdenita
- Evento Intermedio 1: Este evento se caracteriza por vetillas irregulares compuestas de magnetita, especularita, pirita y calcopirita, con bornita como un componente menos frecuente.
- Evento Intermedio 2: Aquí, las vetillas están compuestas por cuarzo, pirita y calcopirita, rodeadas de halos de sericita y clorita.
- Evento Tardío: Se observa la presencia de vetillas de cuarzo y magnetita, que cortan todas las vetillas anteriores, indicando un proceso de mineralización más reciente.

Estos episodios intraminerales brindan una perspectiva atractiva acerca del desarrollo del sistema mineral y de su capacidad potencial para albergar recursos de valor significativo.

La zonación vertical de la alteración hidrotermal en Cerro Corona presenta un patrón claro.

- Alteración Potásica: Este es el primer tipo de alteración, caracterizada por condiciones de alta temperatura y posteriormente se observa una alteración biotítica.
 - Alteración Argílica 1: Compuesta por cuarzo, illita, sericita, caolín y esmectita, esta alteración se superpone a la potásica y se forma a partir de fluidos progresivos de menor temperatura.
 - Alteración Argílica 3: Similarmente, está formada por cuarzo, montmorillonita e illita (con caolín presente en ocasiones), también sobrepuesta a las alteraciones potásicas.
- Silicificación Tardía: Esta ocurre después de las alteraciones anteriores y está controlada por estructuras verticales, lo que sugiere un proceso mineralizante más reciente.

- Alteración Argílica 2: Esta es supérgena y se compone de montmorillonita, clorita e illita en menor proporción.

Este patrón de zonificación señala una trayectoria hidrotermal compleja, la cual podría resultar determinante para la prospección de recursos minerales en el área. (Ordoñez, 2020)

3.4. ALTERACIONES

En Cerro Corona se reconoce un pórfido característico de Cu-Au y se ubica en el norte del Perú. La geología en torno al yacimiento está conformada por una serie de intrusivos porfiríticos de naturaleza diorítica del Mioceno, los cuales cortan una sucesión de calizas cretácicas. En el área también se presentan intrusivos porfiríticos dioríticos, monzodioríticos y granodioríticos. La diorita de Cerro Corona está constituida por un conjunto de seis stocks y solo cuatro de ellos generaron alteración hidrotermal en las rocas colindantes, junto con mineralización. El cuerpo intrusivo de mayor extensión corresponde al primero, el cual ocasionó alteración en las calizas aledañas, aunque sin mineralización de interés económico. La alteración y la mineralización son propias de un pórfido de Cu-Au, con presencia de alteración potásica, propilítica y, en menor medida, filica. La alteración argílica se ha impuesto sobre las alteraciones previas. La silicificación se expresa mediante un stockwork compacto de vetillas. En los niveles superiores del yacimiento aparece una alteración argílica avanzada, la cual está controlada por la estructura y ha sobreimpreso parte de la mineralización asociada al pórfido. Debido a dicha sobreimpresión, la alteración presenta límites transicionales con las demás alteraciones. La principal mena de cobre es la calcopirita; en menor proporción aparecen bornita, covelina y calcocita. Los minerales auríferos incluyen oro nativo y un contenido menor de electrum. La pirita está presente en todo el yacimiento y no evidencia un zonamiento como el que se observa en otros pórfidos de Cu-Au.

Cerro Corona se encuentra en actividad desde julio del 2008 y cuenta con recursos calculados de 3.05 Moz de oro a 0.81 g/t y 108 Mt de cobre a 0.42 %, además de reservas de 1.75 Moz a 0.9 g/t de oro y 60.5 Mt de cobre a 0.47 % (Gold Fields Ltd.). El entendimiento de su mineralogía se ha ampliado con el transcurso de los años. Los trabajos iniciales fueron de carácter cualitativo y se enfocaron sobre todo en la descripción de la litología y, hasta cierto punto, en la mineralización). (Baumgartner, 2016)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ESPECIFICACIONES DE PERFORACIÓN

En la unidad minera de Cerro Corona se utiliza dos equipos de perforación, tanto perforadora DM45 y Rock Drill.

La perforadora DM45 se utiliza para los taladros de Producción, Buffer, y la perforadora Rock Drill se utiliza para los taladros de Precorte.

- DM45

Para la perforadora DM45 se utilizará brocas Triconicas de 7 7/8", Bit Sub de 6 1/2", Rotary Deck Bushing 7 7/8", dos Drill Piper 6 1/2"X30' y Top Sub 6 1/2", y así se tendrá la columna completa de perforación.



Fotografía 1. Perforadora DM-45 – Proyecto P3650-105

- Rock Drill

Para la perforadora Rock Drill se utilizará Shank Adapter, tres barras, Kit de reparación, martillo Hammer, Bit 5" y Drive Sub, y así se tendrá la columna completa de perforación.



Fotografía 2. Perforadora Rock Drill – Proyecto P3660-112

4.1.1. Perforación de Precorte

En el proyecto Cerro Corona, la perforación en precorte se basa en ejecutar taladros a lo largo de una alineación de excavación, utilizando carga explosiva desacoplada y con un espaciamiento inferior al aplicado en una voladura de producción. De esta manera, al efectuar el disparo se forma un plano definido que delimita una pared y atenúa las vibraciones generadas por la voladura de producción.

- Ángulos de caras de banco e inter-rampas: los ángulos operacionales para la perforación de Precorte están en el orden de 65° y 75° , este ángulo varía según la dureza del macizo rocoso.
- Perforación: Debe ser lo más exacta posible en cuanto al espaciamiento, inclinación y orientación; con la finalidad de obtener paredes uniformes.
- Sobre rotura en la cresta: la sobre perforación afecta la fracturamiento de la cresta. Es por lo que se debe planificar en el diseño.

4.1.2. Perforación de Buffer

En el proyecto Cerro Corona, la perforación en Buffer se perforará en proyectos que tengan cresta y donde se requiera tener un control de material volado, así mismo se perforará para hacer un cuidado de zonas específicas donde se ubiquen algunos pozos.

- En ángulo de perforación es de 90° con respecto a la cresta de banco.
- Se perfora a 2 metros con respecto al toe de diseño.

4.2. ESPECIFICACIONES DE VOLADURA

En el proyecto Cerro Corona se emplean explosivos de uso industrial; estos explosivos están conformados por mezclas de sustancias, combustibles y oxidantes, que, al ser activadas de manera adecuada, originan una reacción química cuya particularidad esencial es su gran rapidez.

Los accesorios de voladura que se usan en el proyecto Cerro Corona.

4.2.1. Booster (Pentex)

En el proyecto Cerro Corona se emplea reforzador, dado que es un explosivo moderno que aporta una elevada capacidad de iniciación en un amplio rango de usos. Ha sido elaborado a partir de PETN y TNT como insumos base, lo cual le otorga la aptitud de ser un explosivo estable y un iniciador eficiente de cargas de baja sensibilidad o insensibles; por ello, su rasgo principal es desarrollar una presión de detonación alta.

4.2.2. Detonador Electrónico i-kon III

Debido a que en el proyecto Cerro Corona la empresa contratista que ejecuta el proceso de voladura es Orica, por esa razón se emplea un sistema premium i-kon III, el cual es el sistema de voladura electrónica más avanzado del mercado. Los iniciadores electrónicos i-kon III presentan múltiples cualidades de seguridad propias del diseño, entre ellas explosores, resistencia de entrada, resistencia de derivación y el propio chip.

4.2.3. Detonador No Eléctrico Exsanel

En el proyecto Cerro Corona se emplea un sistema de iniciación no eléctrico, conformado por un iniciador con retardo, un tubo de choque encargado de transmitir la señal y un conector plástico destinado a garantizar un acoplamiento adecuado entre el tubo de choque y el cordón detonante.

La función del iniciador en el proyecto Cerro Corona, en condición de retardo dentro del taladro, es activar el cebo o primer de la columna de carga explosiva y demorar el intervalo asignado. La función del tubo de choque es conducir la señal de ignición que se origina en superficie mediante el cordón detonante hasta el iniciador ubicado en el taladro.

4.2.4. Conector Bidireccional Exanel

El conector bidireccional en el proyecto Cerro Corona nos sirve como un retardo no eléctrico concebido para utilizarse con cordón detonante en voladura a cielo abierto. Está conformado por dos conectores plásticos acoplados en los extremos de un tramo de tubo de choque que incorpora un iniciador.

4.2.5. Cordón Detonante

En el proyecto Cerro Corona se emplea un cordón detonante porque es un accesorio de voladura conformado por un núcleo de granulado fino y compacto de pentrita PETN (pentaeritritol tetranitrato) que se encuentra revestido por varias fibras sintéticas e hilos de algodón. Su recubrimiento externo de plástico cambia según el tipo de cordón, ya sea simple o reforzado, lo que le brinda flexibilidad, resistencia a la tracción e impermeabilidad.

Se inicia por lo general mediante un fulminante convencional, ya sea eléctrico o no eléctrico. El núcleo del material explosivo detona a una velocidad cercana a los 7 000 m/s, produciendo una onda de choque que posibilita la activación de explosivos sensibles al iniciador.

Este elemento utilizado en voladuras presenta numerosas aplicaciones en minería, canteras, obras de movimiento de tierras y diversos trabajos de ingeniería civil. Opera de manera eficiente en todo tipo de voladuras, sin depender del diámetro ni de la longitud del taladro.

4.2.6. Senatel Powersplit

En el proyecto Cerro Corona resulta esencial la emulsión explosiva sensible Senatel Powersplit, porque se encuentra trazada internamente con cordón detonante de 10 g/m, lo cual garantiza una detonación rápida y segura. La emulsión es de tonalidad blanca y posee una consistencia semejante a la masilla. Está envasada en una lámina continua de plástico y queda asegurada de forma doble en intervalos de 400 mm.

4.2.7. Saco polipropileno

Las bolsas o sacos de polipropileno en el proyecto Cerro Corona se emplean para el embalaje y están fabricadas con un polímero plástico llamado polipropileno, el cual es más liviano y posee menor densidad que el polietileno. Pese a ello, ofrece una elevada resistencia frente a ácidos, solventes y electrolitos.

4.2.8. Taponex

En el proyecto Cerro Corona tiene un uso relevante el accesorio plástico (polietileno) con un diseño específico que posibilita formar cámaras de aire en un pozo de voladura; su configuración exclusiva permite instalarlo sin requerir aire comprimido, gracias a su forma autoportante.

4.2.9. Quantex

Para la solución de voladura en el proyecto Cerro Corona se utiliza Quantex dado que es una innovadora estrategia de EXSA, se denomina Quantex, a la tecnología integral y a sus componentes: el Nitrato de Amonio Quantex y la Emulsión Quantex. (EMULSION GASIFICADA + NITRATO DE AMONIO DE ALTA DENSIDAD)

Los principales beneficios son:

- Excelente resistencia al agua.
- Explosivo a granel fácil de operar en terreno (bombeado o vaciado).
- Se adapta a distintos tipos de terreno debido a su alto rango de densidades.
- Es amigable con el ambiente al reducir en un 18% la huella de carbono, en comparación a explosivos convencionales (SGS).
- Optimiza la voladura lo que maximiza el resultado en la fragmentación de roca.
- Su diseño permite identificar de manera rápida si la gasificación se logró de manera óptima.
- Optimiza espacios de almacenamiento, el Slurrex Q (inerte) no requiere distancias de seguridad según la legislación vigente.

4.2.10. Carga de taladros

De acuerdo con la pericia técnica de la empresa que nos proporciona la asistencia técnica de voladura, en el proyecto Cerro Corona se definió implementar doble iniciación simultánea en los taladros, de modo que se produzca una mayor generación de finos alrededor de un taladro, y así evitar frentes duros de minado y la presencia de bolonerías.

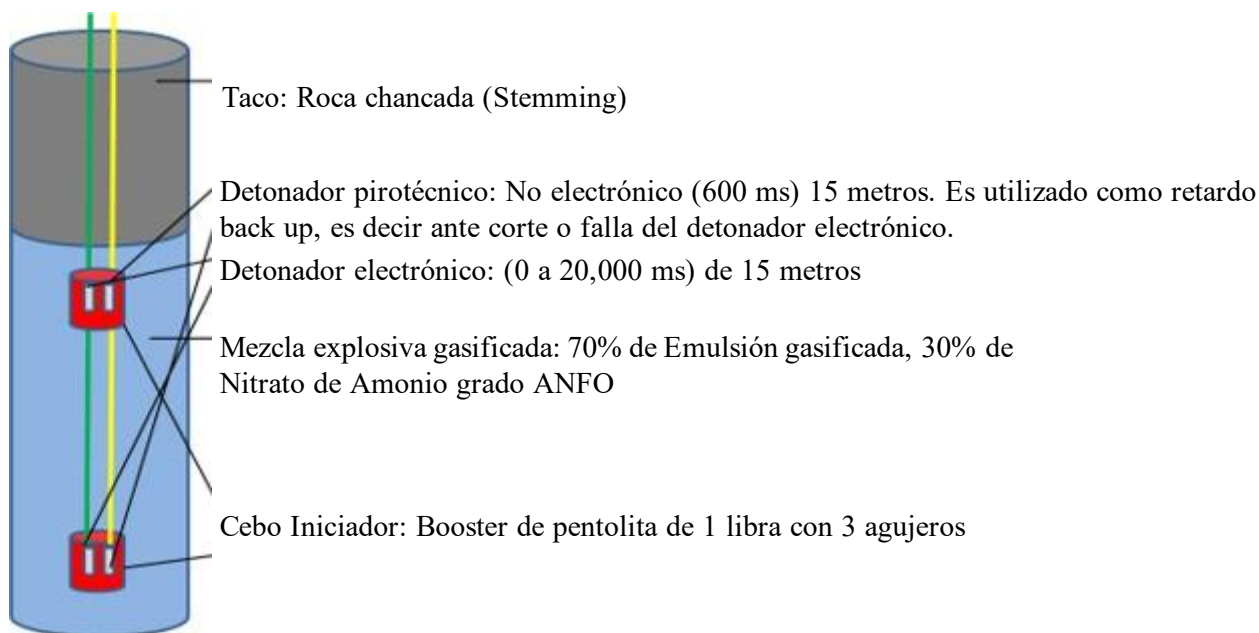


Figura 17. Carga de taladros – Proyecto Cerro Corona

En Cerro Corona se usa como explosivo que ingresa al taladro la Mezcla Explosiva QUANTEX 73 (70% de Emulsión o Hidrogel a Granel No Sensibilizada / 30% de Nitrato de Amonio Grado Técnico) la que tiene una densidad inicial en un intervalo de 1.32 - 1.34 g/cm³.

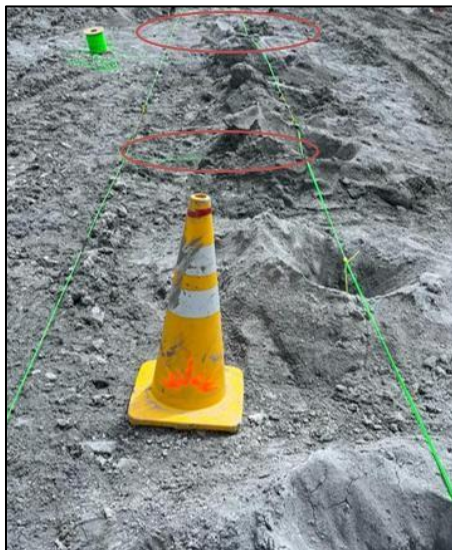
Para calcular la cantidad de explosivo que ingresa por cada taladro se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Carga lineal (Kg/m)} = 0.507 \times \text{densidad explosivo (g/cm}^3\text{)} \times (\text{diámetro taladro})^2$$

Aplicando la ecuación expuesta líneas arriba se obtiene que el explosivo utilizado en Cerro Corona, explosivo gasificado (70% Emulsión o Hidrogel a granel no sensibilizada / 30% nitrato de amonio grado técnico) y considerando una densidad inicial de 1.34 g/cm³ (según ficha técnica del fabricante)

4.2.11. Amarre de taladros

Para el amarre de taladros en el proyecto Cerro Corona, cada una de las tiras de explosivo destinadas a voladura de contorno, previamente armadas de fábrica en tiras de 22 o 44 unidades según la necesidad para banco simple o banco doble, serán conectadas a una línea de cordón detonante extendida en superficie, con una longitud suficiente para enlazar todos los taladros de la malla que han sido cargados.



Fotografía 3. Amarre de taladros - Proyecto P3640-067-GF-C8

Como se aprecia en la imagen, se emplean tres líneas a lo largo de todos los taladros, en las cuales la línea principal (doble cordón por seguridad, para sostener el peso del explosivo de voladura de contorno) se conecta con el cordón detonante del explosivo de voladura de contorno, y la segunda línea funciona como línea de respaldo con puentes cada cinco taladros; esto garantiza que, si ocurre un corte en la línea principal, la iniciación se propague y detone todos los taladros cargados.

4.3. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN

Para cumplir con la meta anual de material movido en el proyecto Cerro Corona, se cuenta con una perforación anual estimada de 125,971.20 m, tal como se presenta en la Tabla N°5.

Tabla 5. Metros estimados por año.

METROS POR AÑO	METROS POR MES	METROS POR DÍA
125,971.20	10497.6	345.1265753

Para perforar taladros de precorte en el proyecto Cerro Corona, se emplea la perforadora Rock Drill, y para taladros de buffer y producción se utiliza la perforadora DM-45; para determinar el costo unitario por metro perforado de los equipos se debe considerar los costos de mano de obra, materiales y servicios, tal como se identifican en las tablas siguientes N°6 y N°7.

Tabla 6. Precios Unitarios de perforación perforadora DM-45

PERFORACIÓN GOLD FIELDS - CERRO CORONA					
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
PARTIDA	PERFORACIÓN DM-45 Ø 7 7/8"				
Costo directo: USD/mp				8.59	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio USD	Parcial USD
Mano de Obra					
Operador de Perforación	hh	3	0.0809	9.53	0.77
Ayudante de Perforación	hh	3	0.0809	6.50	0.53
					1.30
Materiales					
Top,Sub,Ø6.1/2"	pza		0.000067	1,455.00	0.10
Drill,Pipe,E=1",Ø6.1/2"X30'_1	pza		0.000033	4,850.00	0.16
Rotary Deck Bushing 7 7/8"	pza		0.000200	1,550.00	0.31
Alambre de cobre	mt		0.002000	5.50	0.01
Grasa	balde		0.000077	150.00	0.01
Bit,Sub,Ø6.1/2"	pza		0.000118	1,450.00	0.17
Broca Triconicas Ø 7.7/8"	pza		0.000625	1,650.00	1.03
Combustible Perforadora DM45	gl	21.30	0.493732	5.10	2.52
Combustible Luminaria	gl	0.50	0.011590	5.10	0.06
					4.37
Servicio					
Perforadora DM45	hm	1.00	0.0234	120.30	2.81
Luminaria	hm	1.00	0.0234	4.50	0.11
					2.92

Tabla 7. Precios Unitarios de perforación perforadora Rock Drill

PERFORACIÓN GOLD FIELDS - CERRO CORONA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)						
PARTIDA	PERFORACIÓN ROCK DRILL Ø 3 1/2"					
Costo directo: USD/mp					11.77	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio USD	Parcial USD
	Mano de Obra					
	Operador de Perforación	hh	5	0.1043	9.53	0.99
	Ayudante de Perforación	hh	5	0.1043	6.50	0.68
						1.67
	Materiales					
	Shank Adapter	pza		0.000200	455.00	0.09
	Barra 1	pza		0.000250	450.00	0.11
	Barra 2	pza		0.000250	450.00	0.11
	Barra 3	pza		0.000250	450.00	0.11
	Martillo hammer	pza		0.000250	2,850.00	0.71
	Kit de reparacion	pza		0.000200	1,000.00	0.20
	Bit 5"	pza		0.001250	450.00	0.56
	Drive Sub	pza		0.001000	550.00	0.55
	Broca Ø 3.1/2"	pza		0.000714	150.00	0.11
	Grasa	balde		0.000077	150.00	0.01
	Combustible Perforadora RockDrill	gl	14.50	0.336109	5.10	1.71
	Combustible Luminaria	gl	0.50	0.011590	5.10	0.06
						4.35
	Servicio					
	Perforadora RockDrill	hm	1.00	0.0263	243.20	5.64
	Luminaria	hm	1.00	0.0263	5.00	0.12
						5.75

4.4. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE VOLADURA

Para evaluar el costo unitario de voladura en el proyecto Cerro Corona, es necesario realizar la imputación a diversos recursos, tales como la mano de obra, los materiales (cables, iniciadores, emulsiones, conectores, entre otros) y los servicios, como el camión fábrica que transporta la emulsión, el minicargador utilizado para el tapado de taladros y la camioneta de voladura en la que se trasladan los explosivos, tal como se presenta en la Tabla N°8.

Tabla 8. Costos Unitarios de voladura – Proyecto Cerro Corona

SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)						
Partida	VOLADURA					
				Costo directo: USD/mp	8.93	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio USD	Parcial USD
Mano de Obra						
	Operador de Camion Fabrica	hh	2.00	0.0464	8.44	0.39
	Operador de Minicargador	hh	2.00	0.0464	5.31	0.25
	Capataz de Voladura	hh	1.00	0.0232	7.52	0.17
	Operario de Voladura	hh	4.00	0.0927	6.54	0.61
	Ayudante de Voladura	hh	4.00	0.0927	5.12	0.47
	Monitor de Vibraciones	hh	0.00	0.0000	0.00	0.00
						1.89
Materiales						
	BOOSTER PENTEX CLICK 450 (LB)	LB	2.0000	0.0464	4.25	0.20
	CABLE DE CONEXION I-KON III	M	15.0000	0.3477	0.22	0.08
	DETONADOR ELECTRONICO I-KON III RX ORICA	UN	2.0000	0.0464	23.47	1.09
	DETONADOR NO ELECT.15MT N°15 600MS EXEL	UN	2.0000	0.0464	2.98	0.14
	EMULSION GASIFICABLE	KG	0.7000	0.0162	0.75	0.01
	NITRATO DE AMONIO QUANTEX	KG	0.3000	0.0070	0.76	0.01
	SACO POLIPROPILENO 22"X36" 50KG	UN	2.0000	0.0464	0.21	0.01
	SOLUCION GASIFICANTE(NITRITO DE SODIO)	KG	0.3000	0.0070	1.30	0.01
	TAPONEX 7-7/8"	KIT	1.0000	0.0232	3.06	0.07
	CONECTOR BIDIRECCIONAL 17MS EXEL	C/U	1.0000	0.0232	3.08	0.07
	CORDON DETONANTE CORDTEX 5,3P	M	15.0000	0.3477	0.20	0.07
	SENATEL POWERSPLIT 1-1/4"X16"(1S-44)	UN	1.0000	0.0232	1.59	0.04
	Combustible Camión Fábrica	gl	16.70	0.3871	5.10	1.97
	Combustible Minicargador	gl	8.30	0.1924	5.10	0.98
	Combustible Camioneta de Voladura	gl	6.70	0.1553	5.10	0.79
						5.53
Servicio						
	Camión Fábrica	hm	1.00	0.0232	40.27	0.93
	Minicargador	hm	1.00	0.0232	13.70	0.32
	Camioneta de Voladura	hm	2.00	0.0464	5.51	0.26
						1.51

4.5. COSTOS DE PERFORACIÓN CON PRECORTE

Para establecer el costo de perforación en el proyecto Cerro Corona, de los tres proyectos (3640-067, 3650-150 y 3660-112) con una línea de precorte, buffer y producción, se realizó un levantamiento de las alturas reales de los proyectos señalados; posteriormente se elaboró un plano de perforación con los parámetros estándar del proyecto Cerro Corona.

4.5.1. Perforación Proyecto 3640-067-GF-C8

Para el proyecto 3640-067-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m y finalmente una línea de Precorte con un Burden de 0 y espaciado de 1.4, así como se muestra en la Tabla N°9.

Tabla 9. Especificaciones del Proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875
PRECORTE	0	1.4	3.5

En el proyecto 3640-067-GF-C8, hay taladros de producción que tiene una cantidad de 105, precorte 141 y buffer 42, así mismo para cada tipo de taladro hay un equipo designado, así como se muestra en la Tabla N°10.

Tabla 10. Cantidad y metros perforados del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	105	1081.5
PRECORTE	ROCK DRILL	141	1551.0
BUFFER 1	DM-45	42	420.0
METROS TOTALES (m)			3052.5

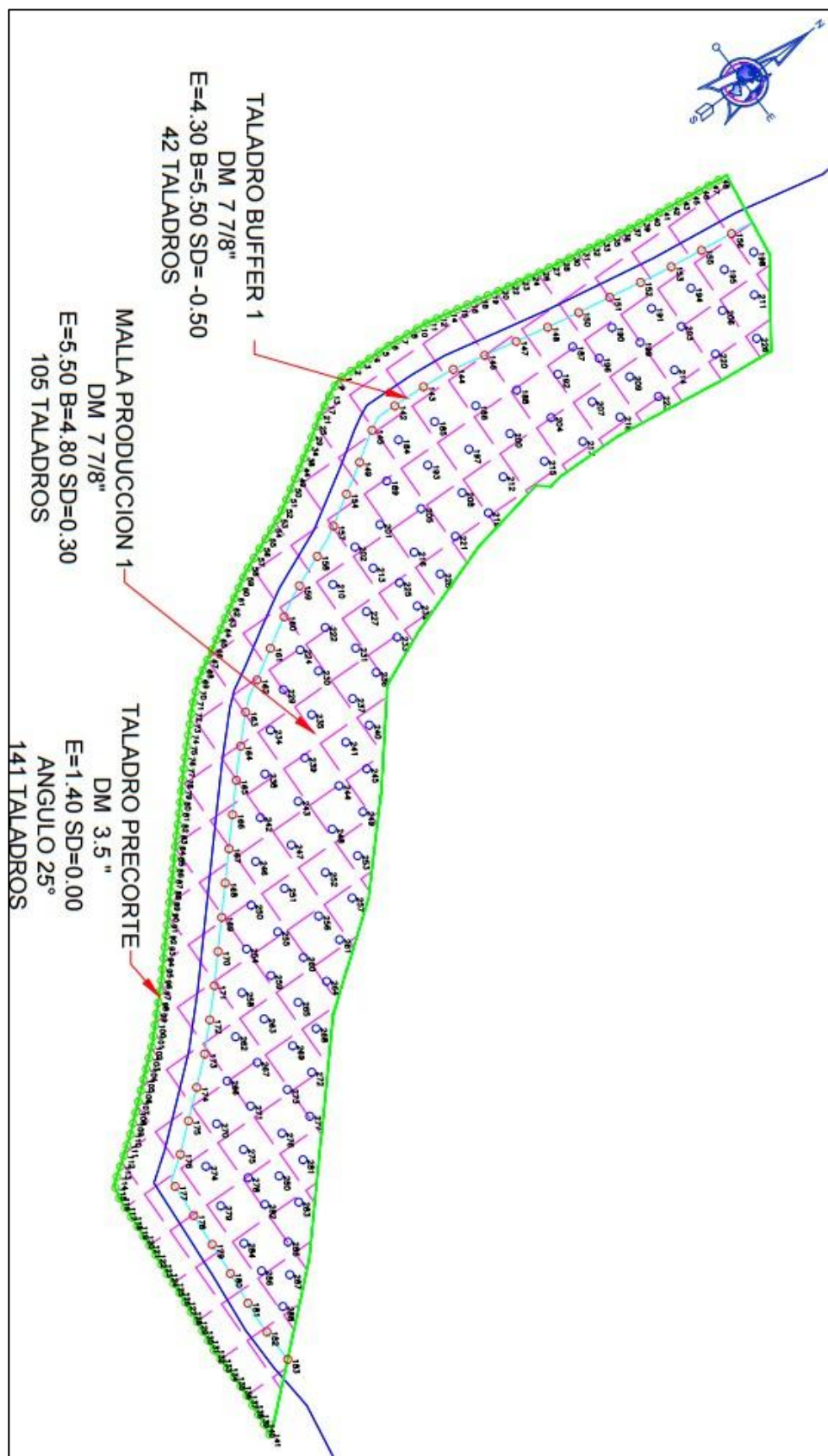


Figura 18. Malla de perforación P3640-067GF-C8

Para el proyecto 3640-067-GF-C8, con 1081.5 m en taladros de producción, 1551 m de precorte y 420 m de buffer, el costo total de perforación es de 31,148.77 dólares, así como se muestra en la Tabla N°11.

Tabla 11. Costos por metros perforado del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	105	1081.5	9286.06
PRECORTE	ROCK DRILL	11.77	141	1551	18256.48
BUFFER 1	DM-45	8.59	42	420	3606.24
COSTO GENERAL					31148.77

4.5.2. Perforación Proyecto 3650-105-GF-C8

Para el proyecto 3650-105-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m y finalmente una línea de Precorte con un Burden de 0 y espaciado de 1.4, así como se muestra en la Tabla N°12.

Tabla 12. Especificaciones del Proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875
PRECORTE	0	1.4	3.5

En el proyecto 3650-105-GF-C8, hay taladros de Producción 1 tiene una cantidad de 91, Precorte tiene una cantidad de 122 y Buffer 1 que tiene una cantidad de 39, así mismo para cada tipo de taladro hay un equipo designado, así como se muestra en la Tabla N°13.

Tabla 13. Cantidad y metros perforados del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	91	937.3
PRECORTE	ROCK DRILL	122	1342.0
BUFFER 1	DM-45	39	370.5
METROS TOTALES (m)			2649.8

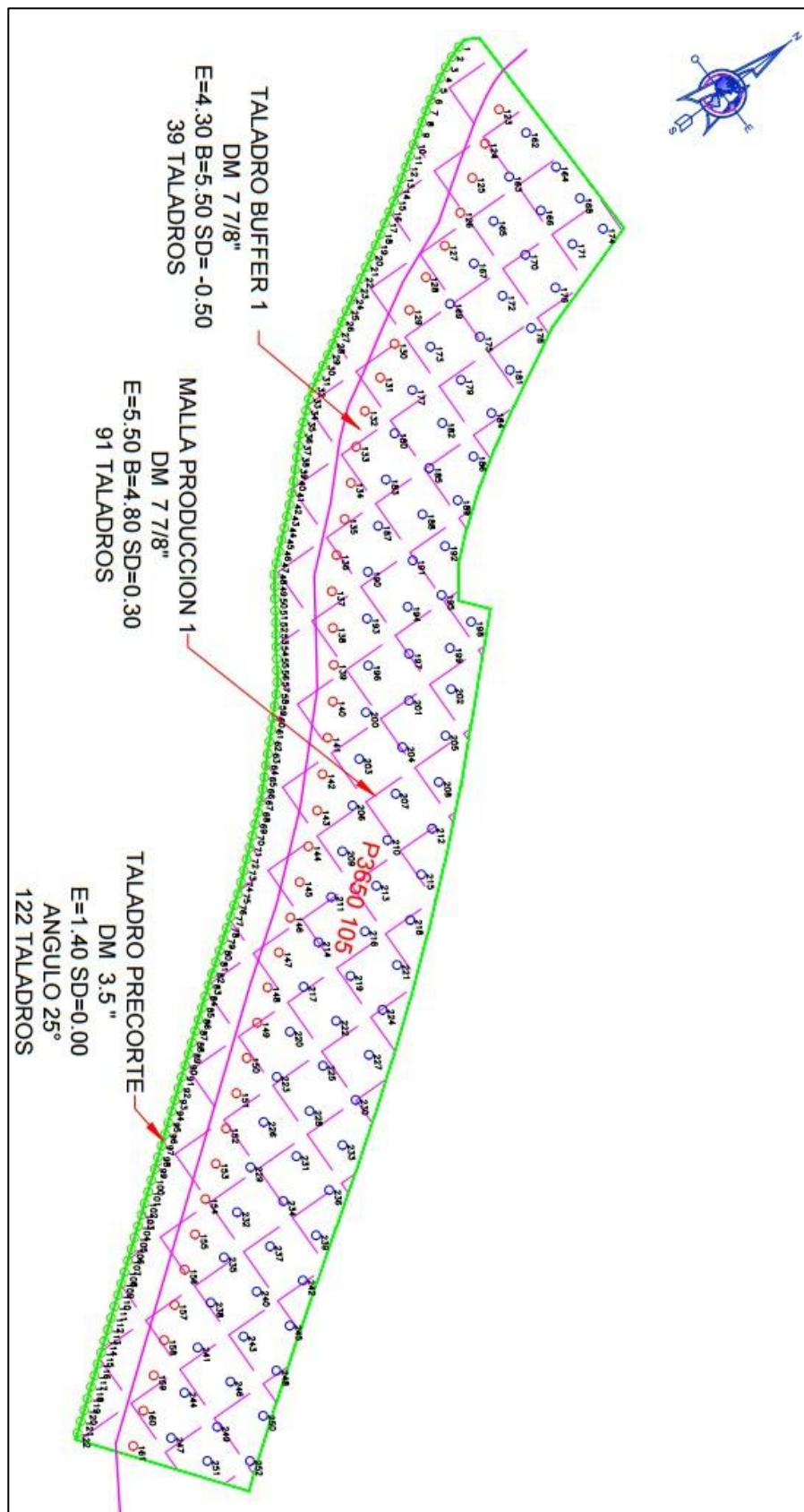


Figura 19. Malla de perforación P3650-105-GF-C8

Para el proyecto 3650-105-GF-C8, con 937.3 m en taladros de Producción 1, 1342 m de Precorte y 420 m de Buffer 1, el costo total de perforación es de 27,025.51 dólares, así como se muestra en la Tabla N°14.

Tabla 14. Costos por metros perforado del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	91	937.3	8047.92
PRECORTE	ROCK DRILL	11.77	122	1342	15796.38
BUFFER 1	DM-45	8.59	39	370.5	3181.22
COSTO TOTAL					27025.51

4.5.3. Perforación Proyecto 3660-112-GF-C8

Para el proyecto 3660-112-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m y finalmente una línea de Precorte con un Burden de 0 y espaciado de 1.4, así como se muestra en la Tabla N°15.

Tabla 15. Especificaciones del Proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875
PRECORTE	0	1.4	3.5

En el proyecto 3660-112-GF-C8, hay taladros de Producción 1 tiene una cantidad de 193, Precorte tiene una cantidad de 169 y Buffer 1 que tiene una cantidad de 55, así mismo para cada tipo de taladro hay un equipo designado, así como se muestra en la Tabla N°16.

Tabla 16. Cantidad y metros perforados del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	193	1987.9
PRECORTE	ROCK DRILL	169	1859.0
BUFFER 1	DM-45	55	522.5
METROS TOTALES (m)			4369.4

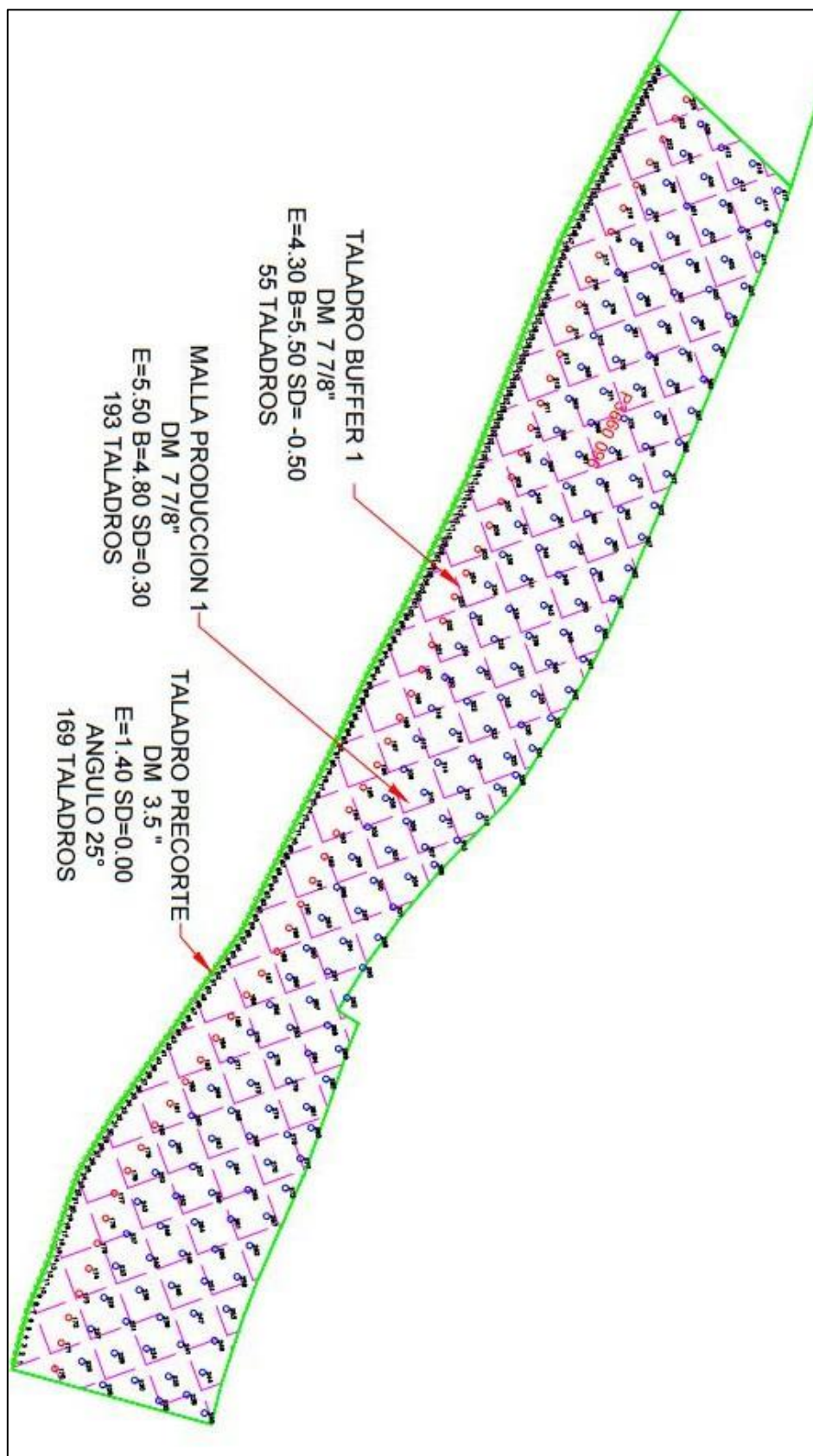


Figura 20. Malla de perforación P3660-112-GF-C8

Para el proyecto 3660-112-GF-C8, con 937.3 m en taladros de Producción 1, 1342 m de Precorte y 420 m de Buffer 1, el costo total de perforación es de 27,025.51 dólares, así como se muestra en la Tabla N°17.

Tabla 17. Costos por metros perforado del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	193	1987.9	17068.66
PRECORTE	ROCK DRILL	11.77	169	1859	21881.88
BUFFER 1	DM-45	8.59	55	522.5	4486.33
COSTO TOTAL					43436.86

4.6. COSTOS DE PERFORACIÓN SIN PRECORTE

Para calcular el costo de perforación de los tres proyectos (3640-067, 3650-150 y 3660-112) sin línea de precorte, únicamente con línea de buffer y producción, ubicados en el proyecto Cerro Corona, se realizó un levantamiento de las alturas reales de los proyectos indicados; posteriormente se elaboró un plano de perforación con los parámetros estándar del proyecto Cerro Corona.

4.6.1. Perforación Proyecto 3640-067-GF-C8

Para el proyecto 3640-067-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m, así como se muestra en la Tabla N°18.

Tabla 18. Especificaciones del Proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875

En el proyecto 3640-067-GF-C8, hay taladros de producción que tiene una cantidad de 111 y buffer 43, así mismo se perforo con el equipo DM-45 para los dos tipos de taladros, así como se muestra en la Tabla N°19.

Tabla 19. Cantidad y metros perforados del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	111	1143.3
BUFFER 1	DM-45	43	408.5
METROS TOTALES (m)			1551.8

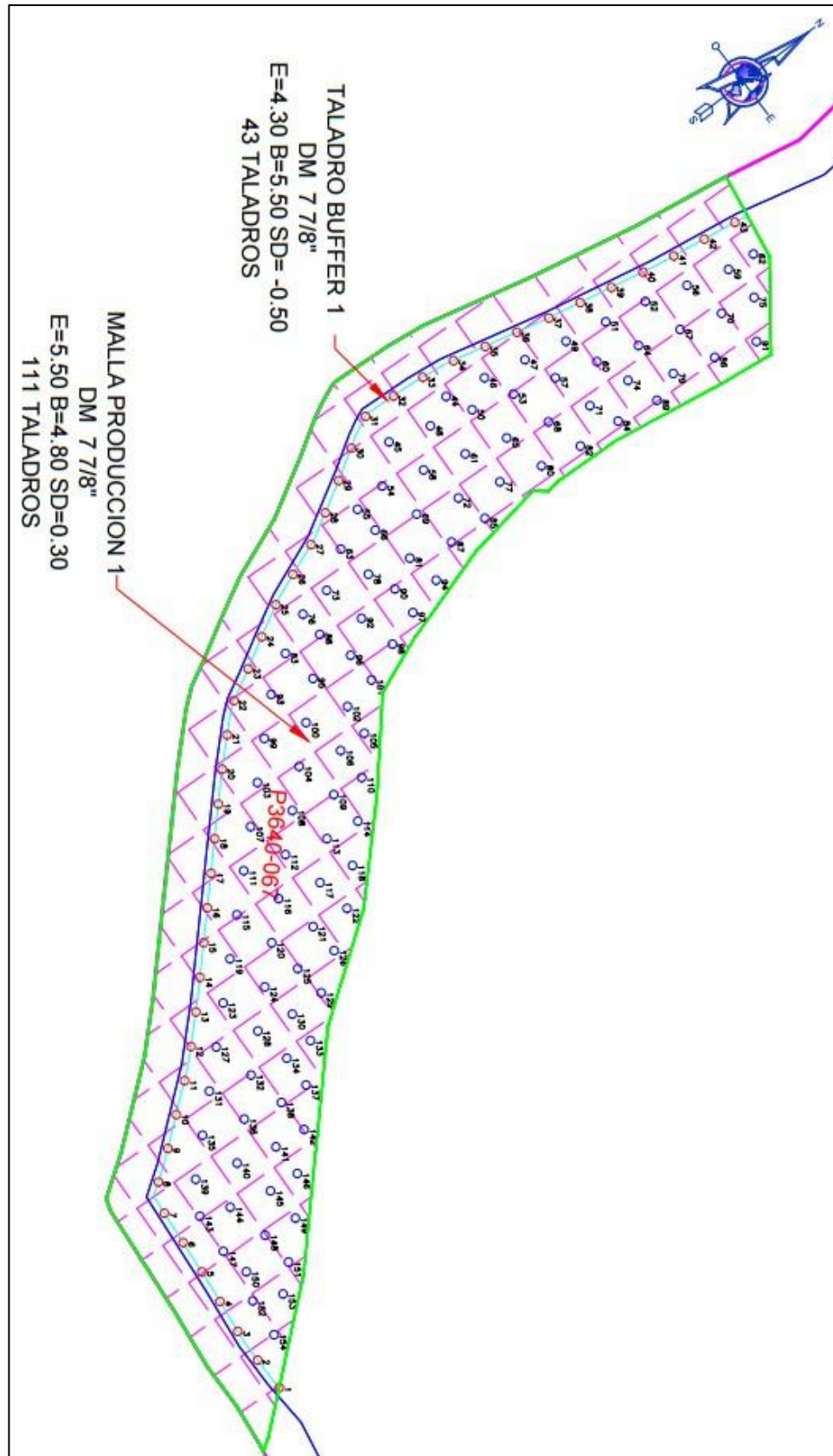


Figura 21. Malla de perforación P3640-067-GF-C8 sin precorte

Para el proyecto 3640-067-GF-C8, con 1143.3 m en taladros de producción, y 408.5 m de buffer, el costo total de perforación es de 13,324.18 dólares, así como se muestra en la Tabla N°20.

Tabla 20. Costos por metros perforado del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	111	1143.3	9816.69
BUFFER 1	DM-45	8.59	43	408.5	3507.49
COSTO GENERAL				1551.8	13324.18

4.6.2. Perforación Proyecto 3650-105-GF-C8

Para el proyecto 3650-105-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m, así como se muestra en la Tabla N°21.

Tabla 21. Especificaciones del Proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875

En el proyecto 3650-105-GF-C8, hay taladros de Producción 1 tiene una cantidad de 92 y Buffer 1 que tiene una cantidad de 39, así mismo los dos tipos de taladro se utilizó la perforadora DM-45, así como se muestra en la Tabla N°22.

Tabla 22. Cantidad y metros perforados del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	92	874.0
BUFFER 1	DM-45	39	401.7
METROS TOTALES (m)			1275.7

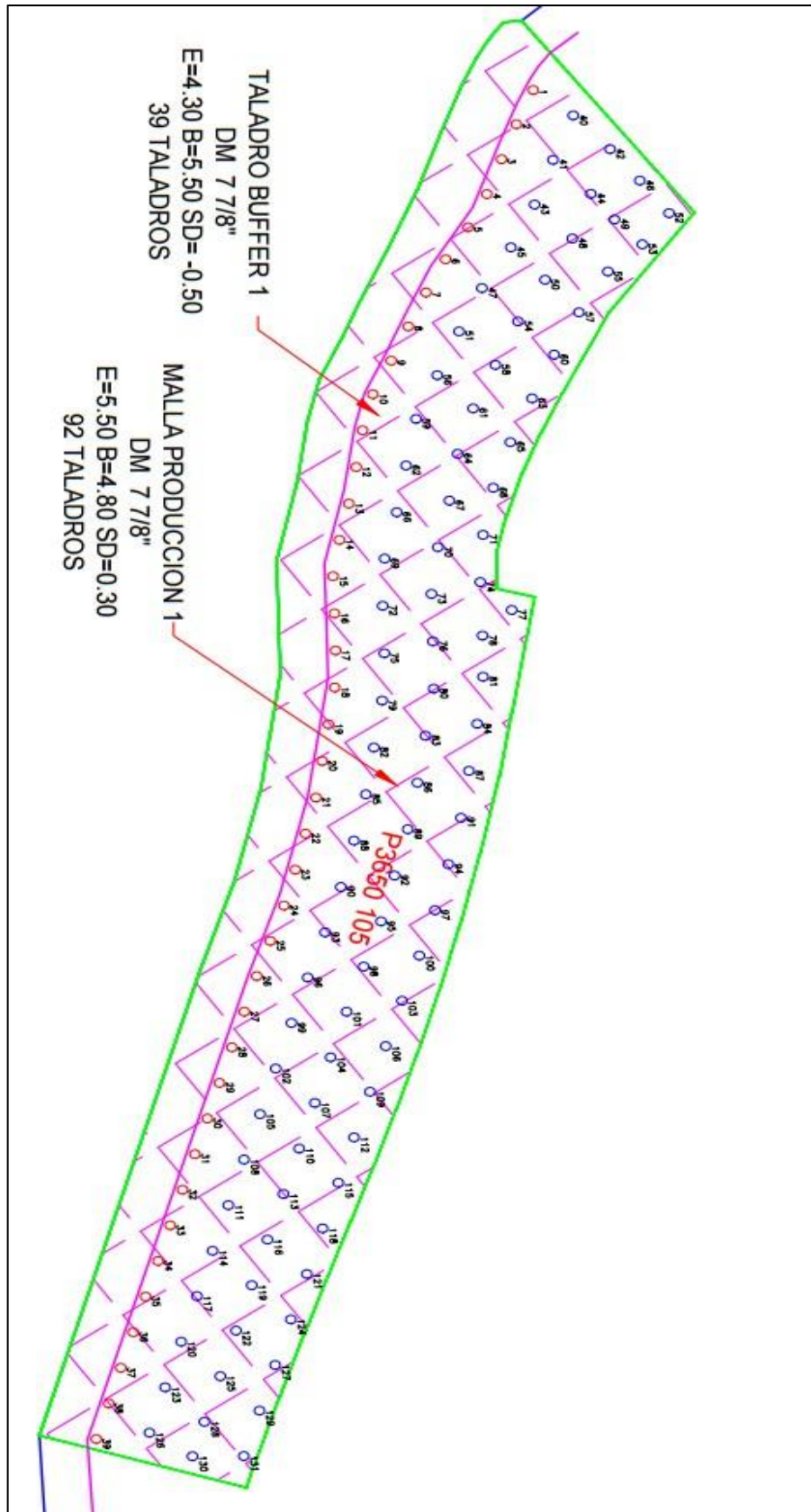


Figura 22. Malla de perforación 3650-105-GF.C8 sin precorte.

Para el proyecto 3650-105-GF-C8, con 874m en taladros de Producción y 401.7 m de Buffer 1, el costo total de perforaciones de 10,953.51 dólares, así como se muestra en la Tabla N°23.

Tabla 23. Costos por metros perforado del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	92	874	7504.40
BUFFER 1	DM-45	8.59	39	401.7	3449.11
COSTO TOTAL				1275.7	10953.51

4.6.3. Perforación Proyecto 3660-112-GF-C8

Para el proyecto 3660-112-GF-C8, se tiene taladros de Producción 1, con un Burden de 4.8 m y espaciado 5.5 m, Buffer 1 con un Burden de 5.5 m y espaciado de 4.3 m, así como se muestra en la Tabla N°24.

Tabla 24. Especificaciones del Proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	BRUDEN (m)	ESPACIADO (m)	DIÁMETRO (")
PRODUCCION 1	4.8	5.5	7.875
BUFFER 1	5.5	4.3	7.875

En el proyecto 3660-112-GF-C8, hay taladros de Producción 1 tiene una cantidad de 193 y Buffer 1 que tiene una cantidad de 55, así mismo se utilizó la perforadora DM-45 para ambos tipos de taladros, así como se muestra en la Tabla N°25.

Tabla 25. Cantidad y metros perforados del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8			
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	CANTIDAD	METROS PERFORADOS (m)
PRODUCCION 1	DM-45	193	1987.9
BUFFER 1	DM-45	55	522.5
METROS TOTALES (m)			2510.4

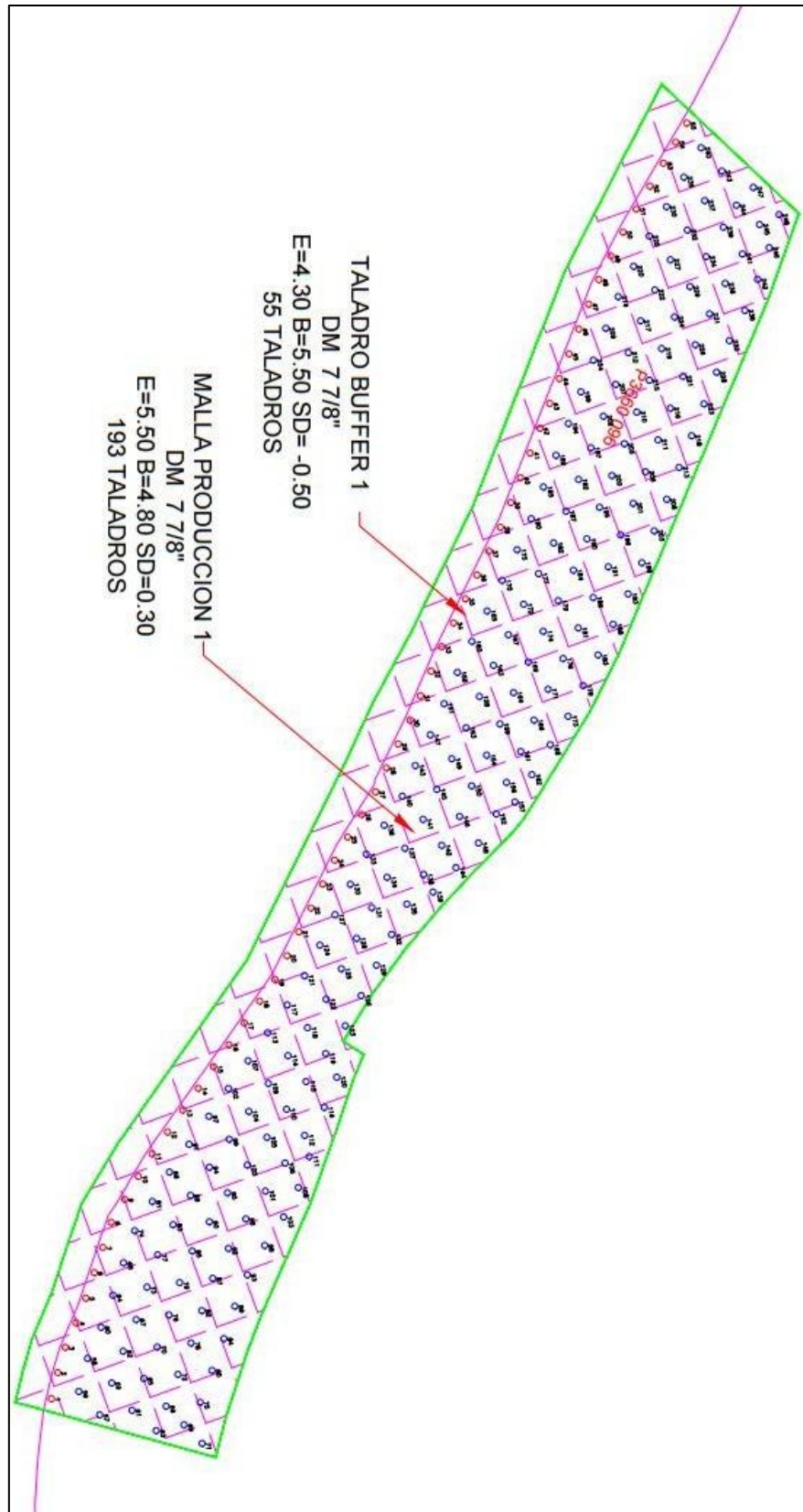


Figura 23. Malla de perforación P3660-112-GF-C8

Para el proyecto 3660-112-GF-C8, con 1987.9 m en taladros de Producción 1 y 522.5 m de Buffer 1, el costo total de perforación es de 21,554.99 dólares, así como se muestra en la Tabla N°26.

Tabla 26. Costos por metros perforado del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8					
TIPO DE TALADRO	EQUIPO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	DM-45	8.59	193	1987.9	17068.66
BUFFER 1	DM-45	8.59	55	522.5	4486.33
COSTO TOTAL				2510.4	21554.99

4.7. COSTOS DE VOLADURA CON PRECORTE

4.7.1. Voladura Proyecto 3640-067-GF-C8

En el proyecto 3640-067-GF-C8, se registra la existencia de tres clases de perforaciones, fabricación 105 perforaciones, pre-corte 141 perforaciones y amortiguación 42 perforaciones, en conjunto realizan el cálculo 3052.5 m, y se dispone de un monto en dólares de 27,262.53, tal como se presenta en el cuadro N°27.

Tabla 27. Costos de la voladura del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	105	1081.5	9659.11
PRECORTE	8.93	141	1551	13852.31
BUFFER 1	8.93	42	420	3751.11
COSTO GENERAL \$				27262.53

4.7.2. Voladura Proyecto 3650-105-GF-C8

En el proyecto 3640-067-GF-C8, consta de tres tipos de taladros, producción 105 taladros, precorte 141 taladros y buffer 42 taladros, en total hacen la suma 3052.5 m, y se tiene una cantidad en dólares de 27,262.53, así como se muestra en el cuadro N°28.

Tabla 28. Costos de la voladura del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	91	937.3	8371.23
PRECORTE	8.93	122	1342	11985.69
BUFFER 1	8.93	39	370.5	3309.02
COSTO TOTAL				23665.93

4.7.3. Voladura Proyecto 3660-112-GF-C8

En el proyecto 3640-067-GF-C8, consta de tres tipos de taladros, producción 105 taladros, precorte 141 taladros y buffer 42 taladros, en total hacen la suma 3052.5 m, y se tiene una cantidad en dólares de 27,262.53, así como se muestra en el cuadro N°29.

Tabla 29. Costos de la voladura del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	193	1987.9	17754.36
PRECORTE	8.93	169	1859	16603.13
BUFFER 1	8.93	55	522.5	4666.56
COSTO TOTAL				39024.05

4.8. COSTOS DE VOLADURA SIN PRECORTE

4.8.1. Voladura Proyecto 3640-067-GF-C8

En el proyecto 3640-067-GF-C8, se cuenta con dos modalidades de perforaciones, puesto que se suprimió la franja de pre-corte, elaboración 111 perforaciones y amortiguación 43 perforaciones, en conjunto realizan el cómputo 1551.8 m, y se dispone de un valor en dólares de 13,859.46, tal como se expone en el cuadro N°30.

Tabla 30. Costos de la voladura del proyecto P3640-067-GF-C8

PROYECTO P3640-067-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO \$	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	111	1143.3	10211.06
BUFFER 1	8.93	43	408.5	3648.40
COSTO GENERAL \$				13859.46

4.8.2. Voladura Proyecto 3650-105-GF-C8

En el proyecto 3650-105-GF-C8, se dispone de dos clases de perforaciones, ya que se retiró la hilera de pre-corte, elaboración 92 perforaciones y amortiguación 39 perforaciones, en conjunto realizan el total 1275.7 m, y se cuenta con un importe en dólares de 11,393.55, tal como se observa en el cuadro N°31.

Tabla 31. Costos de la voladura del proyecto P3650-105-GF-C8

PROYECTO P3650-105-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	92	874	7805.88
BUFFER 1	8.93	39	401.7	3587.67
COSTO TOTAL				11393.55

4.8.3. Voladura Proyecto 3660-112-GF-C8

En el proyecto 3660-112-GF-C8, se presenta la presencia de dos categorías de perforaciones, debido a que fue suprimida la franja de pre-corte, elaboración 193 perforaciones y amortiguación 55 perforaciones, en conjunto conforman el acumulado 2510.4 m, y se registra un monto en dólares de 22,420.92, tal como se evidencia en el cuadro N°32.

Tabla 32. Costos de la voladura del proyecto P3660-112-GF-C8

PROYECTO P3660-112-GF-C8				
TIPO DE TALADRO	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	METROS (m)	COSTO \$
PRODUCCION 1	8.93	193	1987.9	17754.36
BUFFER 1	8.93	55	522.5	4666.56
COSTO TOTAL				22420.92

4.9. COSTOS GENERALES

Los gastos globales fluctúan en función del proyecto que fue perforado y detonado, dichos desembolsos permitieron establecer la eficiencia optimizada en cada intervención correspondiente a la etapa C8.

4.9.1. Costos de perforación

Se registró una disminución relevante de metraje perforado al prescindir de la franja de pre-corte en los tres proyectos ejecutados, se ejecutaron únicamente las perforaciones de elaboración y amortiguación con un consolidado global de 5337.9 m y con la rebaja de gastos de 101,611.15 \$ a 45,832.68 \$, esto genera una marcada disminución en los desembolsos de los tres proyectos en la etapa 8C, tal como se reconoce en la Tabla N°33 y Tabla N°34.

Tabla 33. Costos generales de perforación en la fase 8C con línea de precorte.

COSTO GENERALES DE PERFORACIÓN		
PROYECTO	METROS (m)	COSTOS \$
P3640-067-GF-C8	3052.5	31148.77
P3650-105-GF-C8	2649.8	27025.51
P3660-112-GF-C8	4369.4	43436.86
COSTO TOTAL \$		101,611.15

Tabla 34. Costos generales de perforación en la fase 8C sin línea de precorte.

COSTO GENERALES DE PERFORACIÓN		
PROYECTO	METROS (m)	COSTOS \$
P3640-067-GF-C8	1551.8	13324.18
P3650-105-GF-C8	1275.7	10953.51
P3660-112-GF-C8	2510.4	21554.99
COSTO TOTAL \$		45,832.68

4.9.2. Costos de voladura

Se obtuvo una disminución apreciable en el aspecto de tronadura debido a que no se cargó la franja de pre-corte en los tres proyectos perforados, se cargaron únicamente las perforaciones de elaboración y amortiguación y ello recortó los gastos de 89,952.52\$ a 47,673.93\$, esto genera una marcada disminución en los desembolsos de los tres proyectos en la etapa 8C, tal como se reconoce en la Tabla N°35 y Tabla N°36.

Tabla 35. Costos generales de voladura en la fase 8C con línea de precorte.

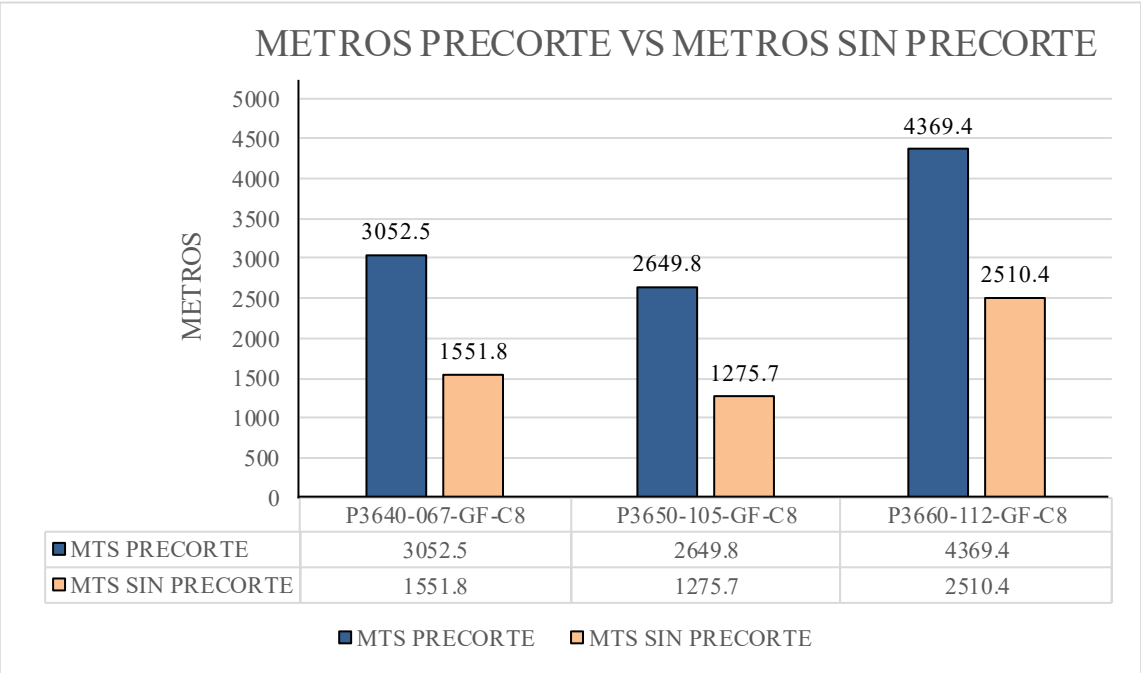
COSTO GENERALES DE VOLADURA		
PROYECTO	METROS (m)	COSTOS \$
P3640-067-GF-C8	3052.5	27262.53
P3650-105-GF-C8	2649.8	23665.93
P3660-112-GF-C8	4369.4	39024.05
COSTO TOTAL \$		89,952.52

Tabla 36. Costos generales de voladura en la fase 8C sin línea de precorte.

COSTO GENERALES DE VOLADURA		
PROYECTO	METROS (m)	COSTOS \$
P3640-067-GF-C8	1551.8	13859.46
P3650-105-GF-C8	1275.7	11393.55
P3660-112-GF-C8	2510.4	22420.92
COSTO TOTAL \$		47,673.93

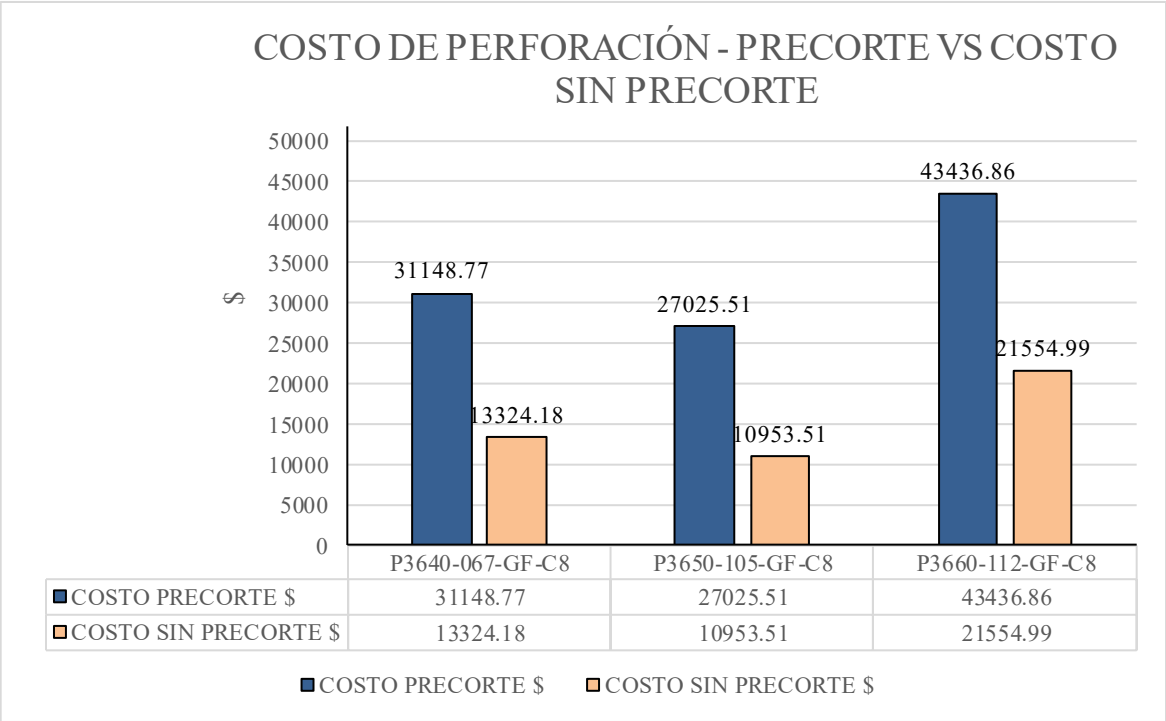
En el gráfico N°1, se puede identificar que en el proyecto P3660-112-GF-C8 tiene la mayor cantidad de metros perforados (2510.4 m), y así mismo en el proyecto P3650-105-GF-C8 tiene la menor cantidad de metros perforados (1275.7 m).

Gráfico 1. Metros perforados con precorte y sin precorte.



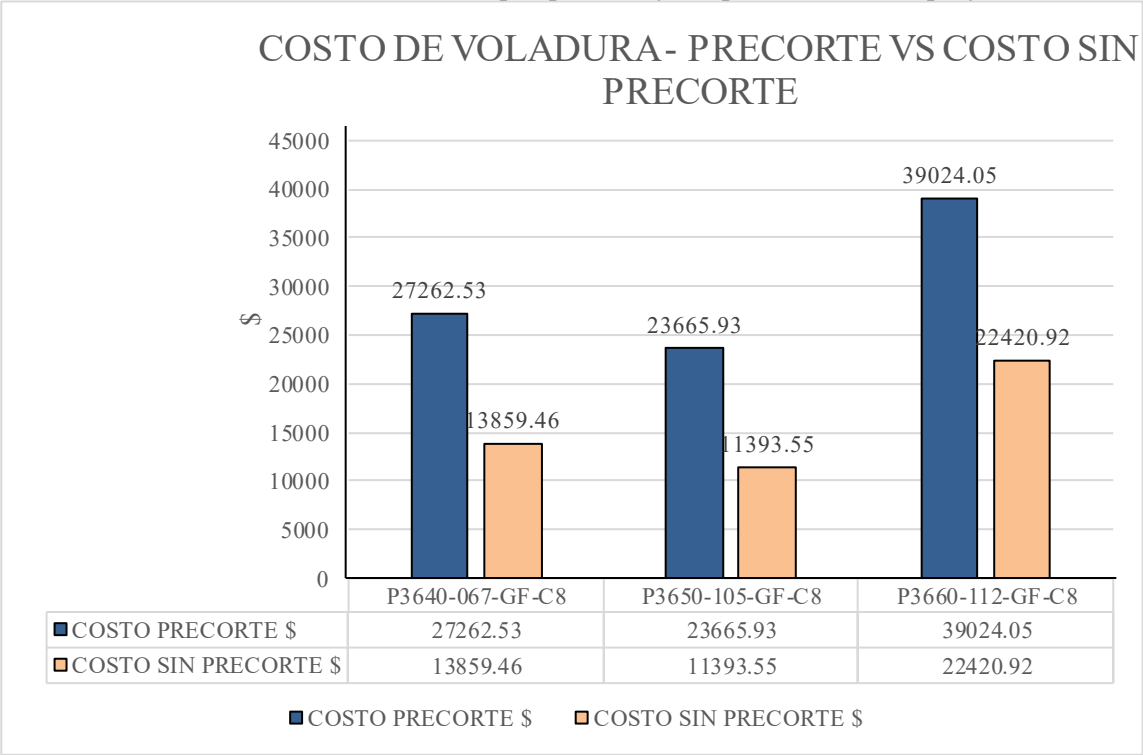
En el gráfico N°2, se puede identificar el costo por metro perforado se disminuyó considerablemente en los tres proyectos perforados, en el proyecto P3640-067-GF-C8 se disminuyó de 31148.77\$ a 13324.18\$, proyecto P3650-105-GF-C8 de 27025.51\$ a 10953.51\$ y finalmente en el proyecto P366-112-GF-C8 de 43436.86\$ a 21554.99\$.

Gráfico 2. Costos por precorte y sin precorte de cada proyecto.



En el grafico N°3, se grafica los costos totales de voladura por cada proyecto perforado, se tiene una disminución de costos importante, dado que se redujo al 52.9 % del costo inicial.

Gráfico 3. Costo de voladura por precorte y sin precorte de cada proyecto.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se fijaron los lineamientos técnicos de perforación y tronadura para los proyectos evaluados (P3640-067, P3650-105 y P3660-112), estableciéndose que las perforaciones de pre-corte fueron realizadas con la perforadora Rock Drill y las de elaboración y amortiguación con DM45. Se precisaron los parámetros óptimos de burden, separación y calibre para cada modalidad de perforación, garantizando una fragmentación conveniente y el control del deterioro en taludes.

Del examen de costos por unidad se concluyó que la perforación con Rock Drill mostró un valor unitario de 11.17 \$/m, mientras que la DM45 anotó 8.59 \$/m. En el caso de la tronadura, el valor unitario medio fue de 8.93 \$/m cargado. Esto demuestra que la utilización de la franja buffer constituye una opción más accesible al reducir los metros perforados y la utilización de explosivos sin perjudicar la eficacia operativa.

Los gastos globales exhibieron una disparidad considerable entre los panoramas evaluados. La perforación con franja de pre-corte llegó a 101,611.15\$, mientras que sin pre-corte fue de 45,832.68 \$. En lo referente a la tronadura, los montos fueron de 89,952.51 \$ con pre-corte y 47,673.93 \$ sin pre-corte. Esto comprueba una disminución total superior al 45 % en los costos de perforación y tronadura al sustituir la franja de pre-corte por la franja buffer.

La sustitución del pre-corte por buffer en la etapa 8C del tajo Cerro Corona mejora de manera sustancial los costos operativos asociados a la perforación y la tronadura sin poner en riesgo la estabilidad de los taludes ni la seguridad. Esta acción es una buena alternativa y económicamente viable que puede replicarse en otras etapas de la explotación para elevar la rentabilidad del proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

Para la totalidad de estudiantes de la Universidad Nacional de Cajamarca de la facultad de ingeniería, que indagarán y elaborarán optimización de gastos en el procedimiento de perforación y tronadura en pre-corte, se sugiere evaluar la pertinencia de la franja de pre-corte en diferentes bancos, con el propósito de economizar recursos de perforación y tronadura.

Para la totalidad de estudiantes de las diversas universidades del Perú y del exterior se aconseja efectuar la detección y caracterización adecuada de recursos tanto de perforación como de tronadura, a fin de ejecutar un análisis unitario exacto por metro perforado, y no llegar a presentar fluctuaciones de gastos al momento de tasar los metros perforados y detonados.

Para la totalidad de estudiantes de la Universidad Nacional de Cajamarca de la facultad de ingeniería, que se encuentren o se encontrarán vinculados al ámbito de perforación y tronadura, realicen formaciones y exposiciones permanentes en materia de seguridad, debido a que estas labores corresponden a riesgos de carácter crítico, ya que implican una interacción constante con agentes y componentes peligrosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A. 2016. Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera El Alba.
- Alonso, J, Gómez, J & Herbert, J. 2013. Perforación y voladura de rocas en minería. Universidad Politécnica de Madrid: Madrid, Spain.
- Bernaola, J, Catilla, J y Herrera, J. 2013. Perforación y voladura de rocas en minería – Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas – Laboratorio de tecnologías mineras – Universidad Politécnica de Madrid.
- Cahuapaza, W. 2022. Optimización de costos en perforación y voladura mediante la aplicación del modelo matemático de Crosby & Pinco en la Unidad Minera Apumayo S.A.C. – Universidad Nacional del Altiplano.
- Chambi, J. 2019. Análisis y optimización de las operaciones de perforación y voladura para el desarrollo de estándares técnicos e incremento de utilidades en mina Tambomayo – Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cornejo, P y Huamán, P. 2020. Estimación de un modelo predictivo de vibraciones inducidas por voladura en campo medio y campo lejano para el cuidado de estructuras en una mina superficial en proceso de cierre – Universidad Católica del Perú.
- EXSA, 2014. Manual práctico de voladura. EXSA SA. Lima, Perú.
- Gold Fileds, 2023. Evolución de los modelos geológicos, vectorización geofísica y sus implicaciones para el incremento de recursos.
- Gonzales, J y Peña, L. 2016. Diseño de voladura de desarrollo para la cantera 6 de la empresa Río claro S.A, grupo ARGOS – Universidad del Azuay Facultad de Ciencias y Tecnología – Escuela de Ingeniería en Minas.

- Huamani, A. 2021. Análisis técnico y económico de perforación y voladura para el control del grado de fragmentación postvoladura en una mina a tajo abierto – 2021 – Universidad Continental.
- Llorente, E. 1987. Manual de perforación y voladura de rocas – Instituto geológico y minero de España – Editorial ETIMSA Madrid.
- López, J. 2021. Empleo de la emulsión Gasificable Sang APU para minimizar costos de voladura en minera La Zanja S.R.L – Universidad Nacional de Cajamarca.
- López, R. 2019. Análisis de los elementos del costo. IMCP.
- Mantilla, O. 2021. Beneficios del uso de Anfo pesado en el proceso de voladura en minería a cielo abierto con la empresa Enaex – Minera Yanacocha 2018 – Universidad Nacional de Cajamarca – Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas.
- Montesino, J. 2020. Reducción y Optimización de Costos en Perforación y Voladura Implementando Barrenos de 16 Pies para Labores de Desarrollo en la U.O. Inmaculada – Sociedad Minera Ares S.A.C. – Universidad Tecnología del Perú.
- Núñez, A. 2023. Optimización de los procesos de perforación y voladura en la cantera de áridos Beltrán, Santa Rosa - El Oro – Universidad del Azuay – Facultad de Ciencia y Tecnología – Escuela de Ingeniería en Minas – Ecuador.
- Parida, A. 2016. Evaluation of blasting efficiency in surface mines (Doctoral dissertation).
- Sánchez, N. 2020. Desarrollo de los procesos mineros en cielo abierto para su optimización – Universidad de Cantabria – Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.

ANEXOS



Fotografía 4. Amarre de taladros para voladura - Proyecto P3650-105-GF-C8



Fotografía 5. Carga de Booster con cable de conexión - Proyecto P3660-112-GF-C8



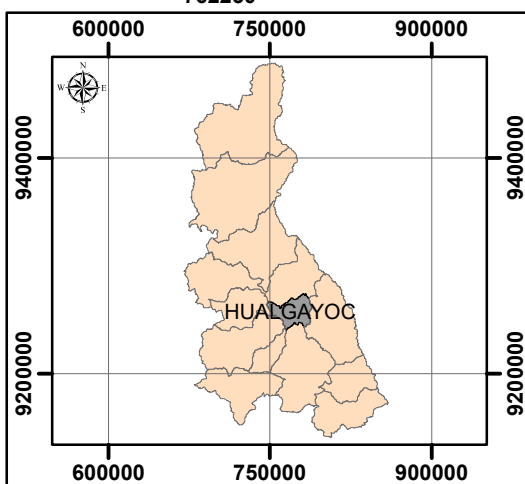
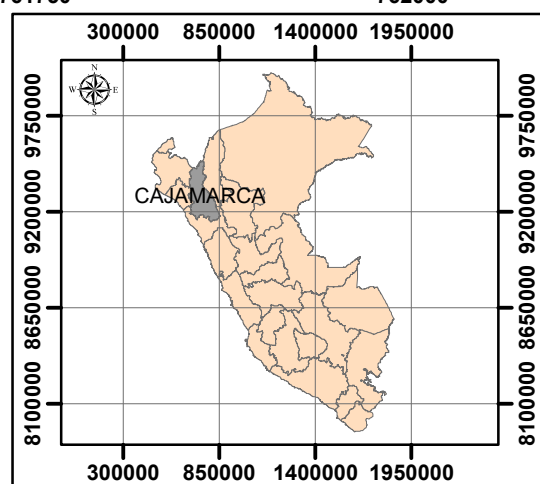
Fotografía 6. Tapado de taladros para que no haya rocas disparadas - Proyecto P3660-112-GF-C8



Fotografía 7. Carguío de taladros con Nitrato de Amonio y Emulsion Gasificada - Proyecto P3640-067-GF-C8

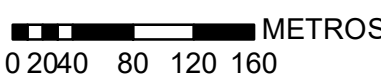


Fotografía 8. Área de perforación y voladura señalizada con letreros de seguridad para prohibir el ingreso del personal no autorizado - Proyecto P3640-067-GF-C8

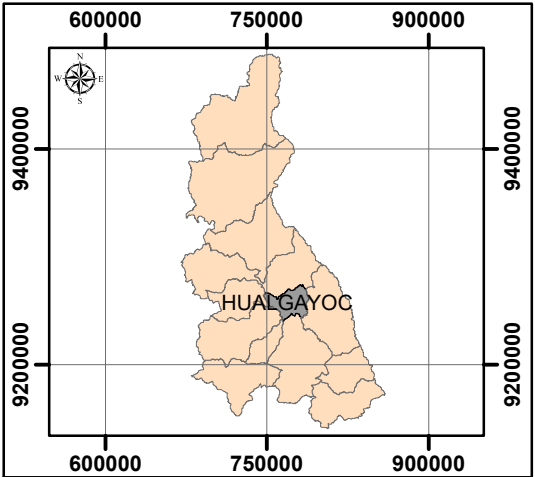
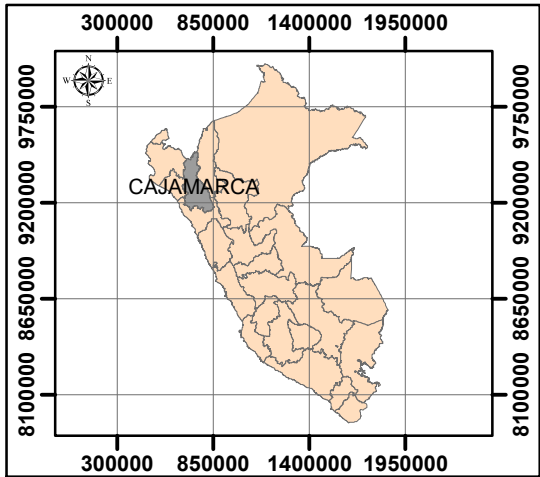
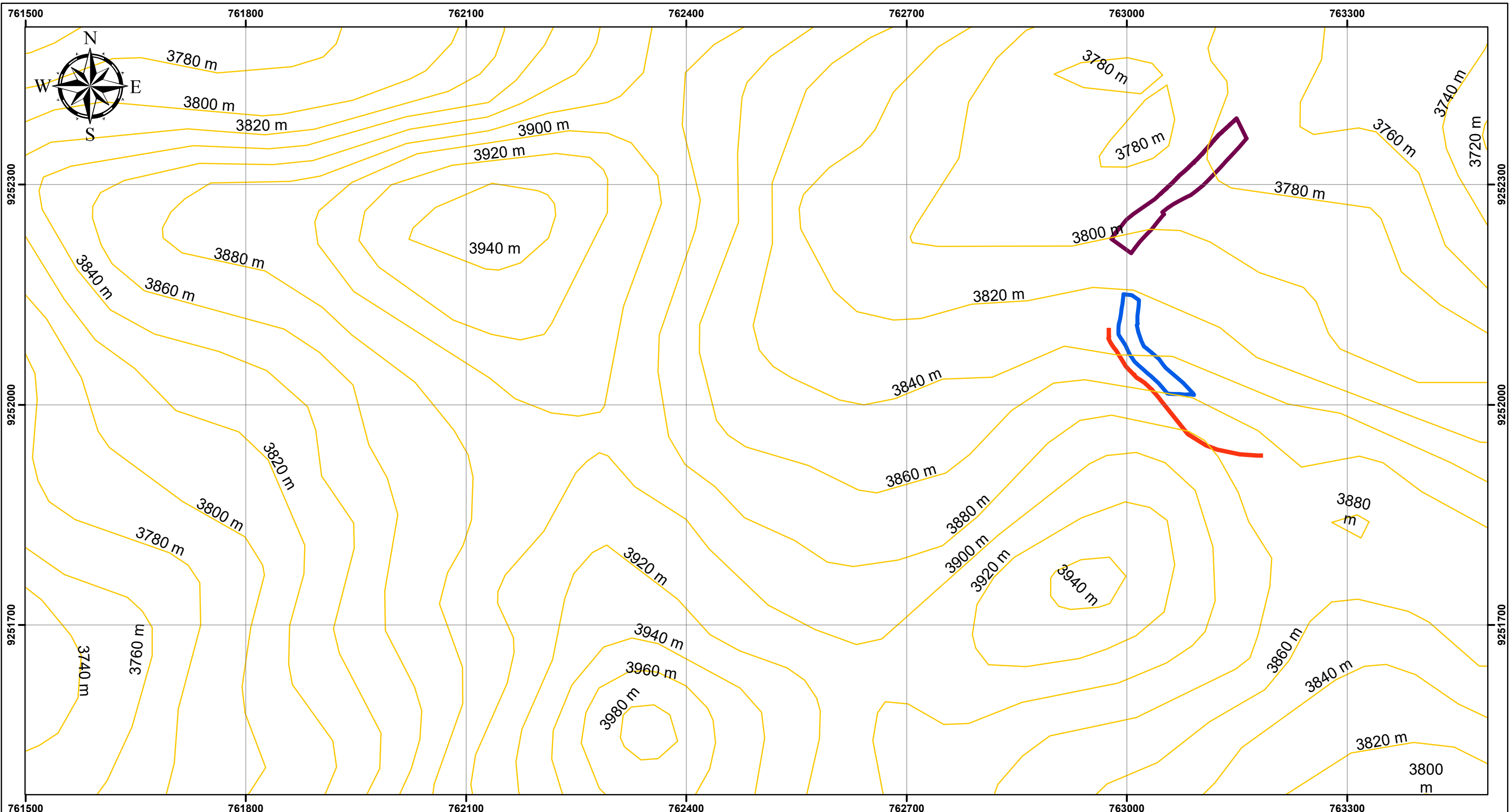


SIMBOLOGÍA

	MALLA 3640-076
	MALLA 3650-105
	MALLA 3660-112



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"		
BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA		ESCALA: 1:5000
PLANO: UBICACIÓN		
ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO		
SISTEMA: UTM-WGS84 CAJAMARCA - 2024		
LÁMINA 01		



SIMBOLOGÍA

MALLA 3640-076

MALLA 3650-105

MALLA 3660-112

CURVAS DE NIVEL

0

20

40

80

120

160

METROS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL
DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C
EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"

BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA

PLANO: TOPOGRÁFICO

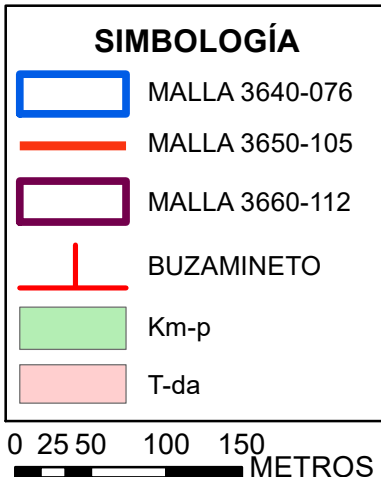
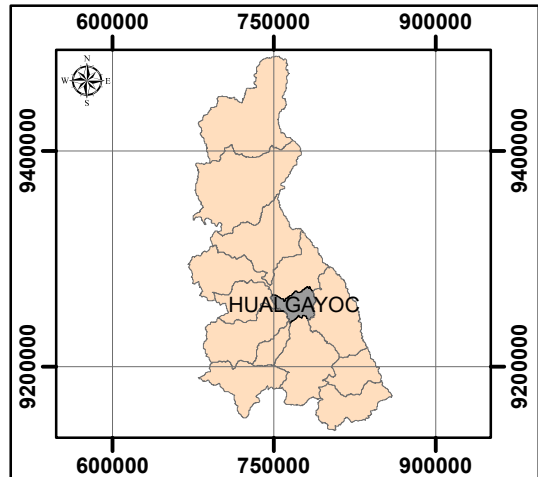
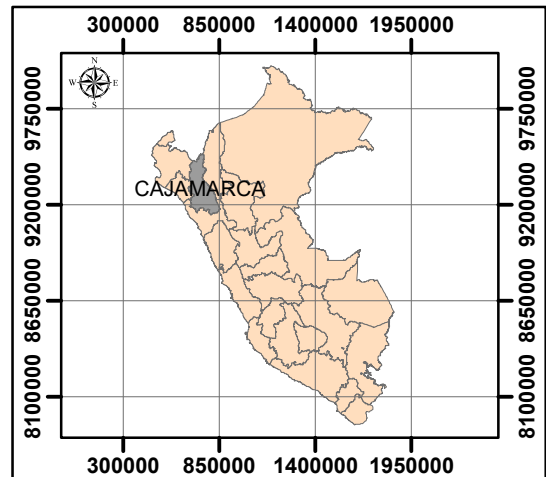
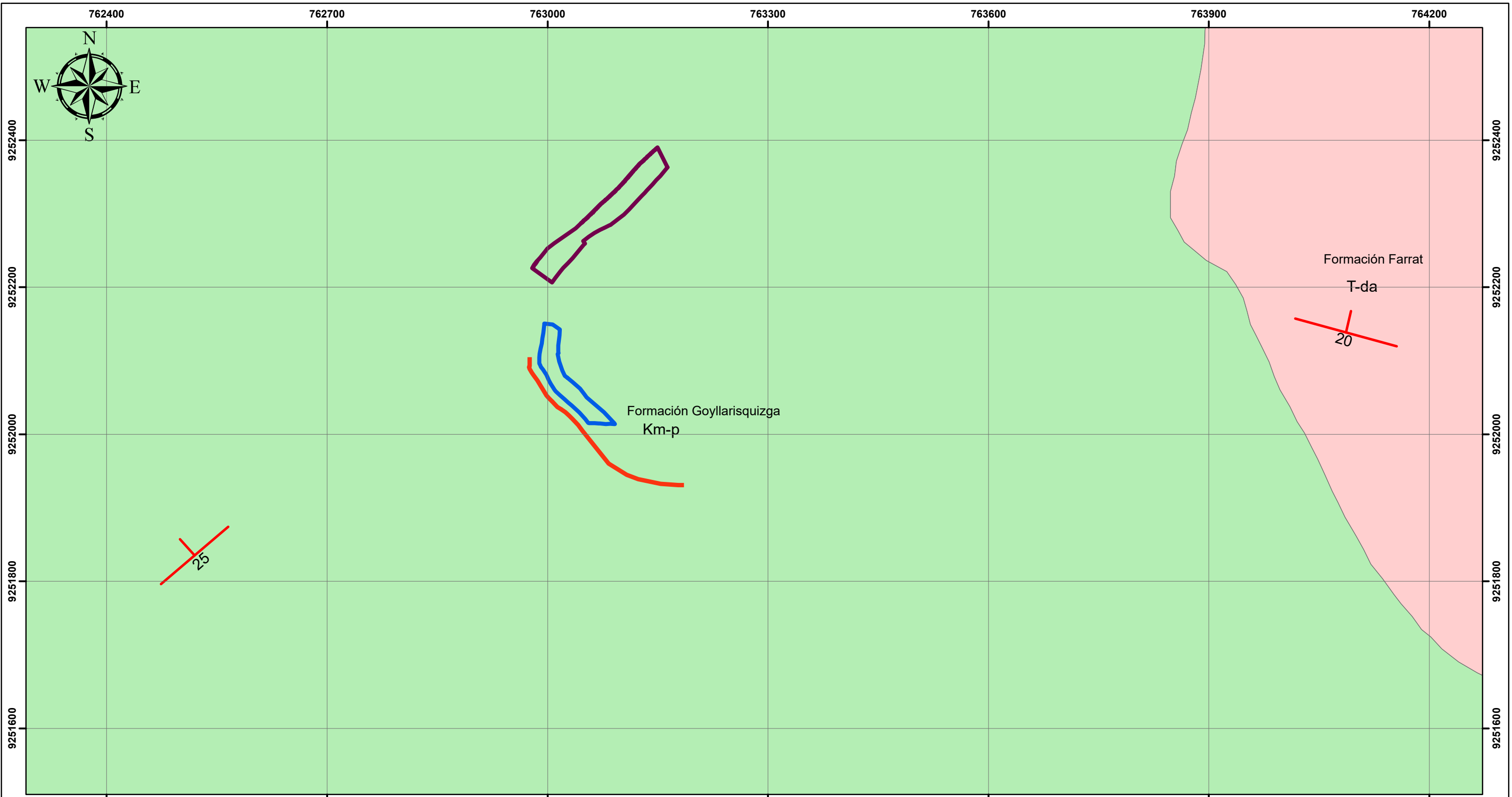
ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO

SISTEMA: UTM-WGS84

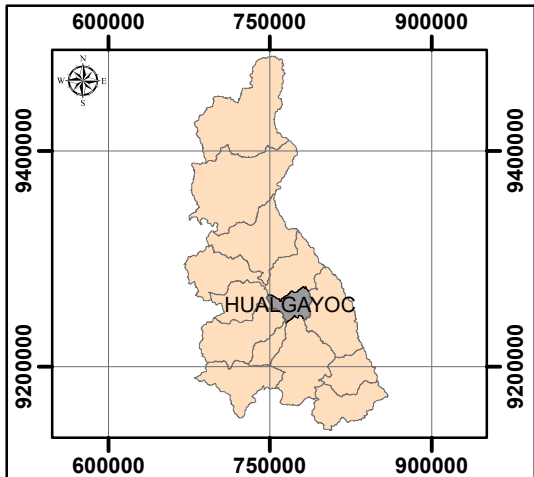
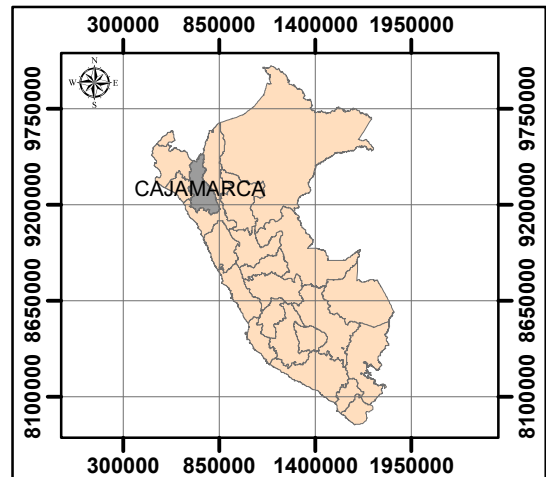
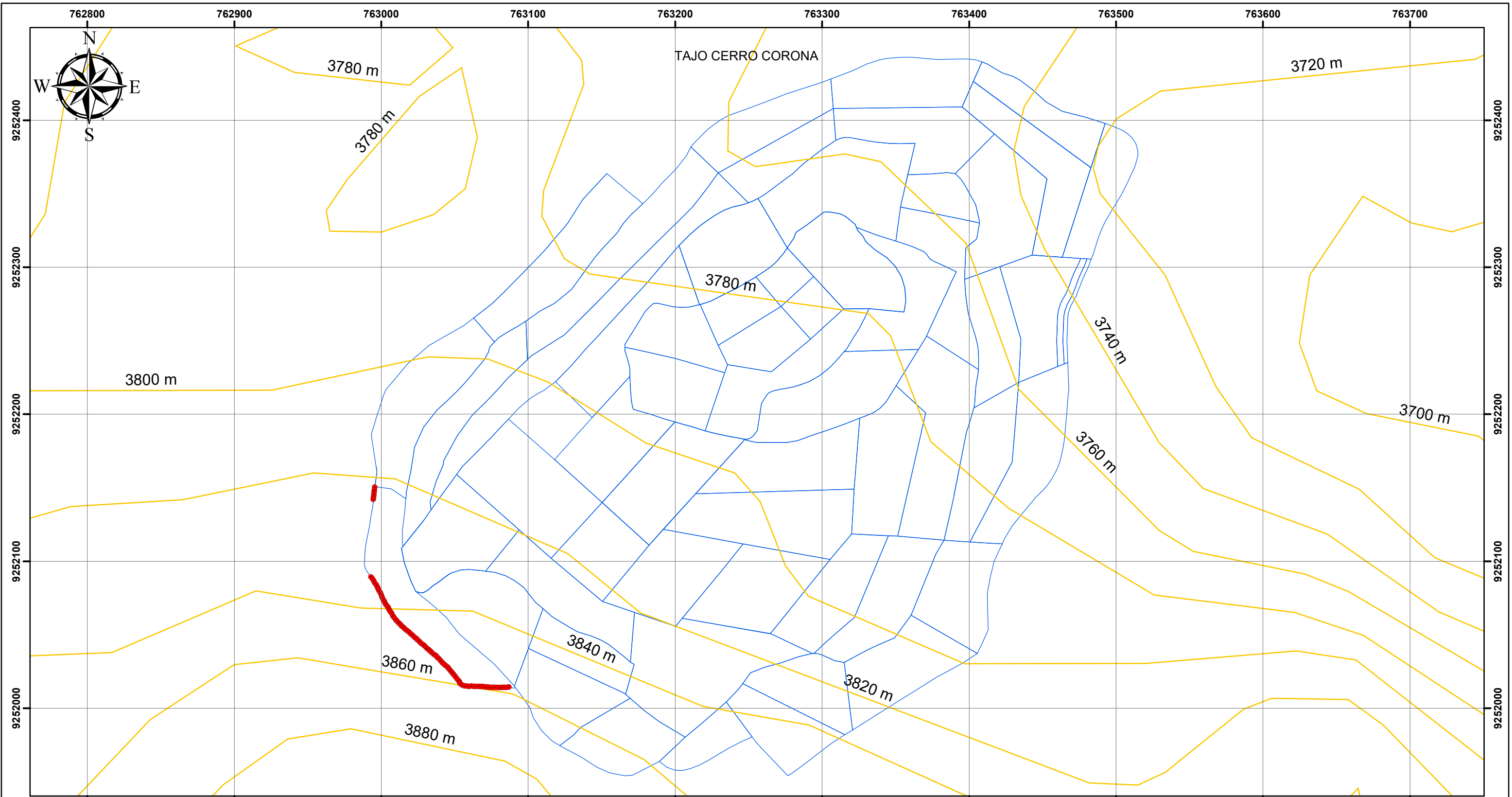
ESCALA:
1:5000

LÁMINA 02

CAJAMARCA - 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"		
BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA	ESCALA: 1:5000	LÁMINA 03
PLANO: GEOLÓGICO		
ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO		
SISTEMA: UTM-WGS84	CAJAMARCA - 2024	



SIMBOLOGÍA

TALADROS

CURVAS DE NIVEL

MALLA 3640



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL
DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C
EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"

BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA

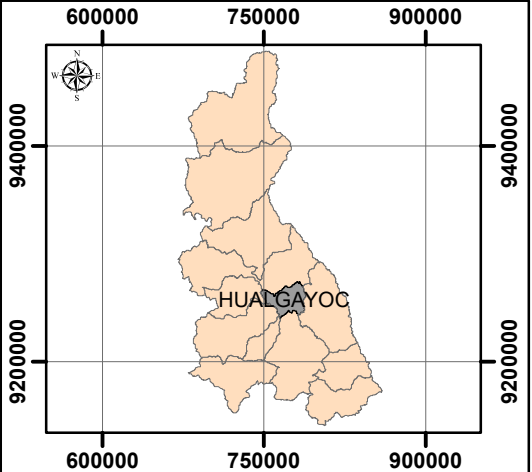
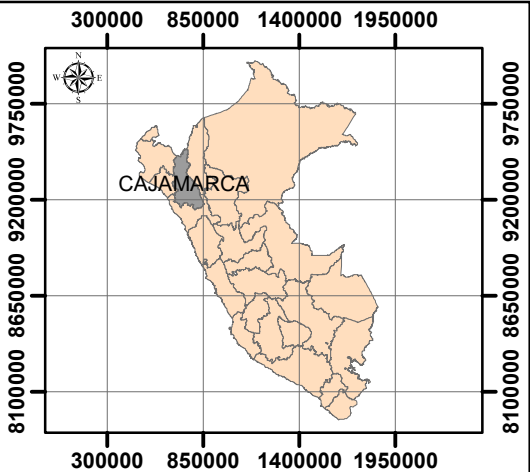
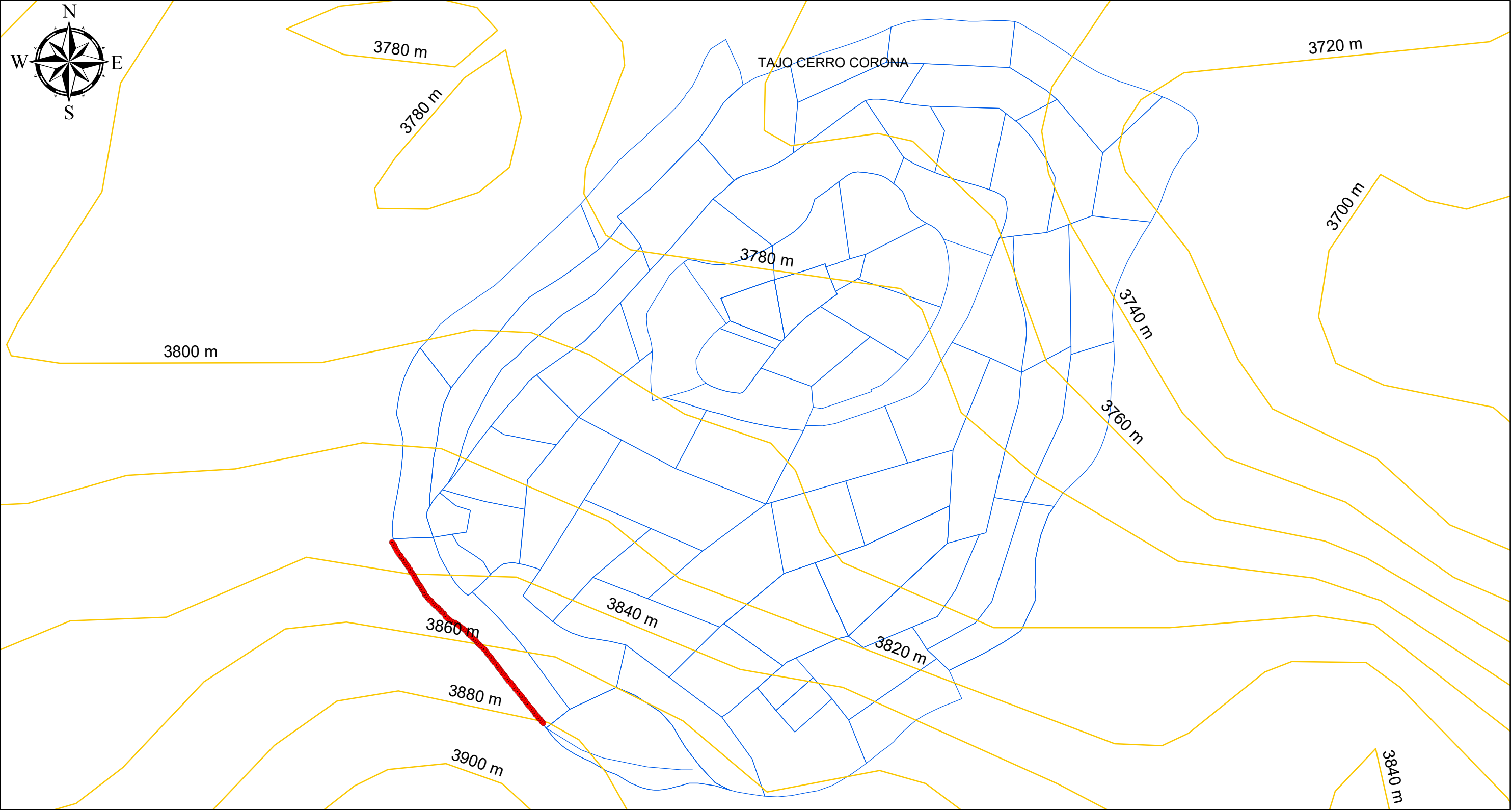
PLANO: MALLA 3640-TALADROS 076

ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO

SISTEMA: UTM-WGS84

ESCALA:
1:2500

LÁMINA 04



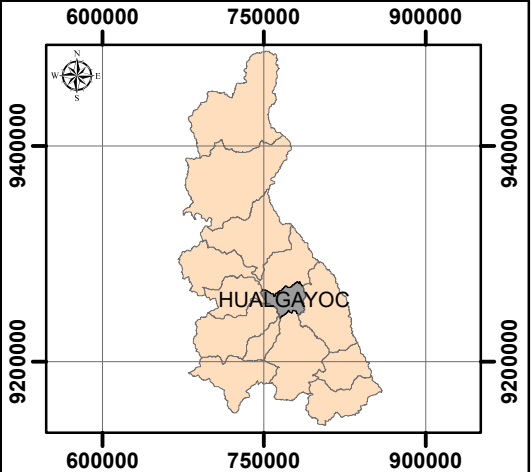
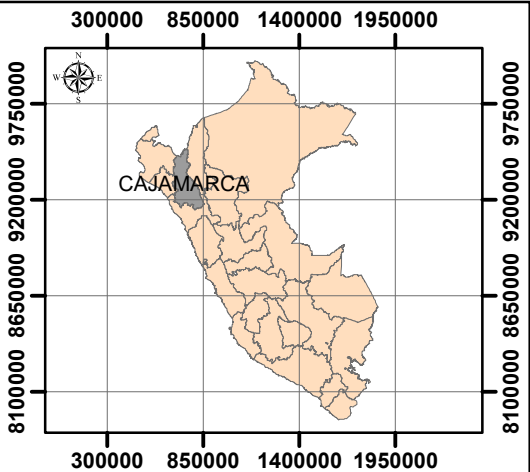
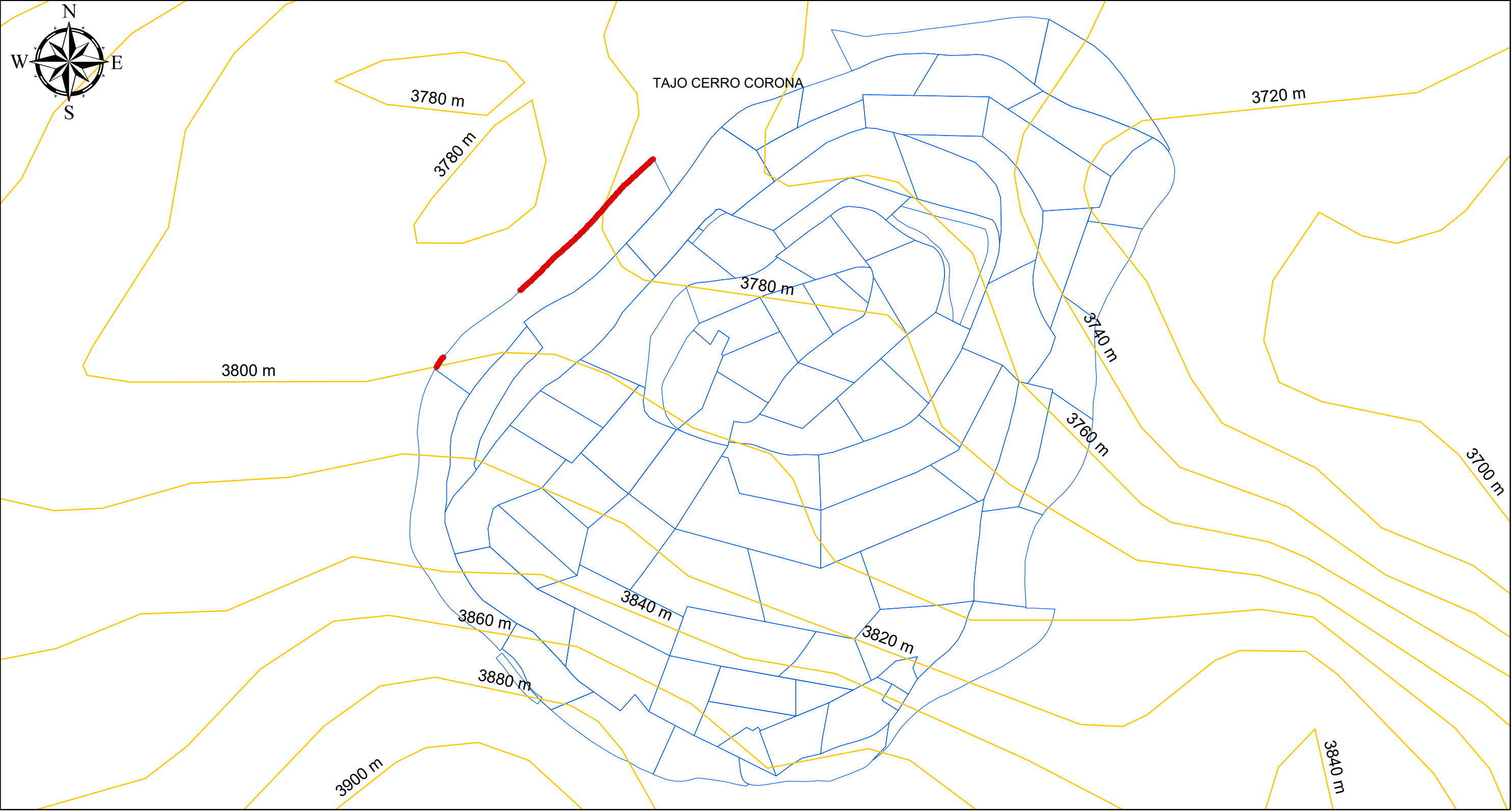
SIMBOLOGÍA

- TALADROS
- CURVAS DE NIVEL
- MALLA 3650

0 20 40 80 METROS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"		
BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA	ESCALA: 1:2700	LÁMINA 05
PLANO: MALLA 3650-TALADROS 105		
ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO		
SISTEMA: UTM-WGS84	CAJAMARCA - 2024	



SIMBOLOGÍA

- TALADROS
- CURVAS DE NIVEL
- MALLA 3660

0 25 50 100 METROS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS PROFESIONAL: "OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL
DEL PRECORTE EN LA FASE TEMPORAL DE MINADO 8C
EN EL PROYECTO MINERO CERRO CORONA"

BACH. BAZÁN DÁVILA KAROL AGUSTINA
PLANO: MALLA 3660-TALADROS 112
ASESOR: M.CS.ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO
SISTEMA: UTM-WGS84 CAJAMARCA - 2024

ESCALA:
1:3000

LÁMINA 06